การออกแบบบังสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

LIGHT SHELVES DESIGN FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING CASE STUDY : SECONDARY SCHOOL IN BANGKOK

เรณู ด่านกุล

RAYNU DANKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-068-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

LIGHT SHELVES DESIGN FOR EFFICIENT DAYLIGHTING
IN SCHOOL BUILDING
CASE STUDY : SECONDARY SCHOOL IN BANGKOK

เรณู ด่านกุล
RAYNU DANKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2545

ISBN 974 – 324 – 068 – 3

LIGHT SHELVES DESIGN FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING
CASE STUDY : SECONDARY SCHOOL IN BANGKOK

RAYNU DANKUL

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
2002

ISBN 974 – 324 – 068 – 3

COPYRIGHT 2002
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษา : อาคารเรียนระดับมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร
นักศึกษา	นางสาว เรณู ด่านกุล
รหัสนักศึกษา	42063105
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารเรียนมีข้อจำกัดของความส่องสว่างในระยะลึกของห้องเรียนไม่เกิน 2.00 เมตร ซึ่งส่งผลให้ค่าระดับความส่องสว่างที่วัดได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตราฐาน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 200 – 300 ลักซ์ ในขณะที่มาตราฐานการส่องสว่างสำหรับห้องเรียนของ CIE และ IES (USA) ควรเป็น 500 ลักซ์ และจากการตรวจสอบขนาดห้องเรียนโดยทั่วไปที่ใช้กันพบว่ามี 2 ขนาด แต่ขนาดสัดส่วนของห้องเรียนยังไม่ได้มาตราฐานในงานวิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ปรับปรุงขนาดห้องเรียนให้เหมาะสมต่อการใช้งาน และเสนอเทคนิคการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในส่วนที่ระดับความส่องสว่างไม่เพียงพอต่อการใช้งานโดยเฉพาะในส่วนลึกสุดของห้องเรียนจากระยะแนวขอบหน้าต่างโดยวิธีการสะท้อนแสงของ Light Shelve เป็นหลัก

ขั้นตอนในการศึกษาออกแบบ Light Shelve ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก โดยขั้นตอนแรกประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ขนาดสัดส่วน, ขนาดช่องแสงและการใช้สีภายในห้องเรียนรวมไปถึงการจัดกลุ่มห้องเรียน ขั้นตอนที่สองคือการวิเคราะห์ทดลองตัวแปรกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนแสงของ Light Shelve ซึ่งประกอบไปด้วยการศึกษารูปแบบ, สีและลักษณะผิวสัมผัสของวัสดุ, ขนาดความลึก, รูปทรงที่มีมุมองศาที่แตกต่างกันของ Light Shelve, รวมไปถึงการออกแบบแผงควบคุมแสงจ้า (Glare) ส่วนขั้นตอนสุดท้ายนั้นคือการประเมินผลปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องเรียนซึ่งคำนวณด้วยวิธี Daylight Factor Method และสรุปผลโดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสะท้อนแสงนี้มาพิจารณาเพื่อหารูปแบบและขนาดสัดส่วนของ Light Shelve ที่มีประสิทธิภาพในการกระจายแสงสูงสุด

ผลของการวิจัยพบว่าห้องเรียนที่เหมาะสมควรมีขนาด 8.00×9.00×2.90 เมตร ขนาดช่องแสงมีความสูง 0.55 เมตร ในสภาพแวดล้อมของห้องเรียนที่เป็นพื้นที่โล่งโดยรอบอาคารเรียนและพบว่ารูปแบบ Light Shelve แบบ 1 ชั้น เอียงทำมุม 35 องศา มีความกว้างขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงาและมีแผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียนขนาด 0.50 เมตร เอียงทำมุม 35 องศา มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติได้ลึกถึงข้างในสุดของห้องเรียนให้อยู่ในเกณฑ์มาตราฐานกำหนด การวางทิศทางของช่องแสงควรอยู่ในแนวทิศเหนือ - ใต้ขณะเดียวกันการติดตั้ง Light Shelve นี้ในอาคาร

Thesis Title	LIGHT SHELVES DESIGN FOR EFFICIENT DAYLIGHTING IN SCHOOL BUILDING CASE STUDY : SECONDARY SCHOOL IN BANGKOK
Student	Miss Raynu Dankul
Student ID.	42063105
Degree	Master of Architecture
Programme	Tropical Architecture
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Teeramon Wairojanakich

ABSTRACT

Currently, daylighting in the conventional school buildings is mostly limited to 2.0 m access in to the classroom, through the windows. This result of the illumination measurement is below the standard. From the surveying, most classrooms can be classified into 2 sizes. However these are still not the optimal classrooms proportions. Therefore the research has emphasized the analysis of the classroom proportional development and daylight strategy recommendation. To increase the illumination by daylight in to a deeper area of the classroom, the study recommends the use of light shelves.

The studies of light shelves consist 3 procedures. First combined the space proportion, fenestration size, internal wall color and classroom grouping analysis. Second the experimental analysis of physical variation that influence the light shelve reflection, by the material qualification such as type, color and texture. Likewise the study contents the appropriate size, depth, from and angle adjustment of light shelves, including the glare controller design. Finally is to measure the quantitative evaluation of incoming daylight by the daylight factor method. The result will be a higher efficiency of daylight distribution by the use of light shelves by comparing the analysis from the above information to the standard values.

From the research, it can be summarized that the appropriate proportion of classroom is 8.00 x 9.00 x 2.90 meters with 0.55 meters fenestration height. In buildings with open condition, we found that storey light shelve with an angle of 35 degrees inclined, 0.98 meters height, in white color tilted, including an internal glare controller with 0.55 meters height, 35 degrees inclined. Can increase more efficiency of daylight compare to the standard by increasing the illuminated distance into deeper area. Fenestration should respective solar orientation by faced to north and south. Apart from what mentioned previously, light shelve

design can also reduce artificial lighting consumption. Annually, light shelve can reflect daylight through the classroom for 93.18% of occupied time (1928 hrs) without artificial light. Exceptional to cloudy condition or less illumination than 22,728 Lux.

In conclusion of this research it can also be applied to other types of building such as office building, hospital, industrial building etc., or consider to manufacturing the products.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิจัยทุกขั้นตอน จาก รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.สุรพงษ์ จิระรัตนานนท์ อาจารย์ประจำภาควิชาพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือข้อมูลสถิติปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร ตลอดจนให้คำปรึกษาเรื่องทั่วๆ ไป เกี่ยวกับแสงสว่าง

ขอขอบพระคุณ ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และอาจารย์ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดจนให้คำปรึกษาเรื่องทั่วๆ ไป เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อ.เกียรติศักดิ์ เอี่ยมสุเมธ อาจารย์ระดับ 7 โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวังนนทบุรี ที่ได้ช่วยเหลือในการให้ข้อมูลตลอดจนอำนวยความสะดวกการใช้สถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขทฤษฎีและอื่นๆ ที่ผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เรณู ด่านกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง IX

สารบัญรูป XIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความสำคัญของปัญหา 2

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 12

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 13

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 16

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 16

1.7 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน 16

บทที่ 2 พฤติกรรมของแสงและแนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง 18

2.1 ธรรมชาติของแสงสว่าง 18

2.2 พฤติกรรมของแสง 18

2.3 การวัดค่าความส่องสว่างของแสง (Measurement of Lighting Illumination) 20

2.4 ความจ้าหรือการส่องสว่าง (Brightness & Luminance) 23

2.5 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition) 24

2.6 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ 27

2.7 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงประดิษฐ์ (Artificial Light) 29

2.8 ลักษณะการเปิดช่องเปิดที่มีผลกับสภาพแสงสว่างภายใน 31

2.9 แนวทางการควบคุมแสงจ้า (Glare) 33

2.10 รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร (Daylight Strategies) 35

2.11 แนวความคิดของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelve Concept) 37

2.12 ประเภทของกระจกและคุณสมบัติของกระจก 40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ค่าความส่องสว่างในเขตกรุงเทพฯและค่ามาตราฐานของการส่องสว่าง..... 44

3.1 สภาพภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร..... 44

3.2 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อกรุงเทพมหานคร..... 45

3.3 ปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ (Radiation and Illuminance..... 46

3.4 สภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร..... 54

3.5 ค่ามาตราฐานทั่วไป..... 54

บทที่ 4 กรณีศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารเรียน..... 60

4.1 ลักษณะทั่วไปของอาคารเรียน..... 60

4.2 ทิศทางเข้าหลักของแสงธรรมชาติ..... 61

4.3 การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียน..... 61

4.4 การวิเคราะห์ตัวแปรของแสงสว่างจากธรรมชาติ..... 62

4.5 ผลการทดลองของการกระจายแสง..... 63

4.5.1 ผลการทดลองการกระจายแสงในห้องเรียน..... 63

4.5.2 ผลการทดลองการกระจายแสงในห้องเอนกประสงค์..... 64

4.5.3 ผลการทดลองการกระจายแสงในห้องสมุด..... 65

บทที่ 5 การวิเคราะห์รูปแบบของห้องเรียนเพื่อการส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพ..... 66

5.1 การวิเคราะห์สัดส่วนของห้องเรียน..... 66

5.1.1 การวิเคราะห์การจัดกลุ่มห้องเรียน..... 66

5.1.2 การวิเคราะห์ขนาดของช่องแสงและสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน..... 68

5.1.3 การวิเคราะห์ขนาดของช่องแสงและสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน..... 71

5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 73

5.3 หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย..... 75

5.3.1 หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ..... 75

5.3.2 ขั้นตอนการวัดการกระจายแสงและการหาค่า Daylight Factor..... 76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 การวิเคราะห์แนวทางประสิทธิภาพของหิ้งสะท้อนแสงที่ออกแบบไว้ 78

6.1 การวิเคราะห์ปัจจัยกายภาพทั่วไปของ Light Shelve 83

6.2 การวิเคราะห์กำหนดตัวแปรควบคุมคงที่ 84

6.3 การวิเคราะห์ออกแบบ Light Shelve ที่เหมาะสม 85

6.4 การวิเคราะห์เลือกรูปแบบของ Light Shelve ที่เหมาะสม 85

6.5 การวิเคราะห์เลือกลักษณะสีและผิวสัมผัสของของวัสดุที่เหมาะสม 102

6.6 การวิเคราะห์ขนาดความลึกและสีของ Light Shelve ที่เหมาะสม 103

6.7 การวิเคราะห์รูปทรงของ Light Shelve ที่เหมาะสม 115

6.8 การวิเคราะห์รูปทรงของ Light Shelve ในเดือนธันวาคม 125

6.9 การวิเคราะห์ควบคุมแสงจ้า (Glare) 135

6.10 แบบขยายรูปทรง Light Shelve ที่เลือกใช้ 145

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 149

7.1 การกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่ 149

7.2 การเพิ่มแสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่ห้องเรียนด้วยวิธีการสะท้อนแสงจาก Light Shelve 150

7.3 ประโยชน์และการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ 153

7.4 ข้อเสนอแนะ 154

บรรณานุกรม 155

ภาคผนวก 157

ประวัติผู้เขียน 172

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทต่างๆ..... 2

1.2 แสดงการแบ่งประโยชน์ใช้สอยส่วนต่างๆ ของโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี..... 4

1.3 แสดงลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรม..... 6

1.4 แสดงขนาดผังพื้นของห้องเรียนและทัศนียภาพของโรงเรียนเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง..... 7

1.5 แสดงค่า Daylight Factor ชั้น 2 – 7 (%)..... 9

1.6 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux)..... 10

1.7 แสดงค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยชั้น 2 – 7 (Lux)..... 11

1.8 แสดงระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย..... 17

2.1 แสดงพฤติกรรมของแสงเมื่อตกกระทบกับวัตถุ..... 19

2.2 แสดงความจ้าสำหรับลักษณะของการเห็นในระดับต่างๆ..... 23

2.3 แสดงค่าเฉลี่ยของท้องฟ้าในลักษณะต่างๆ..... 24

2.4 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ..... 28

2.5 แสดงประเภทต่างๆ ของแสงจ้า..... 34

2.6 แสดงความสัมพันธ์ของช่องเปิดกับปัจจัยธรรมชาติภายนอก..... 37

2.7 แสดงคุณสมบัติของกระจก..... 42

2.8 แสดงข้อมูลต่างๆ ของกระจก..... 43

3.1 แสดงค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux) 46

3.2 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนมกราคม - ธันวาคม (Klux)..... 47

3.3 แสดงค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพฯ (1999-2000)..... 53

3.4 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ..... 54

3.5 แสดงการเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) .....
ตามประเภทการใช้งาน..... 55

3.6 แสดงการเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตราฐาน...
การกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)..... 56

3.7 แสดงค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องผ่านของวัสดุ..... 57

3.8 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายนอกอาคาร..... 58

3.9 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในอาคาร..... 58

3.10 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงที่แนะนำให้ใช้..... 59

3.11 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงของสีและวัสดุ..... 59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงลักษณะทั่วไปของอาคารเรียน..... 60

4.2 แสดงทิศทางเข้าหลักของแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ-ใต้..... 61

4.3 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียน..... 61

4.4 แสดงการวิเคราะห์ตัวแปรของแสงสว่างจากธรรมชาติ..... 62

4.5 แสดงผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องเรียน..... 63

4.6 แสดงผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องเอนกประสงค์..... 64

4.7 แสดงผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องสมุด..... 65

5.1 แสดงการจัดกลุ่มห้องเรียนแบบต่างๆ..... 66

5.2 แสดงขนาดห้องเรียนทั่วไป..... 69

5.3 แสดงลักษณะการจัดโต๊ะเรียนแบบ A..... 70

5.4 แสดงลักษณะการจัดโต๊ะเรียนแบบ B..... 71

5.5 แสดงขนาดช่องแสงของห้องเรียน..... 72

6.1 แสดงค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของห้องเรียน (โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง)..... 78

6.2 แสดงเปอร์เซนต์สำหรับห้องเรียน รร.นวมินทราชินูทิศ หอวัง ที่สามารถใช้แสงสว่าง.....
จากธรรมชาติได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี..... 79

6.3 แสดงคุณสมบัติต่างๆ เพื่อนำไปออกแบบ Light Shelve..... 85

6.4 แสดงการวิเคราะห์รูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve..... 87

6.5 แสดงค่าความสว่างภายนอกและค่า Daylight Factor..... 89

6.6 แสดงจำนวนวันที่ใช้ห้องเรียนต่อเดือน..... 89

6.7 แสดงรูปแบบของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดลอบการกระจายแสง..... 90

6.8 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปแบบ Light Shelve แบบ A และ B..... 93

6.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 2.5 % ของรูปแบบ Light Shelve.....
แบบ A,B,C, และ D ของวันที่ 26 มิย 45..... 95

6.10 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของรูปแบบ Light Shelve.....
แบบ A,B,C,D เข้าสู่หุ่นจำลอง..... 96

6.11 แสดงจำนวนข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ที่แสดงออกมาเป็นเลขศูนย์ของปริมาณแสงสว่างภายนอก.....
ในเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time)..... 97

6.12 แสดงเปอร์เซนต์ของรูปแบบ Light Shelve แบบ D ขนาด 1.53 เมตร ที่สามารถ.....
นำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี..... 98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.13 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงของสีและวัสดุ..... 102

6.14 แสดงการเปรียบเทียบสีของ Light Shelve..... 103

6.15 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง..... 104

6.16 แสดงค่า Daylight Factor ของความลึกและสีของ Light Shelve แบบ A และ B..... 106

6.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 2.5 % ของความลึกกับสี.....
ของ Light Shelveแบบ A,B,C,D และ E ของวันที่ 25 กค. 45..... 109

6.18 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของความลึกกับสีของ Light Shelve.....
แบบ A,B,C,D และ E เข้าสู่หุ่นจำลอง..... 110

6.19 แสดงเปอร์เซนต์ขนาดความลึกของ Light Shelve แบบ D ขนาด 0.98 เมตร.....
ทาสีขาวเคลือบเงาที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี..... 111

6.20 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง..... 115

6.21 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve แบบ A และ B..... 117

6.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จาก 2.5 % ของรูปทรง Light Shelve.....
แบบ A,B,C,D ของวันที่ 10 สค.45..... 119

6.23 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของความลึกกับสีของ Light Shelve.....
แบบ A,B,C,D และ E เข้าสู่หุ่นจำลอง..... 120

6.24 แสดงเปอร์เซนต์ของ รูปทรง Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร.....
ทาสีขาวเคลือบเงาที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี..... 121

6.25 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง..... 125

6.26 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve แบบ A และ B..... 127

6.27 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 2.5% ของรูปทรง Light Shelve.....
แบบ A,B,C,D ของวันที่ 10 สค. 45..... 129

6.28 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของความลึกกับสีของ Light Shelve.....
แบบ A,B,C,D และ E เข้าสู่หุ่นจำลอง..... 130

6.29 แสดงเปอร์เซนต์ของ รูปทรง Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร.....
ทาสีขาวเคลือบเงาของเดือนธันวาคม ที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี..... 131

6.30 แสดงแผงป้องกันแสงจ้า (Glare)..... 136

6.31 แสดงค่า Daylight Factor ของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare)..... 137

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.32 แสดงค่า Daylight Factor จากเกณ์ 2.5 % ของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) .....
ของวัน ที่ 30 สค.45..... 138

6.33 แสดงค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux) ปี พ.ศ.2542-2543..... 139

6.34 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนมกราคม – ธันวาคม (Klux) .....
ช่วง เวลา 08.00 น..... 139

6.35 แสดงจำนวนลักซ์ (Lux) ของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare)..... 140

6.36 แสดงช่วงเวลาที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้ (22,728)..... 141

6.37 แสดงเปอร์เซนต์ของ รูปทรง Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร.....
ทาสีขาวเคลือบเงา ร่วมกับแผงป้องกันแสงจ้า..... 141

6.38 แสดงรูปทรงทั่วไปของ Light Shelve ที่เลือกใช้..... 145

7.1 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve..... 150

7.2 แสดงผลสรุปของสีและผิวสัมผัสที่เลือกใช้..... 151

7.3 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของความลึกและสีของ Light Shelve..... 151

7.4 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve..... 151

7.5 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve ของเดือนธันวาคม..... 152

7.6 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve กับแผงป้องกันแสงจ้า..... 152

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสถานศึกษา..... 3

1.2 แสดงสัดส่วนของส่วนการศึกษาประเภทห้องเรียน..... 5

1.3 แสดงผังบริเวณและสภาพแวดล้อมนอกอาคาร..... 6

1.4 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง..... 8

1.5 แสดงค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux)เวลา 14.00 น..... 10

2.1 แสดงช่วงคลื่นสเปกตรัม..... 18

2.2 แสดงการแผ่รังสีดวงอาทิตย์..... 18

2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟุตแคนเดิลกับลักซ์..... 21

2.4 แสดงค่าระดับความส่องสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน..... 22

2.5 แสดงความแตกต่างระหว่างการส่องสว่างกับความจ้า..... 22

2.6 แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky..... 25

2.7 แสดงมุม Bearing..... 25

2.8 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky..... 27

2.9 แสดงการแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้อง..... 30

2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของห้องและความสูงของช่องเปิด..... 31

2.11 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของหน้าต่างที่มีความสัมพันธ์.....
ต่อการส่องผ่านของแสงเข้ามาภายใน..... 32

2.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างของหน้าต่าง 2 ด้านที่ความสูงแตกต่างกัน..... 32

2.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างจากการปรับเปลี่ยนความยาวของหน้าต่าง..... 33

2.14 แสดงรูปแบบการนำแสงธรรมชาติจากด้านข้าง..... 35

2.15 แสดงรูปแบบการนำแสงธรรมชาติจากด้านบน..... 36

2.16 แสดงรูปแบบการนำแสงธรรมชาติจากการสะท้อน..... 36

2.17 แสดง Room Aspect Ratio..... 36

2.18 แสดง Building Footprints..... 37

2.19 แสดง Room Aspect Ratio..... 38

2.20 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve..... 38

2.21 แสดงการนำแสงธรรมชาติโดยวิธี Light Shelve..... 39

2.22 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve ที่มีการใช้งานจริง..... 40

2.23 แสดงอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคาร..... 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.24	แสดงการแบ่งประเภทกระจกประเภทต่างๆ	42
3.1	แสดงตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร (14 องศาเหนือ)	45
3.2	แสดงค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง (Klux)	46
3.3	แสดงสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ย 10 ปี (2533-2542)	47
5.1	แสดงขนาดสัดส่วนของการจัดโต๊ะเรียน	68
5.2	แสดงค่าการสะท้อนแสงที่เหมาะสมภายในห้องเรียน	73
5.3	แสดงเครื่องมือลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)	73
5.4	แสดงเครื่องมือโอพุส 200 (Opus200)	74
5.5	แสดงเครื่องมือเซนต์เซอร์ (Photometric Sensor)	74
5.6	แสดงคอมพิวเตอร์โน๊ตบุค	74
5.7	แสดงรูปแบบและขนาดของห้องเรียนที่ใช้ในการวิจัย	75
5.8	แสดงลักษะกายภาพของหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ	75
5.9	แสดงขั้นตอนและตำแหน่งในการวัดการกระจายแสงภายในห้องเรียน	76
5.10	แสดงรูปตัดและขนาดสัดส่วนที่ใช้ทำการทดลอง	77
5.11	แสดงระดับ Working Plane 0.75 เมตร	77
6.1	แสดงการกระจายแสงสว่างที่ได้มาตราฐานในช่วง 2.00 เมตร แรกจากขอบหน้าต่าง	78
6.2	แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียน (รร.นวมินทราชินูทิศ หอวัง) ที่น้อยกว่า 111.111 Klux ในเดือนมกราคม – ธันวาคม	80
6.3	แสดงปัจจัยกายภาพที่ใช้พิจารณาในการออกแบบ Light Shelve	83
6.4	แสดงรูปแบบและขนาดของห้องเรียนที่ใช้ในการวิจัย	84
6.5	แสดงระดับความสูงของ Light Shelve ที่ไม่บังสายตา	86
6.6	แสดงความลึกของ Light Shelve	86
6.7	แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปแบบ Light Shelve ขนาด1.53 ม. ที่น้อยกว่า 28.735 Klux ในเดือนมกราคม – ธันวาคม	99
6.8	แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของความลึก Light Shelve ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 23.585 Klux ในเดือนมกราคม – ธันวาคม	112
6.9	แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 18.248 Klux ในเดือนมกราคม – ธันวาคม	122

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.10 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา.....
ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 17.123 Klux ในเดือนมกราคม – ธันวาคม..... 132

6.11 แสดงระดับสายตาของนักเรียนอายุระหว่าง 12-18 ปี..... 135

6.12 แสดงการออกแบบป้องกันแสงจ้า (Glare)..... 135

6.13แสดงขนาดสัดส่วนของรูปแบบการป้องกันแสงจ้า (Glare)..... 136

6.14แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกของห้องเรียนของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare).....
ที่น้อยกว่า 22.727 Klux ในเดือนมกราคม – ธันวาคม..... 142

6.15แสดงแบบขยายแปลนของรูปทรง Light Shelve..... 146

6.16 แสดงแบบขยายของรูปทรง Light Shelve ที่เลือกใช้ในการออกแบบ..... 147

6.17แสดงแบบขยายบัวหยดน้ำเพื่อป้องกันน้ำฝนเข้าสู่ห้องเรียน..... 147

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดแนวคิดการอนุรักษ์พลังงานหรือการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้นั้นนอกจากจะช่วยลดวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานแล้ว ยังกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาแนวทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพการนำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทดแทนแสงประดิษฐ์ แสงสว่างจากธรรมชาติจะมีความร้อนปะปนเข้ามาน้อยกว่าแสงประดิษฐ์ ดังนั้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารจึงเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของแสงประดิษฐ์ลงได้โดยตรงและยังสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศอันเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ภายในอาคารจึงสามารถลดความต้องการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารยังมีผลให้เกิดความร้อนของดวงอาทิตย์เมื่อกระทบกับวัตถุใดๆ การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารจึงควรหลีกเลี่ยงรังสีตรงของดวงอาทิตย์และใช้แสงสว่างที่เกิดจากการสะท้อนเป็นหลัก อย่างไรก็ตามแสงสว่างธรรมชาตินั้นเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นการให้ความสว่างแก่ภายในอาคารจึงยากที่จะควบคุมปริมาณของแสงให้คงที่อย่างสมบูรณ์ในระดับที่ต้องการดังเช่นแสงประดิษฐ์ การนำพลังงานจากธรรมชาติมาปรับใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอย่างเหมาะสมเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารโดยการใช้แสงสว่างที่เกิดจากการสะท้อนของ Light Shelve ปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งของการนำเอาพลังงานแวดล้อม (Ambient Energy) ในพื้นที่มาใช้เพื่อปรับปรุงภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย (Comfort) โดยไม่ต้องอาศัยแสงประดิษฐ์ ซึ่งแสงธรรมชาติที่ผ่านการสะท้อนจะมีประสิทธิภาพมากกว่าในเชิงความร้อนที่ลดลง รวมทั้งเกิดความสม่ำเสมอนุ่มนวลในการมอง (Visual Comfort) จากการศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษาโดยทั่วไปมีข้อจำกัดของความส่องสว่างในระยะลึกไม่เกิน 2.00 เมตร จากระยะแนวขอบหน้าต่างของห้องเรียน ส่วนค่าระดับความส่องสว่างที่วัดได้ส่วนใหญ่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตราฐานซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 200 – 300 ลักซ์ ในขณะที่มาตราฐานการส่องสว่างสำหรับห้องเรียนของ CIE และ IES (USA) ควรเป็น 500 ลักซ์ งานวิจัยนี้เป็นการเสนอเทคนิคการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในส่วนที่ระดับความส่องสว่างที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในส่วนลึกสุดของห้องเรียนจากแนวขอบหน้าต่างโดยวิธีการสะท้อนแสงของ Light Shelve เป็นหลัก โดยศึกษาในส่วนของอาคารเรียนสามัญศึกษา ส่วนของห้องเรียนทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร Light Shelve ซึ่งเป็นการออกแบบผสาน (Intergrated Design) ที่เหมาะสมระหว่างอุปกรณ์กันแสงแดดโดยตรง (Sun – Shading Device) และอุปกรณ์ที่ใช้สะท้อนแสงธรรมชาติ

เข้าสู่อาคาร หากมีการศึกษาและวิจัยถึงรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมของ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในส่วนลึกสุดของห้องเรียนจากแนวขอบหน้าต่างของอาคารเรียนสามัญศึกษารวมไปถึงสัดส่วนของหน้าต่างช่องแสงของอาคารอย่างจริงจังแล้วจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการกระจายธรรมชาติเข้าไปส่วนลึกสุดของห้องเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่มาตราฐานกำหนดและยังช่วยให้สถาปนิกออกแบบ Light Shelve ที่เป็นตัวกำหนดปริมาณแสงที่ยอมให้เข้ามาภายในอาคารในปริมาณที่พอเหมาะต่อการมองเห็นโดยไม่ก่อให้เกิดความร้อนภายในอาคารได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงได้แต่ในช่วงที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาและวิจัยอย่างจริงจัง เกี่ยวกับการหารูปแบบและขนาดที่เหมาะสมของ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในส่วนลึกสุดของห้องเรียนจากแนวขอบหน้าต่างโดยวิธีการสะท้อนแสงของ Light Shelve ของอาคารเรียนสามัญศึกษา ส่วนของห้องเรียนทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งหากมีการศึกษาและวิจัยอย่างจริงจังจะทำให้สถาปนิกสามารถออกแบบ Light Shelve ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมก่อนที่จะมีการก่อสร้างจริง นอกเหนือจากนั้นผลงานการวิจัยดังกล่าวยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารอื่นๆ เช่น อาคารพักอาศัย สำนักงาน โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น หรือถูกนำเสนอในรูปของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโดยนำผลวิจัยไปพัฒนาหรือปรับปรุงให้เหมาะสมกับการผลิตแบบจำนวนมากในอนาคต และยังช่วยลดวิกฤษตการณ์พลังงานของชาติลงได้อีกทางหนึ่ง

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาการหารูปแบบและขนาดที่เหมาะสมของหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในส่วนลึกสุดจากระยะขอบหน้าต่างของห้องเรียนให้มีแสงที่ได้มาตราฐานในอาคารเรียนสามัญศึกษา ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งจะทำการศึกษาในส่วนของห้องเรียนทั่วไป อาคารเรียนเป็นอาคารที่มีเด็กนักเรียนใช้เป็นจำนวนมาก เมื่อพิจารณากลุ่มประชากรวัยเรียนจะพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีจากที่มีสัดส่วนร้อยละ 54.30 ในปี 2538 เพิ่มเป็นร้อยละ 62.36 ในปี 2542 (เครื่องชี้ภาวะสังคม. 2542 : 14) และมีจำนวนสถานศึกษาในส่วนสามัญศึกษาถึง 2,669 (สถิติการศึกษาฉบับย่อกรมสามัญศึกษา. 2542 : 19) ดังนั้นตัวอาคารจึงควรสามารถตอบสนอง สภาวะความสบายทางด้านการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

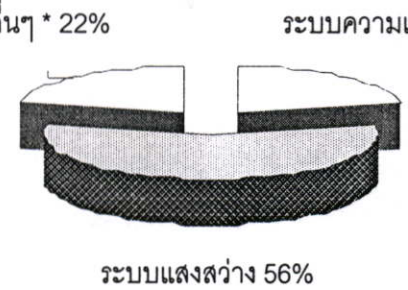
จากรายงานการศึกษาของ USAID เรื่อง Energy Conservation in Commercial Building ได้ทำการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทต่างๆ โดยแยกตามประเภทกิจกรรม ซึ่งคิดเป็นร้อยละของการใช้งานดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	ระบบความเย็น (%)	ระบบแสงสว่าง (%)	อื่นๆ * (%)	รวม (%)
สำนักงาน	50.0	25.0	25.0	100.0
โรงแรม	61.0	15.3	23.7	100.0
ศูนย์การค้า	60.0	25.0	15.0	100.0
สถานศึกษา	22.0	56.0	22.0	100.0
โรงพยาบาล	77.5	14.7	7.8	100.0
ภัตตาคาร	27.8	45.0	27.5	100.0

ที่มา : ธนิต จินดาวณิค (มปป. : 9)

* อื่นๆ หมายถึงระบบความร้อนและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ที่ใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสถานศึกษา

จากรูปที่ 1.1 จะพบว่าอาคารประเภทสถานศึกษามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างมากที่สุดถึง 55.6 % ตามด้วยระบบความเย็นและอื่นๆ อย่างละเท่าๆ กันคือ 22.2 % **แสดงให้เห็นว่าการควบคุมการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาควรพิจารณาระบบแสงสว่างเป็นสำคัญ** ดังนั้นถ้าเราสามารถควบคุมการใช้พลังงานในส่วนนี้ให้ลดลงได้ก็จะเป็นการช่วยลดภาระการใช้ไฟฟ้าของอาคารรวมทั้งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย

1.2.1 การศึกษาปัญหาด้านแสงธรรมชาติของโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี

อาคารการศึกษาเป็นอาคารซึ่งมีบรรยากาศสภาพแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ทั้งทางด้านกายภาพและความรู้สึก สถานศึกษาแบ่งตามแผนการศึกษาแห่งชาติโดยแบ่งตามอายุผู้เรียนแบ่งออกเป็น 6 ระดับ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาในระดับมัธยมศึกษา (มัธยม1 – มัธยม 6) อยู่ระหว่างอายุ 12 – 18 ปี และได้ทำการศึกษาโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี มีเนื้อที่ 20 ไร่ 38 ตารางวา มีชุมชนใกล้เคียงกับโรงเรียน ดังนี้

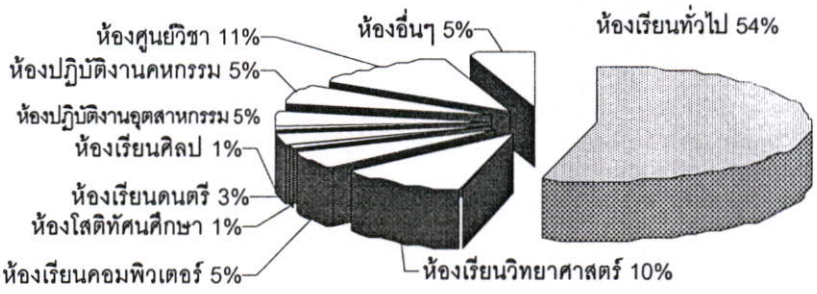
ทิศเหนือ โรงพักปากเกร็ด
ทิศใต้ หมู่บ้านมิตรประชา
ทิศตะวันออก สวนสมเด็จพระศรีนครินทร์
ทิศตะวันตก สี่แยกสวนสมเด็จพระศรีนครินทร์ (ถนนติวานนท์)

การแบ่งส่วนประโยชน์ใช้สอยมีดังนี้ (โรงเรียนมัธยมศึกษาสำหรับนักเรียน 3,060 คน)

ตารางที่ 1.2 แสดงการแบ่งประโยชน์ใช้สอยส่วนต่างๆของโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี

	องค์ประกอบ	ห้อง	จำนวน (ตร.ม.)
ส่วนบริหารและธุรการ	**ส่วนบริหารและธุรการ**	ห้องผู้อำนวยการ	30
		ห้องฝ่ายธุรการ	20
		ห้องประชาสัมพันธ์	20
		ห้องฝ่ายบริการ	20
		ห้องฝ่ายปกครอง	20
		ห้องอาคารสถานที่	20
		ห้องชมรมผู้ปกครองและครูห้องรับรอง	20
		ห้องพักครู	20
		ห้อพักพนักงาน	20
		ห้องครูเวร	434
ส่วนการศึกษา	**ส่วนห้องเรียน**	ห้องเรียนทั่วไป	3,780
		ห้องเรียนวิทยาศาสตร์	693
		ห้องเรียนคอมพิวเตอร์	378
		ห้องโสตทัศนศึกษา	63
		ห้องเรียนดนตรี	189
		ห้องเรียนศิลป	63
		ห้องปฏิบัติงานอุตสาหกรรม	189
		ห้องปฏิบัติงานคหกรรม	378
		ห้องศูนย์วิชา	315
		ห้องอื่นๆ (ห้องจริยธรรม,ห้องแฏิบัติการทางภาษา,ห้องแนะแนว,ห้องส่งเสริมอาชีพอิสระ,ห้องธุระกิจ)	756 315
	ส่วนประโยชน์ใช้สอยร่วม	ห้องสมุด	441
		ห้องประชุม	470
		ห้องเล่นกีฬา	1,490
		สนามกีฬา	3,200
ส่วนบริการ	**ส่วนประโยชน์ใช้สอยร่วม**	ห้องอาหาร	504
		ห้องน้ำ – ส้วม	353
		ห้องพยาบาล	63
		ห้องผลิตเอกสาร	63
		ห้องสหกรณ์	63
	ส่วนทำงานของคนงาน	ครัวและส่วนประกอบ	150
		ส่วนซักชีด	63
		ส่วนพักผ่อนคนงาน	63
		ส่วนบ้านพักภารโรง	315
		ส่วนห้องเครื่อง	126
		ส่วนเก็บพัสดุและเก็บของทั่วไป	189
		ส่วนพักขยะทั่วไป	63
ส่วนประกอบอื่น	**ส่วนประกอบอื่น**	สนามเด็กเล่น	3,200
		บริเวณเข้าแถวเสาธง	2,754
		ถนนและทางสัญจร	420
		ที่จอดรถ	1,182
		การจัดภูมิสถาปัตยกรรม	1,600

ที่มา : โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี



รูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนของส่วนการศึกษาประเภทห้องเรียน

ข้อควรพิจารณาในการออกแบบอาคารเรียนในส่วนของการจัดทิศทางการวางอาคาร ควรวางด้านสกัดไว้ในแนวทิศตะวันตก – ตะวันออก โดยมีด้านยาวตั้งฉากกับแนวเหนือ – ใต้ การให้แสงควรจัดให้แสงธรรมชาติและไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยการเจาะช่องเปิดต่างๆ ควรอยู่ในแนวของการวางอาคาร คือแนวเหนือ – ใต้

จากการวิเคราะห์ในเบื้องต้นพบว่าห้องเรียนเป็นห้องที่มีนักเรียนใช้เป็นจำนวนมากและมีการเรียนการสอนเกือบทั้งวัน **จากรูปที่ 1.2 จะพบว่าสัดส่วนของส่วนการศึกษาประเภทห้องเรียนทั่วไปมีจำนวนนักเรียนใช้มากที่สุดถึง 54% จึงเลือกพิจารณาศึกษาห้องเรียนทั่วไป และทำศึกษาวิจัยในแนวทิศเหนือ - ใต้**

1.2.2 การสำรวจสภาพทั่วไปและปัญหาที่เกิดขึ้นในห้องเรียน

จากการศึกษาระดับแสงสว่างภายในห้องเรียนทั่วไปของโรงเรียนเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี ซึ่งประกอบไปด้วย 3 อาคาร ได้แก่ อาคาร1 มีจำนวน 7 ชั้น , อาคาร 2 มีจำนวน 5 ชั้น , และอาคาร 3 มีจำนวน 3 ชั้น ได้ทำการศึกษาอาคารที่ 1 ซึ่งทำการศึกษาในส่วนของห้องเรียนตั้งแต่ชั้น 2 – 7

อาคาร 3 โรงเรียนเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี มีข้อมูลทั่วไปดังนี้

ชื่ออาคาร	อาคาร 3 โรงเรียนเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี
พื้นที่ใช้สอยรวม	6,174 ตารางเมตร
พื้นที่ต่อชั้น	882 ตารางเมตร
พื้นที่ปรับอากาศรวม	441 ตารางเมตร
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	5,733 ตารางเมตร
ลักษณะอาคาร	อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จำนวน 7 ชั้น

1.2.3 ลักษณะทั่วไปของสถาปัตยกรรม

ตารางที่ 1.3 แสดงลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรม

ลักษณะทั่วไป	รายละเอียด
ภายนอกของอาคาร	- เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีอ่อน ช่องเปิด (หน้าต่าง) เป็นบานเหล็ก
แผงกันแดด	- เป็นแผงกันแดดคอนกรีต มีอยู่ทุกทิศทาง
หลังคา	- มีชายคาลักษณะเป็น Parapet ยื่นออกมาเพื่อการบังแดดทุกทิศทาง
ภายในอาคาร	- ลักษณะการจัดห้องเป็นแบบ Single Corridor ทิศเหนือเป็นห้องเรียน ทิศใต้เป็น Corridor ในส่วนรอบอาคารได้รับแสงธรรมชาติ ภายในห้องส่วนใหญ่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน ทาสีขาว
วัสดุปูพื้น	- ส่วนพื้นเป็นกระเบื้องยางสีเขียวตองอ่อน คอนกรีตทาสีขาวฉาบเรียบ
ฝ้าเพดาน	- ความสูงถึงเพดาน 3.00 เมตร
ระบบแสงสว่าง	- ส่วนใหญ่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 วัตต์ และ 36 วัตต์ บัลลาสขดลวด จำนวน 12 หลอด/ห้อง
ระบบปรับอากาศ	- เป็นระบบแยกส่วน (Split type)

1.2.4 สภาพแวดล้อมของอาคาร

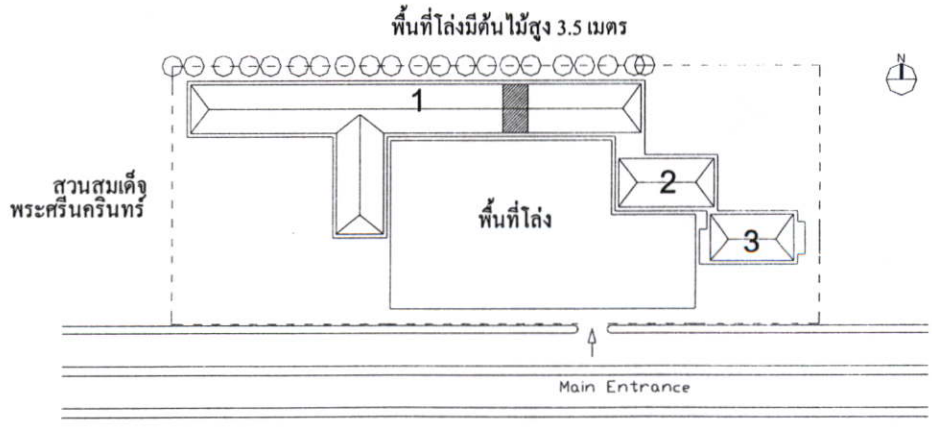
โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี ตั้งอยู่ ถ. ศรีสมาน อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี มีสภาพแวดล้อมของอาคารดังนี้

ทิศตะวันออก ติดกับอาคาร 2

ทิศตะวันตก ติดกับสวนสมเด็จพระศรีนครินทร์

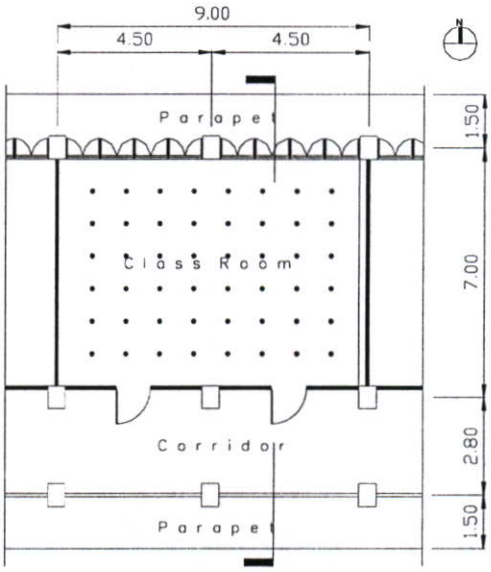
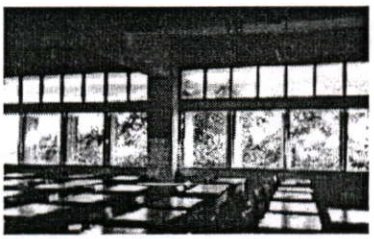
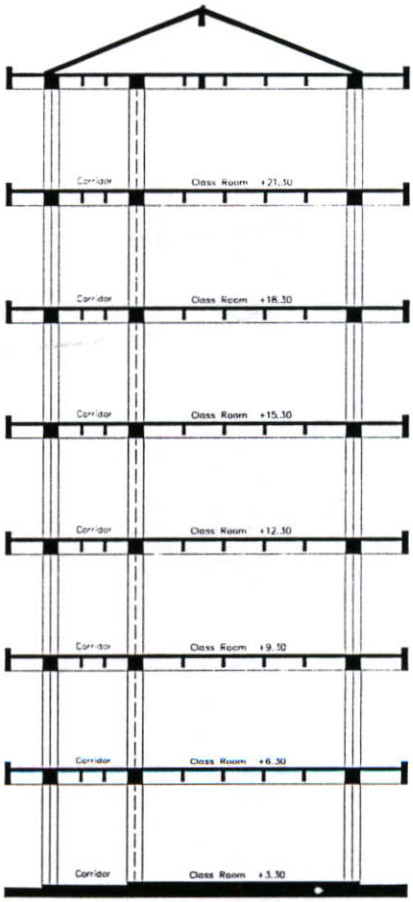
ทิศเหนือ พื้นที่โล่ง มีต้นไม้สูงประมาณ 3.50 ม

ทิศใต้ พื้นที่โล่ง



รูปที่ 1. 3 แสดงผังบริเวณและสภาพแวดล้อมนอกอาคาร

ตารางที่ 1.4 แสดงขนาดผังพื้นของห้องเรียนและทัศนียภาพของโรงเรียนเรียนนวมินทราชินูทิศหอวัง

ทัศนียภาพทั่วไป	ผังพื้นและรูปตัดของห้องเรียน
 แสดงรูปด้านอาคารเรียน	 ผังพื้นห้องเรียน
 แสดงช่องแสงภายในห้องเรียน	 รูปตัดห้องเรียน
 ช่องแสงและช่องเปิดบริเวณ Corridor	

1.2.5 **การวิเคราะห์ข้อมูล ในส่วนของความแสงสว่างและแสงธรรมชาติ**

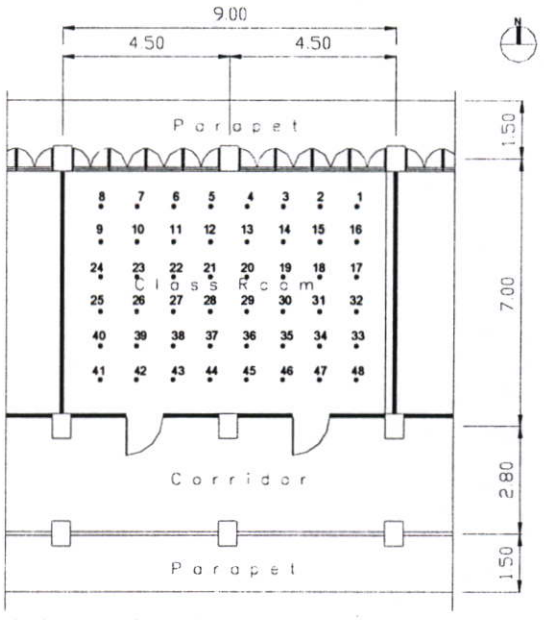
A. **การพิจารณาการกระจายแสง** (Light Distribution)

การตรวจสอบแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในอาคารเพื่อหาค่า Daylight Factor และการหาปริมาณแสงธรรมชาติเฉลี่ยทำการตรวจสอบในบริเวณพื้นที่ใช้งานที่มีแสงธรรมชาติเข้าถึงได้คือเหนือ

B. **การตรวจวัดการกระจายแสงธรรมชาติ**

วัดความส่องสว่างภายนอกและวัดค่าความส่องสว่างภายใน ณ จุดต่างๆ ที่กำหนดในเวลาเดียวกัน มีรายละเอียดดังนี้

- ทำการตรวจวัดการกระจายแสงในวันที่ 28 สิงหาคม 2544 เวลา 13.30 – 15.00 น.
- สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky)
- ทำการตรวจวัดการกระจายแสงในส่วนของห้องเรียนชั้น 2 – 7 โดยใช้เครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)
- ทำการตรวจวัดการกระจายแสงทุกๆ 1.00 ตารางเมตร ตรวจวัดทุกๆ 15 วินาที ทั้งภายในและภายนอก
- สัดส่วนของห้องเรียนมีขนาด 63.00 ตาราเมตร
- ขนาดผนังทางด้านทิศเหนือมีขนาด 27.00 ตารางเมตร ขนาดช่องแสงทางด้านทิศเหนือมีขนาด 18.00 ตารางเมตร (66%)
- ขนาดผนังทางด้านทิศใต้มีขนาด 27.00 ตารางเมตร ขนาดช่องเปิดและช่องแสงทางด้านทิศใต้มีขนาด 8.70 ตารางเมตร (32%)



รูปที่ 1.4 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง

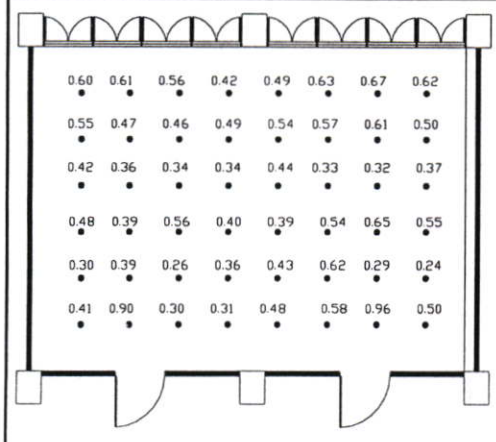
การกำหนดค่า Daylight Factor (D.F.) เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติ ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซนต์ มีสูตรในการหาดังนี้

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

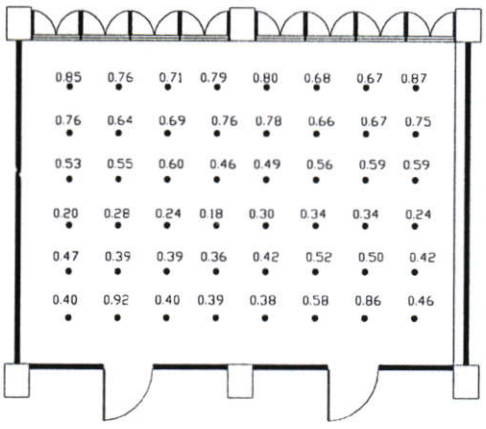
ตารางที่ 1.5 แสดงค่า Daylight Factor ชั้น 2 – 7 (%)

ทำการตรวจวัดการกระจายแสงในวันที่ 28 สิงหาคม 2544 เวลา 13.30 – 15.00 น.

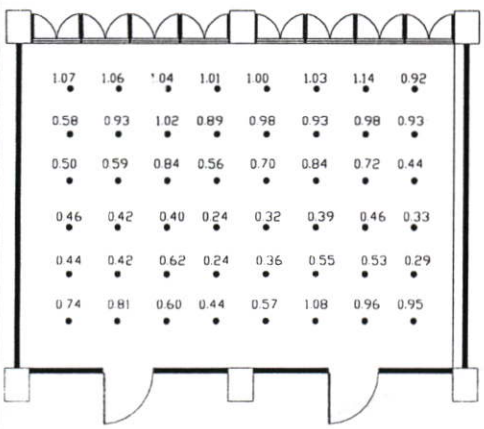
ค่า Daylight Factor ชั้น 2 – 7 (%)



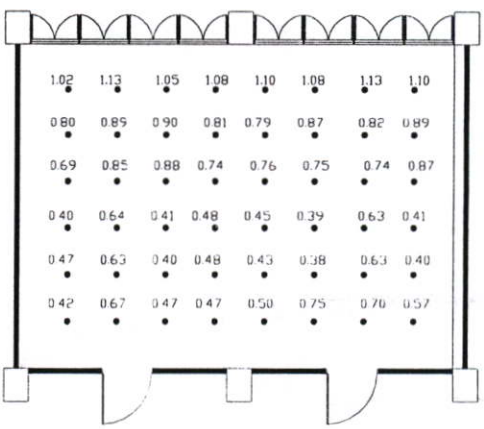
PLAN 2



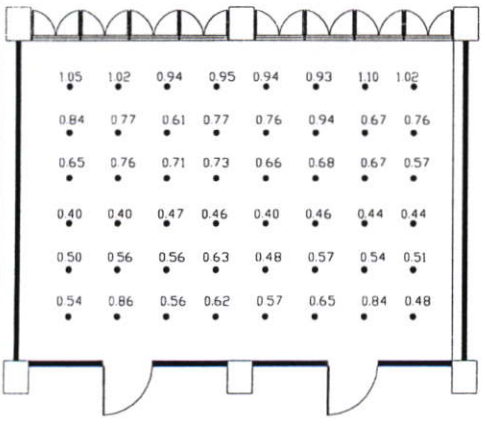
PLAN 3



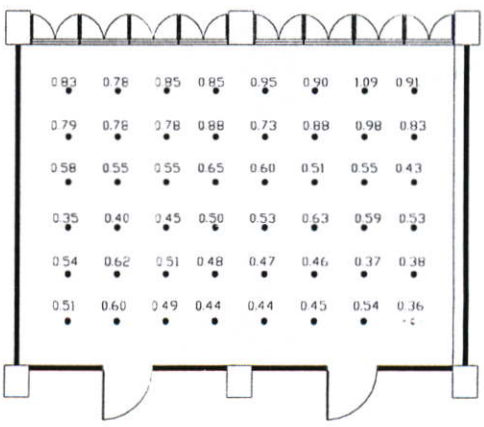
PLAN 4



PLAN 5



PLAN 6



PLAN 7

1.2.6 การหาค่าความส่องสว่างภายในห้องเรียน

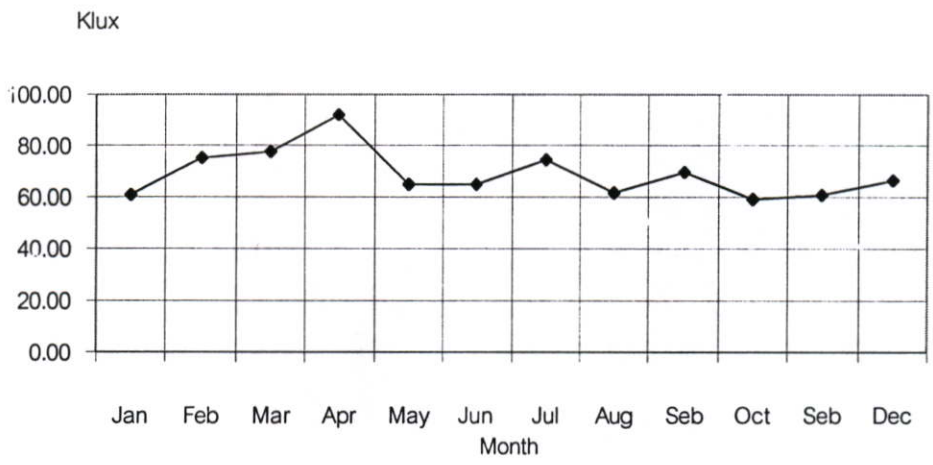
โดยการหาค่าเฉลี่ยในการวัดการกระจายแสงในห้องเรียนเวลา 14.00 น. ได้ค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 7 คือ 60.64 , 64.44 , 64.76 , 61.50 , 60.68 ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62.7 Klux

ตารางที่ 1.6 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux)

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

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	48.93	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	47.42
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

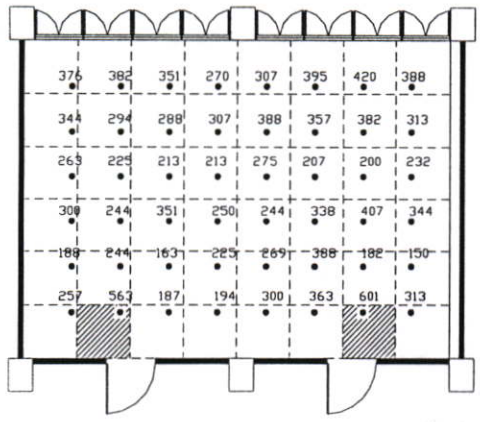
ที่มา : Chirarattananon and Chaiwiwatwatworakul (2001 : P.A-1)



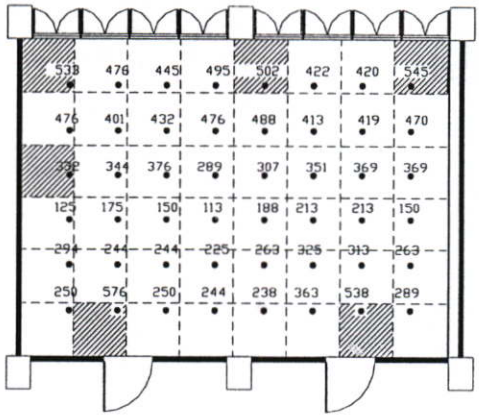
รูปที่ 1.5 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง (Klux) เวลา 14.00 น.

ตารางที่ 1.7 แสดงค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยชั้น 2 – 7 (Lux)

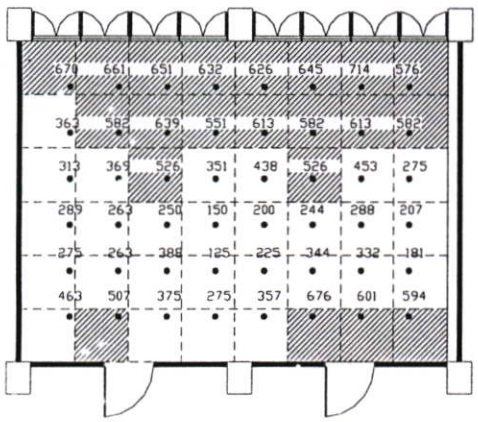
ค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยชั้น 2 – 7 (Lux)



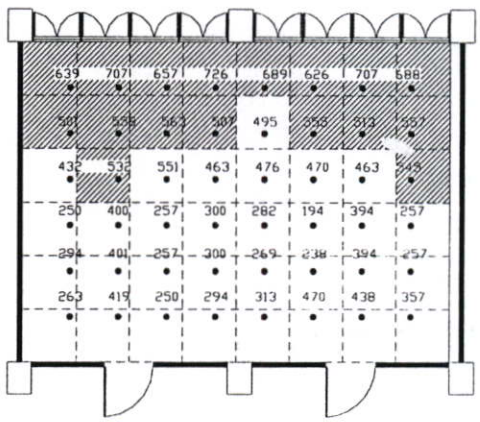
PLAN 2



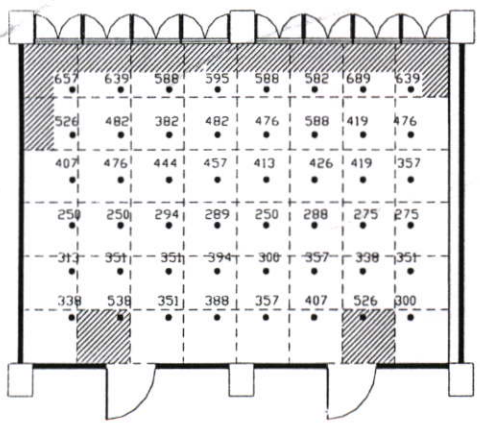
PLAN 3



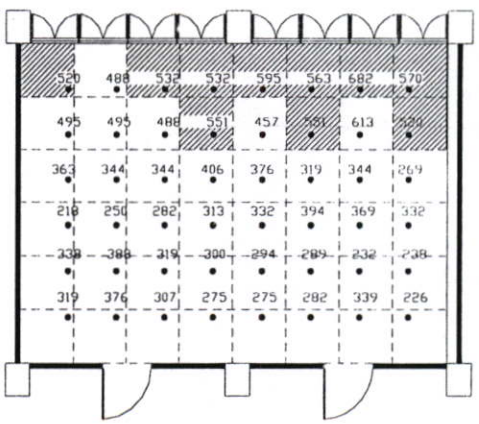
PLAN 4



PLAN 5



PLAN 6



PLAN 7

▨ ช่องสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งานในห้องเรียน

เมื่อพิจารณาเกณฑ์ค่าระดับความส่องสว่างมาตราฐาน ที่กำหนดบนพื้นที่ใช้สอย ที่วัดได้ในแต่ละชั้นของห้องเรียนพบว่า

ชั้นที่ 2 ทางด้านทิศเหนือมีต้นไม้สูงจากพื้นถึง 3.50 เมตร แสงจึงสามารถส่องสว่างเข้ามาได้เพียงเล็กน้อยประมาณ 200 – 300 ลักซ์

ชั้นที่ 3 มีการกระจายแสงในช่วง 1.00 เมตรแรกจากช่องเปิดทางด้านทิศเหนือในเกณฑ์มาตราฐานส่วนที่ลึกเข้าไปการกระจายแสงต่ำกว่าเกณฑ์มาตราฐาน

ชั้นที่ 4 – 7 มีการกระจายแสงในช่วง 2.00 เมตรแรกจากช่องเปิดทางด้านทิศเหนือในเกณฑ์มาตราฐานส่วนที่ลึกเข้าไปการกระจายแสงต่ำกว่าเกณฑ์มาตราฐาน

เมื่อพิจารณาเกณฑ์ค่าระดับความส่องสว่างมาตราฐานที่วัดได้ส่วนใหญ่ต่ำกว่ามาตราฐาน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 200 – 300 ลักซ์ ในขณะที่มาตราฐานควรเป็น 500 ลักซ์

ดังนั้นหากมีการศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในส่วนที่ลึกมากกว่า 2.00 เมตรจากช่องแสง ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในห้องเรียน โดยการศึกษาออกแบบและหารูปแบบของ Light Shelve ที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในสถานศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด **ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา ประเภทห้องเรียนทั่วไป และศึกษาวิจัยในแนวทิศเหนือ – ใต้ ที่เกี่ยวเนื่องกับงานวิจัยเท่านั้น** ซึ่งผลที่ได้คือการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมการใช้พลังงานในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างทำให้การใช้พลังงานภายในอาคารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดก็จะเป็นการลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาเพื่อหาแนวทางและวิธีการออกแบบหารูปแบบและขนาดที่เหมาะสมของLight Shelve ของอาคารสถานศึกษาให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งโครงการนี้เป็นการศึกษาในอาคารเรียนสามัญศึกษาส่วนของห้องเรียนทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร โดยการวิเคราะห์หารูปแบบขนาดและสัดส่วนของ Light Shelve ที่เหมาะสมที่สุด และคำนึงถึงการอาศัยประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติโดยการสะท้อนของ Light Shelve เป็นหลัก ที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในส่วนลึกสุดของห้องเรียนจากแนวขอบหน้าต่างได้อย่างเต็มที่ เพื่อให้ผู้ใช้อาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายและช่วยลดการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.3.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสมขนาดและสัดส่วนของห้องเรียนและช่องเปิดที่

เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติเพื่อให้ผู้ใช้อาคารได้รับความสบาย

1.3.2 เพื่อศึกษาและเสนอแนะรูปแบบ รูปทรง ลักษณะสีผิวสัมผัส ขนาดและสัดส่วนของ Light Shelve ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในส่วนลึกสุดของห้องเรียนจากแนวขอบหน้าต่างเพื่อลดภาระของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1.3.3 เพื่อศึกษาและเสนอแนะรูปแบบและเทคนิคประกอบ Light Shelve เช่นวัสดุ และสี ที่ใช้เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการใช้งานตลอดปี และทำให้แสงที่สะท้อนเข้ามาภายในห้องเรียนมีประสิทธิภาพสูงสุดและอยู่ในเกณฑ์ที่สบาย ประหยัดในด้านค่าใช้จ่าย

1.3.4 เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาและวิเคราะห์โดยปรับใช้ให้เหมาะสมกับการปรับปรุงอาคารอื่นๆ และพัฒนารูปแบบต่อไปในอนาคต

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อออกแบบ Light Shelve ของห้องเรียน แบ่งขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับการวิจัย

1 ศึกษาข้อมูลสภาพภูมิอากาศของแสงธรรมชาติที่ได้มีการศึกษาไว้แล้วจาก Daylight availability models for global and diffuse horizontal illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok.

2 ศึกษาตรวจสอบห้องเรียนทั่วไปของสถานศึกษาเดิม ในส่วนของการกระจายแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร อาศัยการเลือกพื้นที่ในทิศเหนือ – ใต้ ของช่องเปิดในแต่ละชั้น เพื่อเป็นตัวแทนในการสรุปการกระจายแสงธรรมชาติของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่สามารถเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างภายใน อันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติ

1.4.2 การศึกษาทฤษฎีรูปแบบที่เกี่ยวกับ Light Shelve และแสงธรรมชาติ

1 ศึกษารูปแบบของ Light Shelve ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันว่ามีรูปแบบใดบ้าง แล้วแยกประเภทเป็นกลุ่มอย่างมีหลักเกณฑ์

2 ศึกษาทฤษฎีที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติ (แสงตรง, แสงกระจาย, การสะท้อนแสง, สภาพท้องฟ้า, ตำแหน่งมุมของดวงอาทิตย์ ฯลฯ)

3 ศึกษาวิธีการต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์ และคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุ

4 ศึกษาสัดส่วนและขนาดและช่องเปิด (หน้าต่าง) ของห้องเรียนที่เหมาะสม

1.4.3 ขั้นตอนการออกแบบ Light Shelve และขนาดของหุ่นจำลอง

1 ศึกษาและออกแบบขนาดของหุ่นจำลองให้มีความเหมาะสมกับสัดส่วนของ พื้นที่ใช้สอยและสัดส่วนของช่องแสง

2 ศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยกายภาพพื้นฐานทั่วไปของ Light Shelve ในการออกแบบ โดยคำนึงถึงปัจจัยทางด้านกายภาพทางด้านรูปแบบ รูปทรง ความลึก ตำแหน่ง มุมเอียง ลักษณะพื้นผิวและสีของ Light Shelve ที่ส่งผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

3 เสนอรูปแบบของ Light Shelve โดยกำหนดทางเลือกที่เหมาะสมของ Light Shelve โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากปัจจัยและปัญหาทั้งหมด เพื่อที่จะได้มีการออกแบบแก้ไขให้ลุล่วงตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ทางด้านประสิทธิภาพของแสงสว่างและด้านเทคนิค

1.4.4 ขั้นตอนการทดลองโดยการทำหุ่นจำลอง

1 ทำการทดลองทดสอบตัวแปรด้วยวิธีการใช้หุ่นจำลองจากขั้นตอนที่สาม โดยทำการทดลองวัดการกระจายแสง ที่ต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านกายภาพทางด้านรูปแบบ รูปทรง ความลึก ตำแหน่ง มุมเอียง ลักษณะพื้นผิวและสีของ Light Shelve ที่ส่งผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2 เสนอปัจจัยกายภาพของ Light Shelve โดยกำหนดทางเลือกที่เหมาะสมของหิ้งสะท้อนแสงโดยพิจารณาเปรียบเทียบจากปัจจัยและปัญหาทั้งหมด เพื่อที่จะได้มีการออกแบบแก้ไขให้ลุล่วงตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ทางด้านประสิทธิภาพของแสงสว่างและด้านเทคนิค

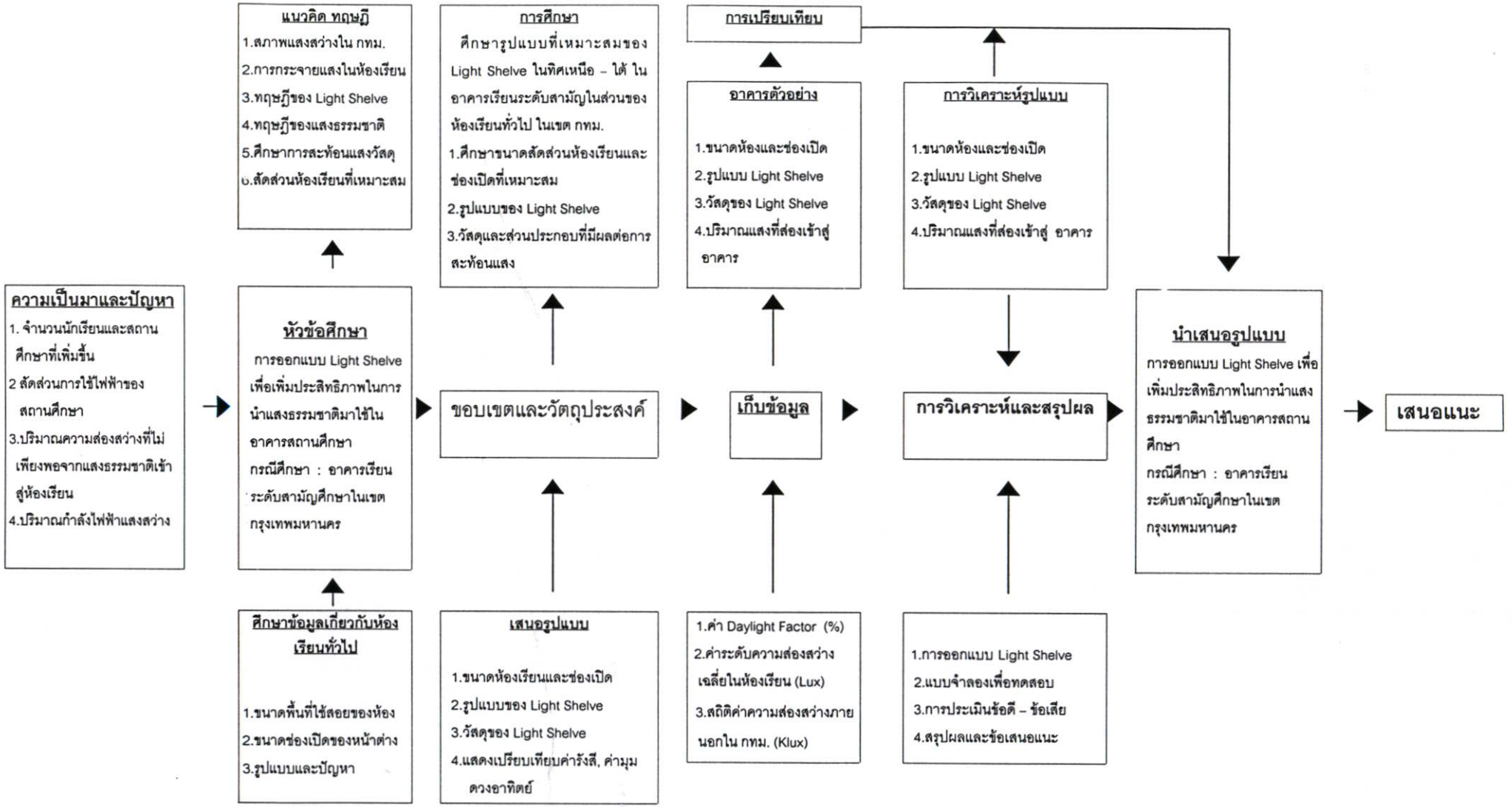
1.4.5 ขั้นตอนประเมินผล

1 นำข้อมูลที่ศึกษาไว้มาประเมินผล ข้อดี ข้อเสีย ของปัจจัยรูปแบบและทางเลือกทั้งหมดทุกรูปแบบที่นำเสนอ เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากระดับเกณฑ์มาตราฐานที่ตั้งไว้ ได้แก่ประสิทธิภาพของแสงสว่างและความเป็นไปได้ทางเทคนิคที่เหมาะสมและทำการประเมินผลว่าสามารถใช้แสงธรรมชาติที่ผ่านการสะท้อนจาก Light Shelve ได้กี่เปอร์เซนต์ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

1.4.6 สรุปผลและข้อเสนอแนะในการวิจัย

1 สรุปผลว่า Light Shelve รูปแบบใดที่มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นมาตราฐานสำหรับช่องเปิดของสถานศึกษา

2 เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง การนำเอาผลสรุปที่ได้จากการวิจัยไปใช้และสิ่งที่ควรปรับปรุงแก้ไข



รูปที่ 1.6 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาอาคารสถานศึกษาระดับสามัญศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร ประเภทห้องเรียนทั่วไป ศึกษาศักยภาพการส่องสว่าง และปริมาณของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยกำหนดให้เวลาใช้งาน 8.00 – 15.00 น. ศึกษาเฉพาะประเภทอาคารที่มีสภาพแวดล้อมที่ปกติ คือไม่หนาแน่นหรือเบาบางเกินไป

1.5.2 ศึกษาและกำหนดขนาดของพื้นที่ห้องเรียนและขนาดช่องเปิดและช่องแสงให้สอดคล้องกับความสบายทางด้านแสงสว่าง

1.5.3 ศึกษารูปแบบเพื่อหาแนวทางในการออกแบบ Light Shelve และวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง

1.5.4 ศึกษาเพื่อออกแบบ Light Shelve ที่มีความเหมะสมในสถานศึกษาระดับสามัญศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อให้ผู้ใช้อาคารเกิดสภาวะน่าสบายและใช้แสงธรรมชาติได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

1.5.5 ศึกษาและทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศและปริมาณการส่องแสงในสถานศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครและทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาแนวทางในการออกแบบทำหุ่นจำลอง (Model) เพื่อทำการทดลองและนำมาประเมินผลและสรุปผลวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เป็นแนวทางในการออกแบบให้เข้าใจถึงความสำคัญของตัวแปรในการกำหนดรูปแบบของ Light Shelve ที่เหมาะสม ในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.6.2 สามารถนำผลที่ได้จากการทดลองของ Light Shelve ที่เหมาะสมไปประยุกต์เพื่อปรับปรุงใช้กับอาคารจริง ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดด้านแสงสว่างต่อไป

1.6.3 เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างมาใช้ภายในอาคารสถานศึกษาได้สูงสุดโดยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของแนวทางการประหยัดพลังงาน เพื่อลดปัญหาการใช้พลังงานโดยรวม

1.7 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

1.7.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับการวิจัย

1.7.2 การศึกษาทฤษฎีรูปแบบของเกี่ยวกับหิ้งสะท้อนแสงและแสงธรรมชาติ

1.7.3 ขั้นตอนการออกแบบ Light Shelve ศึกษาศักยภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารด้วยวิธีการของ Light Shelve

1.7.4 ขั้นตอนการทดลองโดยการทำหุ่นจำลอง

1.7.5 ขั้นตอนประเมินผลวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

1.7.6 สรุปผลและข้อเสนอแนะในการวิจัย

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 1.8 แสดงระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

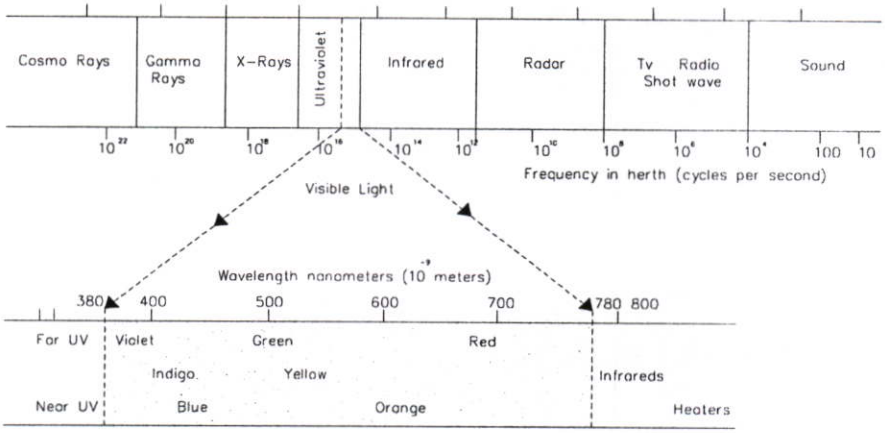
รายละเอียด ปี พ.ศ.2545	ต.ค.44	ธ.ค.44	เม.ย.45	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
1.7.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับการวิจัย								
1.7.2 การศึกษาทฤษฎี								
1.7.3 ขั้นตอนการออกแบบ Light Shelve								
1 วัดการกระจายแสงของรูปแบบ Light Shelve								
2 ประมวลผล และสรุปผล								
3 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
4 ออกแบบรูปทรงของ Light Shelve								
5 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
6 ตัด Model ในส่วนของ Light Shelve								
7 วัดการกระจายแสงของรูปทรง Light Shelve								
8 ประมวลผล และสรุปผล								
9 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
10 ออกแบบลักษณะวัสดุและสีของ Light Shelve								
11 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
12 ตัด Model ในส่วนของ Light Shelve								
13 วัดการกระจายแสงของรูปทรง Light Shelve								
14 ประมวลผล และสรุปผล								
15 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
16 ออกแบบติดภายในห้องเรียน								
17 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
18 ตัด Model ในส่วนของห้องเรียน								
19 วัดการกระจายแสงของรูปทรง Light Shelve								
20 ประมวลผล และสรุปผล								
21 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
22 เตรียมPresent Thesis ครั้งที่ 1								
23 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
24 Present Thesis ครั้งที่ 1								
24 ออกแบบแสงประดิษฐ์ภายในห้องเรียน								
25 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
26 ตัด Model Final								
27 วัดการกระจายแสงของ Model								
28 ประมวลผล และสรุปผล								
1 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
2 เตรียมPresent Thesis ครั้งที่ 2								
3 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
4 Present Thesis ครั้งที่ 2								
5 แก้ไขข้อมูล								
6 เตรียมPresent Thesis ครั้งที่ 3								
7 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
8 Present Thesis ครั้งที่ 3								
1 แก้ไขข้อมูล ทำรูปเล่ม								
2 พบอาจารย์ที่ปรึกษา								
3 แก้ไขข้อมูลต่อ และทำรูปเล่ม								
4 สังวิทยานิพนธ์								

44093

บทที่ 2
พฤติกรรมของแสงและแนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง

2.1 ธรรมชาติของแสงสว่าง

แสงสว่างเป็นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความถี่อยู่ระหว่าง 380 – 780 nm. ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งพลังงานช่วงดังกล่าวนี้เท่านั้นจะช่วยให้เกิดการมองเห็นได้

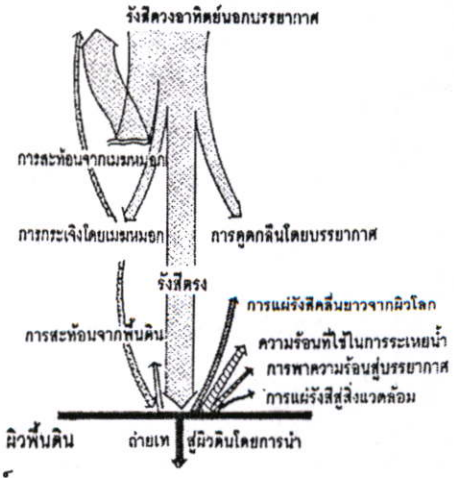


รูปที่ 2.1 แสดงช่วงคลื่นสเปกตรัม

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 912)

2.2 พฤติกรรมของแสง

พลังงานแสงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยพลังงานแบบรังสีตรงและแบบรังสีกระจายเมื่อแสงส่องผ่านอนุภาคของชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดการหักเหและการสะท้อนก่อนที่จะส่องลงมายังผิวโลกและเมื่อกระทบกับพื้นผิวหรือวัตถุใดๆ จะเกิดลักษณะ 3 ประการคือการดูดซึม (Absorbtion), การสะท้อน (Reflection), และการส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและพื้นผิวแต่ละชนิด

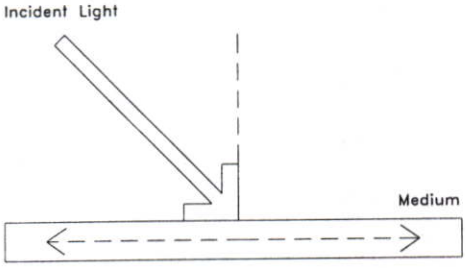
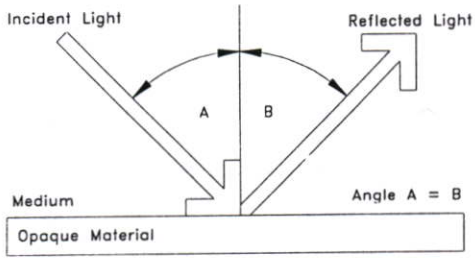
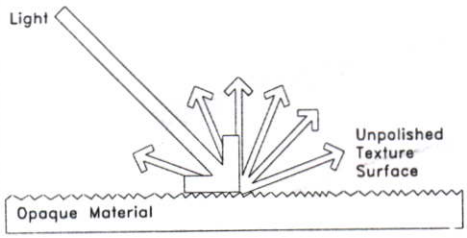
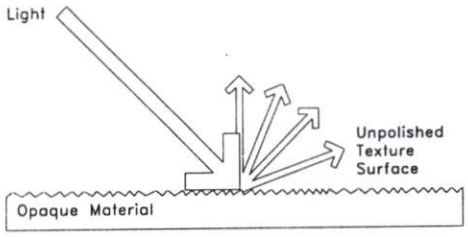
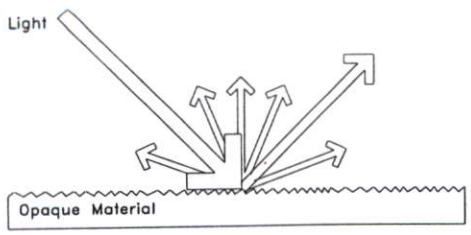


รูปที่ 2.2 แสดงการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

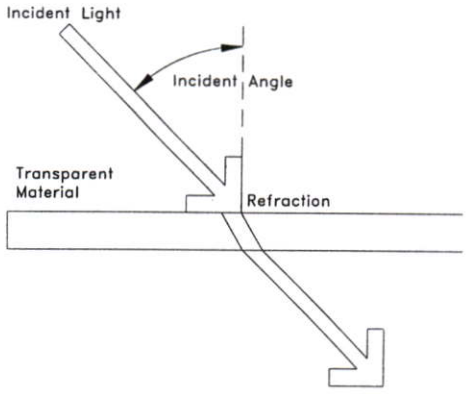
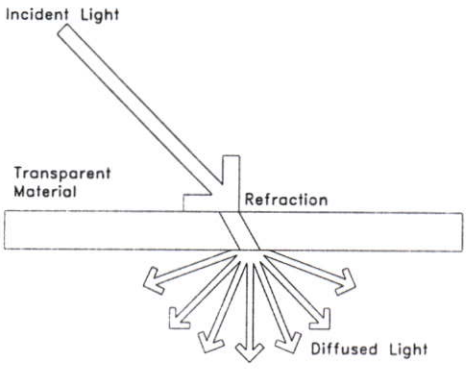
ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ (2539 : 30)

พฤติกรรมของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆ มีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมของแสงเมื่อตกกระทบกับวัตถุ

พฤติกรรมของแสง	ลักษณะต่าง ๆ
A การดูดซึม (Absorbtion)  	**A แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง** เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง (Medium) และเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน
B การสะท้อน (Reflection)  - **การสะท้อนแบบกระจาย** (Diffuse Reflection)    	**B แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา** (Specular Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางและสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นนั้นไม่เปลี่ยนแปลง - เมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque Material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (Polish Suface) การสะท้อนจะมีลักษณะของมุมของแสงที่ตกกระทบ (Angle of Reflection) **แสดง** Perfect Diffuse Surface - เมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุทึบแสงที่มีผิวหยาบจะถูกสะท้อนออกไปในหลายๆ ทิศทาง แสงที่ถูกสะท้อนออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบ หากผิววัตถุนั้นมีผิวที่ไม่เรียบสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้จะจะมีลักษณะเป็นแบบกระจากแสงแบบสมบูรณ์ **แสดง** Semi Diffusing Surface - เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่าๆ กันในทุกมุมสะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบ (Semi Diffusing Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย **แสดง** Combined Specular & Diffuse Reflection - แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย

ตารางที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมของแสงเมื่อตกกระทบกับวัตถุ (ต่อ)

พฤติกรรมของแสง	ลักษณะต่าง ๆ
C การส่องผ่าน (Transmission) **ตัวกลางโปร่งใส** (Transparant Medium)  	**แสดงแสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน** - เมื่อแสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลางและทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ และส่วนที่เหลือจะทะลุผ่าน หมายถึงปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณของแสงสะท้อนกลับรวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน ได้สมการดังนี้ Absorbtance + Reflectance + Transmittance = 1
ตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium)  	**แสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย** - ตัวกลางโปร่งแสง แสงจะเกิดหักเห (Refracted) หรือเปลี่ยนทิศทาง (Bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางและทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบโดยที่ยังมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกใส เป็นต้น - แสงที่ส่องผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจายและในกรณีนี้จะไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเหนิดแสงอีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน

ที่มา : ไพศาล จันเตยูร (2539 : 172)

2.3 การวัดค่าความส่องสว่างของแสง (Measurement of Lighting Illumination)

การวัดค่าความส่องสว่างของแสงสามารถวัดได้ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง จำนวนเส้นแรงของปริมาณแสงและในรูปของตารางต่อตารางพื้นที่ดังต่อไปนี้

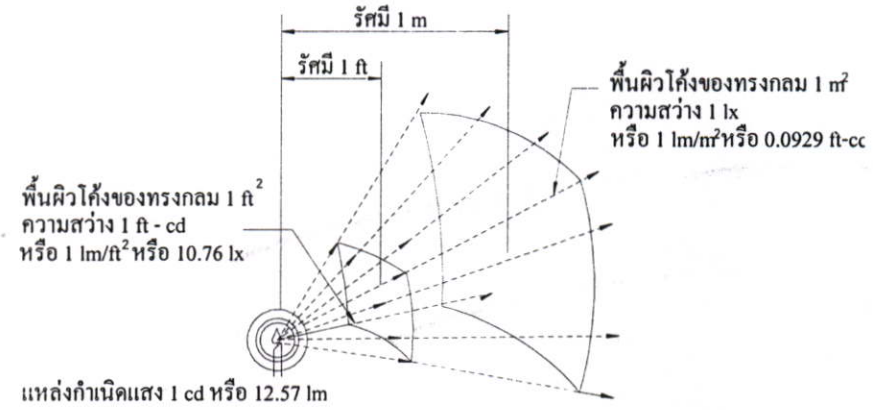
2.3.1 แคนเดลลา (Candela)

แหล่งกำเนิดแสงก็เช่นเดียวกับแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆคือสามารถที่จะวัดค่าได้และสามารถบอกค่ามากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความ

เข้มแห่งการส่องสว่าง (Candlepower) ซึ่งมีหน่วยเป็นแคนเดลลา **ความเข้มแห่งการส่องสว่างหรือกำลังส่องสว่าง 1 แคนเดลลา มีค่าเท่ากับความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุดำ** (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของพลาตินัม (Platinum) โดยทั่วไปความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งๆ มักมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ อย่างไรก็ตามมักจะมีค่าเท่ากันและสมมาตรกันระหว่างแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้นด้วย

2.3.2 **ลูเมน** (Lumen)

เป็นการบอกในรูปของจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสง (Luminous Flux) ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ เรานำแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กมากๆ จนเสมือนจุด (Point Source) และมีความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอรอบทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกบนทุกๆ 1 ตารางหน่วย พื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน และเนื่องจากพื้นที่รอบผิวทั้งหมดของทรงกลมนี้มีค่าเท่ากับ 12.57 (หรือ 4π) ตารางหน่วยพื้นที่ **ดังนั้นเราจึงสรุปได้ว่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลลา จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ 12.57 ลูเมน ดังรูปที่** 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟุตแคนเดิลกับลักซ์

ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม (2544 : 13)

2.3.3 **ฟุตแคนเดิล** (Footcandle)

จากรูปที่ 2.3 จะพบว่าเมื่อเรานำแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมากๆ นี้มีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลลา ไปวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน จะไปตกลงบนทุกๆ 1 ตารางฟุตบนพื้นที่ของทรงกลม ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต ในทำนองเดียวกันถ้ามีรัศมีของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ (Lux) หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร **ดังนั้นปริมาณแห่งการส่องสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล จะมีค่าเท่ากับ 10.76 ลักซ์**

2.3.4 **การส่องสว่าง** (Illumination)

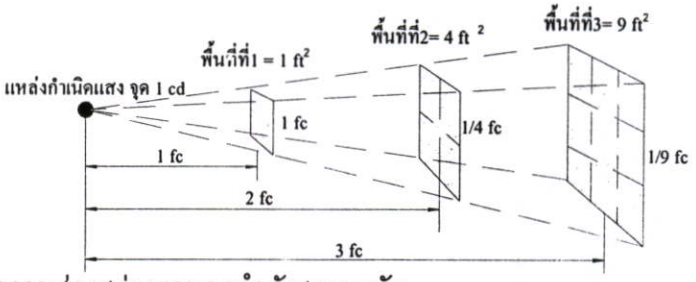
ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรตามโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Illumination Intensity) ของแหล่งกำเนิดแสงและแปรตามอย่างผกผันกับค่าระยะทางยกกำลัง 2 ระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสดงดังรูป เราเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า "กฎกำลังสองผกผัน" (Inverse Square Law) จะได้สมการดังนี้

$$E = C_d / D^2$$

เมื่อ E คือปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นงาน (fc)

C_d คือความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดในทิศทางที่พุ่งไปหาจุดที่พิจารณาบนพื้นงาน (C_d= Candela)

D^2 คือระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับจุดที่ต้องการคำนวณหาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง (ft)

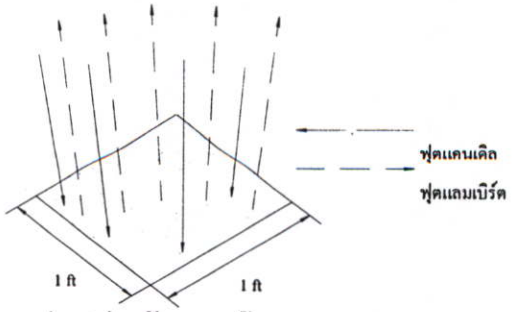


รูปที่ 2.4 แสดงค่าระดับความส่องสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน

ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม (2544 : 15)

2.3.5 **ความจ้า** (Brightness)

เป็นผลที่เกิดจากการที่แสงสะท้อนออกจากผิววัตถุหรือพุ่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าสู่ตา กล่าวคือเมื่อแสงตกลงบนพื้นผิวของวัตถุใดๆ บางส่วนของแสงนั้นจะถูกดูดกลืนเข้าไปในพื้นผิวนั้น แต่บางส่วนของแสงนั้นจะถูกสะท้อนออกมา ถ้าแสงที่สะท้อนออกมามีปริมาณมากเรากล่าวว่ามีความจ้ามาก และวัดความจ้าของวัตถุใดๆ ด้วยปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และมีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert) ดังรูปที่ 2.5 สิ่งที่ตาเราเห็นนั้นคือความจ้า หรือฟุตแลมเบิร์ต ไม่ใช่ความสว่างหรือฟุตแคนเดิล ปริมาณความจ้าของวัตถุใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของปริมาณแห่งการส่องสว่างกับค่าความสามารถในการสะท้อนของวัตถุนั้น



รูปที่ 2.5 แสดงความแตกต่างระหว่างการส่องสว่างกับความจ้า

ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม (2544 : 16)

2.4 ความจ้าหรือการส่องสว่าง (Brightness & Luminance)

เมื่อปริมาณแสงตกกระทบวัตถุเรียกว่าการส่องสว่างและมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล แต่สิ่งที่ตาเราเห็นคือความจ้าอันเกิดขึ้นจากการสะท้อนของแสงจากวัตถุเข้าตาและมีหน่วยวัดเป็นฟุตแลมเบิรต์ (Footlambert) เขียนสมการได้ดังนี้

$$FL = Fc \times P$$

$$FL = Fc \times T$$

เมื่อ FL คือปริมาณความจ้า (ฟุตแลมเบิรต์)
Fc คือปริมาณการส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล)
P คือค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (%)
T คือค่าการส่องผ่านของวัตถุ (%)

เมื่อปริมาณแสงมากขึ้นความจ้าจะมากขึ้นตามไปด้วยความจ้าของวัตถุใดๆ ขึ้นอยู่กับความสามารถของการสะท้อนแสงของวัตถุนั้นๆ ด้วย ผู้ออกแบบจะต้องรักษาค่าความจ้าที่เกิดขึ้นให้เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงความจ้าสำหรับลักษณะของการเห็นในระดับต่างๆ

ลักษณะของการมองเห็น	ความจ้า (ฟุตแลมเบร์ต)
ยากมากจริงๆ	420
ยากมาก	120 – 420
ยาก	42 – 120
ธรรมดา	18 – 42
ง่าย	ต่ำกว่า 18

ที่มา : พิบูลย์ ดิษฐอุดม (2544 : 23)

ความจ้าหรือความส่องสว่างของวัตถุที่สายตารับรู้ขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการสะท้อนหรือความส่องผ่านของแสงของวัตถุ ทำให้วัตถุนั้นๆ เปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สอง (Secondary Light Source)

ความเปรียบต่าง (Contrast)

ความแตกต่างของจุดสังเกตกับสิ่งที่อยู่รอบข้าง ยิ่งมีค่า Contrast มากจะทำให้การมองเห็นง่ายขึ้นในขณะที่ความต้องการปริมาณแสงและเวลาในการรับภาพมีน้อยลงในขณะเดียวกันหากมีค่า Contrast ที่มากจนเกินไปทำให้สายตาไม่สามารถมองเห็นได้อย่างอิสระ หรือเกิดการระคายเคืองของสายตา (Glare) Contrast สามารถกำหนดได้ด้วยอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุ หรือจุดสังเกตและความสว่างของสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

Contrast = $(L_B - L_I) / L_I$

เมื่อ L_B คือความสว่างของสภาพแวดล้อม

L_I คือความสว่างของวัตถุ

2.5 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆและอนุภาคในอากาศ ของฝุ่น ควัน หรือไอน้ำ ปริมาณของแสงสว่างที่เข้าสู่หน้าต่างของอาคารขึ้นอยู่กับแสงสว่างที่ได้รับจากสภาพท้องฟ้าแต่ละประเภทสามารถแบ่งได้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยของท้องฟ้าในลักษณะต่างๆ

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

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

2.5.1 สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky)

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

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

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

A กรณีเกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว เขียนสมการได้ดังนี้

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

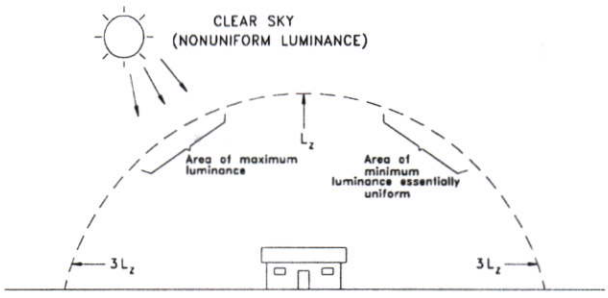
B กรณีเกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว เขียนสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ E_H คือความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้า Clear Sky (Lux)

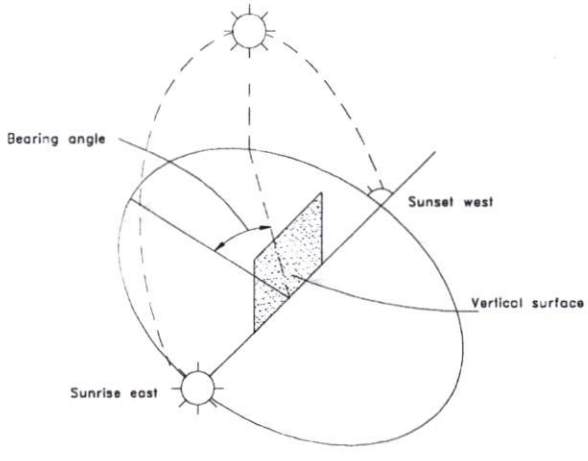
A คือ Solar Altitude

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



รูปที่ 2.6 แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 974)



รูปที่ 2.7 แสดงมุม Bearing

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 977)

2.5.2 **สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน** (Partly Cloudy Sky)

การหาค่าความส่องสว่างในท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆตลอดเวลา หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบาง ไม่หนาทึบ (น้อย) ค่าความส่องสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่ามากกว่าค่าความส่องสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการสะท้อนแสงของเมฆ (Nadamura and Oki. 1983) ในขณะที่การวิจัย (Krochman,

1986) พบว่าค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570\ A$$

เมื่อ E_{HP} คือค่าความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบภายใต้ท้องฟ้า Partly Cloudy Sky (Lux)

A คือ Solar Altitude

อย่างไรก็ตามหากเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามีลักษณะเป็นกลุ่มหนาทึบก็อาจจะทำให้แสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้า และปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ถูกกั้น นั่นคือแสงจะถูกดูดกลืนมากกว่าสะท้อนอันเป็นผลให้ค่าความสว่างจากท้องฟ้าที่ค่าลดลง หากพิจารณาค่าความส่องสว่างในระดับระนาบแนวนอนและระนาบแนวตั้ง ซึ่งมีอิทธิพลในการพิจารณาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ จากการศึกษา (The Gillete Prediction Model, 1985) อาศัยดัชนีเมฆหรือ Cloud Ratio หาความสัมพันธ์ของความส่องสว่างของท้องฟ้าอันเกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Elvegard and Sjostedt, 1940) พบความสัมพันธ์เพื่อหาค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบแนวนอนที่ปราศจากสิ่งกรีดขวางดังนี้

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

เมื่อ E_S คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงตรงของดวงอาทิตย์

E_C คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงกระจายภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง

2.5.3 **สภาพท้องฟ้ามีดมน** (Overcast Sky **หรือ** CIE Sky)

ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith – Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (Horizon – Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่า มีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องด้วยค่าความสว่างของท้องฟ้าที่จุดใดๆ จะพิจารณาจามุม Altitude ของดวงอาทิตย์เหนือระดับแนวระนาบซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

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

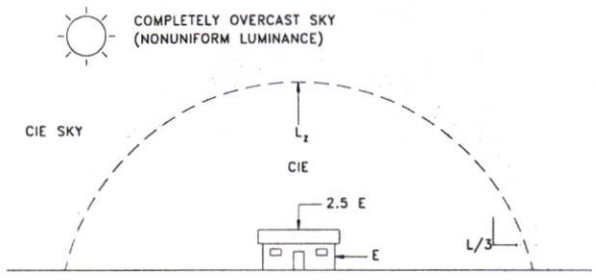
เมื่อ L_A คือความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือแนวระนาบในทุก ทิศทาง

L_Z คือความสว่างของท้องฟ้าที่จุดสูงสุด (Zenith)

ดังนั้นความสว่างที่ตำแหน่งแนวระนาบ หรือที่มุม A = 0 องศาจะมีค่าเท่ากับ $L_Z / 3$ ส่วนค่าความสว่างที่ระดับสูงสุด Zenith Luminance จากการศึกษา (Krochman and Side) สามรถเขียนสมการได้ดังนี้

$$L_Z = 123 + 8600 \sin A\ (cd/sqm)$$

เมื่อ A คือ Solar Altitude



รูปที่ 2.8 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 974)

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณี คือมีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอกัน (Uniform Brightness) ความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith – Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon – Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง แต่ก็มีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง จากการวิจัย (Krochman, 1963) พบว่าค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky จะแปรผันตาม Solar Altitude สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

E_H = 300 + 21,000 sin A (Lux)

เมื่อ E_H คือความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้า Overcast Sky (Lux)

A คือ Solar Altitude

2.6 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

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

วิธีการออกแบบของ CIE Method นั้น มีข้อจำกัดคือท้องฟ้าที่ใช้ในการออกแบบจะต้องเป็นท้องฟ้าแบบมืดมน (Overcast Sky) ไม่มีแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Beam Sunlight) ส่วนวิธีการออกแบบ IES Method มีข้อจำกัดคือในการคำนวณจะใช้แสงจากด้านบน (Top Light) และแสงจากการสะท้อนของพื้นเป็นหลัก โดยให้ความสำคัญกับแสงกระจายที่ได้รับจากท้องฟ้าโดยตรง (Sky Component) น้อยมาก และจากตารางที่ 2.2 จะพบว่าสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เป็นท้องฟ้าแบบ Broken Cloud ทำให้การออกแบบด้วย CIE Method และ IES Method นั้นผลที่ได้จะเกิดความคลาดเคลื่อนมาก **ดังนั้นจึงพิจารณาใช้การออกแบบโดย Daylight Factor Method จะทำให้ค่าการออกแบบแสงสว่างจากธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในอาคารใกล้เคียงตามจริงมากกว่า**

Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลักซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่แต่ละที่ (Altitude , Azimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกันองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงธรรมชาติโดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบคือ

- **องค์ประกอบจากท้องฟ้า** Sky Componant (SC)

  แสงกระจายที่ได้รับจากท้องฟ้าโดยตรง

  SC = Incident Sky Light – Window Losses

- **องค์ประกอบภายนอก** Externally Reflected Componant (ERC)

  แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอกหรือบริเวณใกล้เคียง

  ERC = Sky Component × RF (of Obstruction)

- **องค์ประกอบภายใน** Internally Reflected Componant (IRC)

  แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายในอาคารได้รับแสงจาก SC และ ERCการกำหนดค่า Daylight Factor (D.F.) ก็คือค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใดๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพ Clear Sky ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Excluded Direct Sun) ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซนต์

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

ถึงแม้ว่า Daylight Factor (D.F.) นั้นไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของแสงที่แน่นอนแต่ก็สามารถชี้ได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่มีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่มีการกำหนดค่าของ DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ

การใช้งาน	ค่า DF (%)
การอ่านหนังสือหรือการทำงานปรกติ	1.5 – 2.5
การอ่านหนังสือหรือการที่ต้องใช้สายตามาก	2.5 – 4.0
การทำงานที่ต้องควบคุมความละเอียดสูงหรือการใช้เครื่องจักร	4.0 – 8.0

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 197)

2.7 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงประดิษฐ์ (Artificial Light)

โดยทั่วไปมีวิธีในการคำนวณ 2 วิธี ได้แก่วิธีแรกเรียกว่า Zonal Cavity Method เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งห้อง วิธีที่สองเรียกว่าวิธีคำนวณแบบจุดต่อจุด (Point–by– Point Metrod) เป็นวิธีการหาค่าระดับความสว่างจุดใดจุดหนึ่ง โดยอาศัยกราฟแสดงการกระจายของกำลังเทียน และกฎกำลังสองผกผันหาค่าระดับความสว่างที่พิจารณา **สำหรับการวิจัยนี้เลือกใช้แบบ** Zonal Cavity Method

Zonal Cavity Method เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งห้อง ที่พิจารณาจากระดับความส่องสว่าง

$$E = L / A$$

เมื่อ L คือปริมาณแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากดวงโคม (ลูเมน)

A คือพื้นที่ที่ต้องการพิจารณาระดับการส่องสว่าง (ตารามเมตร)

เนื่องจากเป็นการพิจารณาค่าเฉลี่ยแสงที่เปล่งออกมาจากดวงโคมกระจายทั่วห้องบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนถูกสะท้อน โดยฝ้าเพดาน ผนัง พื้น และวัสดุภายในห้อง ดังนั้นควรพิจารณา 2 องค์ประกอบหลัก คือองค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม (Light Loss Factor) และองค์ประกอบที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจาก ค่าการดูดกลืน การสะท้อนของวัตถุรอบๆ พื้นที่ที่พิจารณา (Coefficient of Utilization)

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

A ฝุ่น หรือความสกปรกของ

- 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 บัลลาสต์ (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

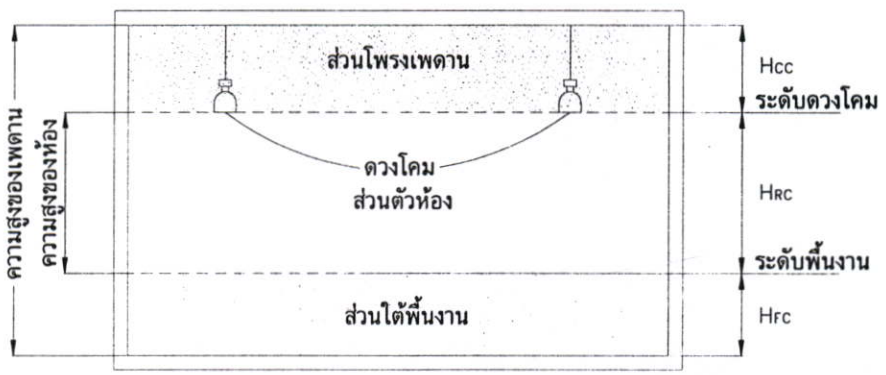
$$LLF = RSDD \times LDD \times LSD \times LLD \times LBF \times LAT \times VLF \times LBO$$

โดย RSDD , LDD , LLD เป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา (LBF , LAT , VLF , LBO , LSD) โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1

<u>องค์ประกอบที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยน (CU)</u>

เป็นค่าที่แสดงการนำแสงสว่างมาใช้งานจริงซึ่งขึ้นอยู่กับความกว้าง ยาว สูงและคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง พื้น (ตาราง CU) พิจารณาโดยแบ่งห้องที่ต้องการออกเป็นสามส่วน (Zonal Cavity) ดังนี้

- **ส่วนโพรงเพดาน** (Ceiling Cavity) **หรือ** Hcc คือส่วนตั้งแต่เพดานถึงระดับดวงโคม (Luminaire Plane)
- **ส่วนตัวห้อง** (Room Cavity) **หรือ** Hrc คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับดวงโคมลงมาถึงระดับพื้นที่ใช้งาน (Work Plane) เรียกความสูงของระยะนี้ว่าความสูงของห้อง (Room Cavity Hight)
- **ส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน** (Floor Cavity) **หรือ** Hfc คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับพื้นที่ใช้งานลงมาถึงพื้นห้อง เรียกความสูงของระยะนี้ว่าความสูงของพื้นงาน (Floor Cavity Hight)



รูปที่ 2.9 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 เพื่อหาค่าดังนั้นสมการที่ได้คือ

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

2.8 ลักษณะการเปิดช่องเปิดที่มีผลกับสภาพแสงสว่างภายใน

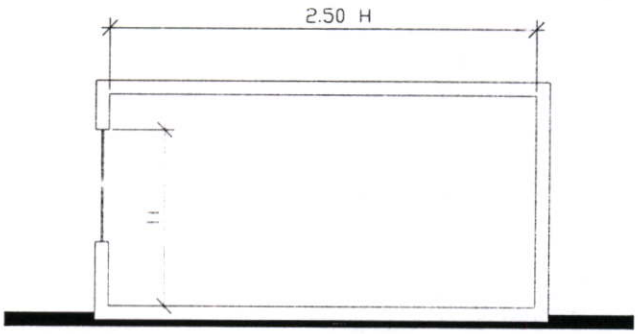
การกำหนดความกว้างละความสูงของช่องเปิดนั้น จะมีผลกับปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาสู่ภายในห้อง ถ้าหากช่องเปิดมีความสูงมากก็จะช่วยให้แสงสว่างส่องเข้าไปในพื้นที่ที่ลึกได้ ส่วนความกว้างของช่องเปิดที่มีความกว้างมากก็จะช่วยให้ห้องได้รับแสงสว่างจากภายนอกได้มากกว่าช่องเปิดที่แคบและเล็ก ดังนั้นการที่จะให้พื้นที่ด้านในสุดได้รับแสงสว่างในระดับมาตราฐาน ความลึกของห้องจึงเป็นสัดส่วนแปรผันตามขนาดความสูงของช่องเปิด

2.8.1 ความสัมพันธ์ของช่องเปิดที่มีผลต่อสภาพการส่องสว่างภายใน

โดยลักษณะทั่วไปสัดส่วนของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับลักษณะการส่องสว่าง 2 กรณี

A. สัดส่วนช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายใน

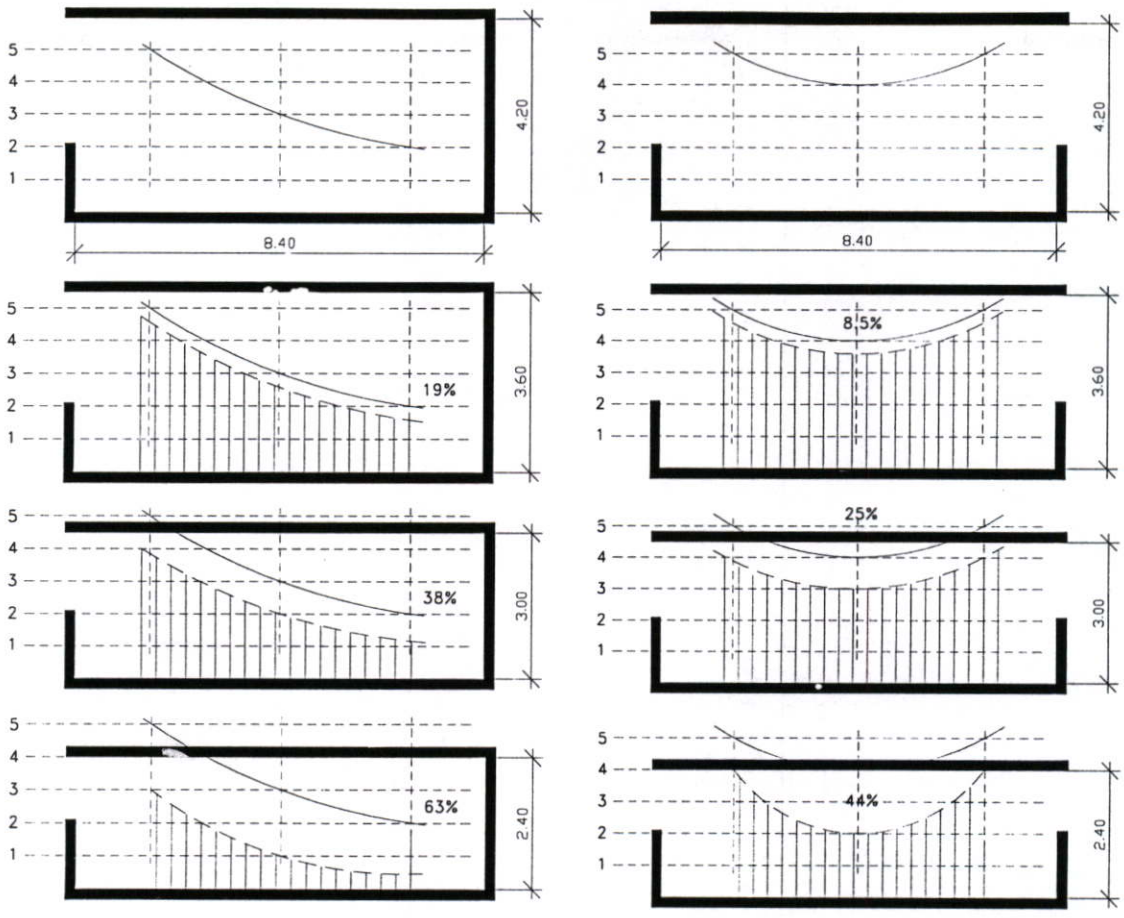
B. สัดส่วนของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับลักษณะการกกระจายแสง ที่ส่องผ่านเข้ามาพื้นทีภายใน ในลักษณะแนวกว้าง แนวยาวและแนวตั้งโดยความลึกของห้องไม่ควรเกิน 2.5 H เมื่อ H คือความสูงของช่องเปิด



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของห้องและความสูงของช่องเปิด
ที่มา : Egan (1983 : 169)

2.8.2 ความสูงและความกว้างของหน้าต่าง (Windows Height and Windows Width)

ขนาดของหน้าต่างและความสูงของหน้าต่างโดยมีระดับที่อยู่เหนือระดับการทำงาน (Work Plane) จะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบแสงสว่างจากธรรมชาติซึ่งโดยปกติรูปแบบของหน้าต่างที่มีขนาดใหญ่จะยอมให้ปริมาณแสงส่องผ่านเข้ามาได้มากแต่ความสูงของหน้าต่างจะเป็นตัวแปรสำคัญมากกว่า โดยที่ความสูงของหน้าต่างจะมีผลต่อความลึกในการส่องสว่างของแสงที่ผ่านเข้ามาภายใน ในส่วนความกว้างของหน้าต่างจะมีผลต่อปริมาณการส่องสว่างภายใน คือหน้าต่างที่กว้างยาวจะมีประสิทธิภาพในการส่องสว่างที่ดีกว่าหน้าต่างที่แคบดังรูปต่อนี้

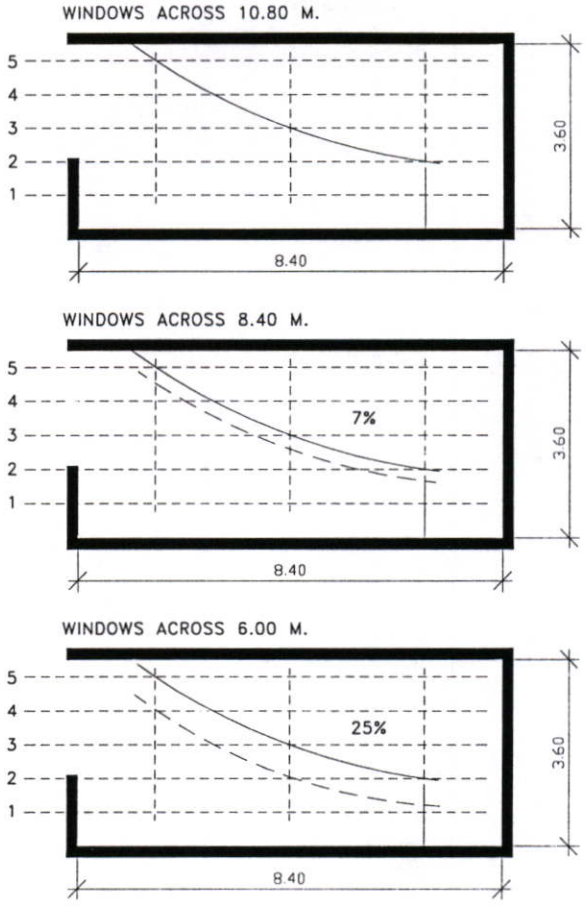


รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของหน้าต่างที่มีความสัมพันธ์ต่อการส่องผ่านของแสงเข้ามาภายใน

รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างของหน้าต่าง 2 ด้านที่ความสูงแตกต่างกัน

จากรูปที่ 2.11 ประสิทธิภาพในการส่องสว่างเข้ามาภายในจะมีปริมาณลดน้อยลง 19% 38% และ 63% ตามลำดับจากบริเวณด้านหลังของห้องโดยขนาดของช่องเปิดจะมีการแปรเปลี่ยนขนาดลงแต่ความลึกของห้องคงที่คือ 28 ฟุต (8.40 เมตร)

และจากรูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบของปริมาณการส่องสว่างของแสงโดยมีหน้าต่างทั้ง 2 ด้าน ปริมาณการส่องสว่างจะมีแนวโน้มที่ลดลงในบริเวณส่วนกลางของห้องจากระดับ 8.5% 25% 44% โดยที่ขนาดของหน้าต่างมีการแปรเปลี่ยนแต่ขนาดความลึกของห้องคงที่คือ 28 ฟุต (8.40 เมตร)



รูปที่ 2.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างจากการปรับเปลี่ยนความยาวของหน้าต่าง

จากรูปที่ 2.13 ปริมาณการส่องสว่างของแสงที่ส่องผ่านเข้ามาภายในจะมีขนาดที่ลดลง จากการแปรเปลี่ยนความยาวของหน้าต่างที่แตกต่างกัน 36 ฟุต (10.80 เมตร) 28 ฟุต (8.40 เมตร) และ 20 ฟุต (6.00 เมตร) ประสิทธิภาพในการส่องสว่างจะลดลง 7% และ 25% จากจุดที่อยู่บริเวณด้านหลังของห้อง

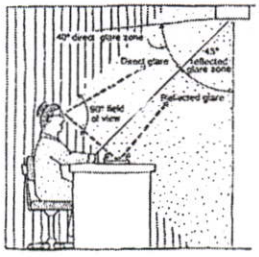
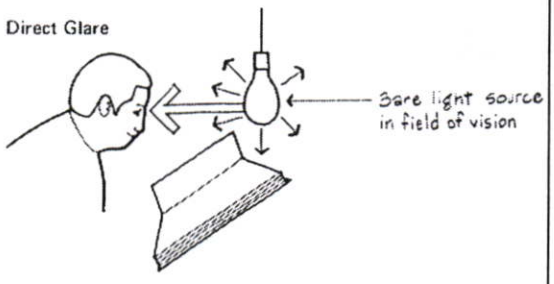
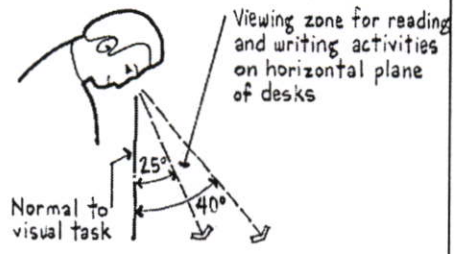
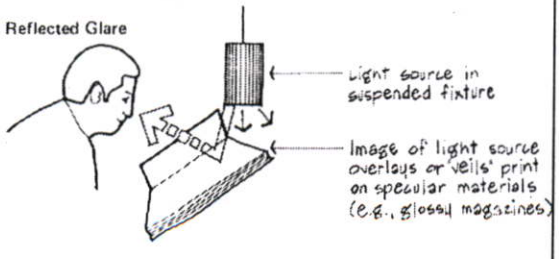
2.9 แนวทางการควบคุมแสงจ้า (Glare)

แสงจ้านับเป็นปัญหาสำคัญของช่องเปิดทางด้านข้าง กล่าวโดยสรุปแสงจ้าจะรุนแรงหรือไม่เกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- ความแตกต่างของความจ้าระหว่างแหล่งกำเนิดกับสภาพทั่วไป
- ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง
- ตำแหน่งของวัตถุในขอบเขตมุมมอง
- ความสามารถในการปรับสายตาของผู้มอง

โดยแสงจ้าสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงประเภทต่างๆ ของแสงจ้า

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

ที่มา : Egan (1985 : 31,32,43)

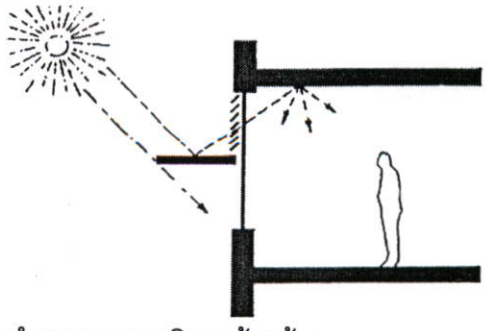
แนวทางการควบคุมแสงจ้า (Glare)

- เปลี่ยนตำแหน่งและมุมของวัตถุ (Placement and Orientation) เมื่อเกิดแสงจ้า สามารถที่จะปรับเปลี่ยนมุมและตำแหน่งของวัตถุที่ได้รับแสงนั้นให้เกิดมุมเบี่ยงไปจากมุมสะท้อน
- การลดความเปรียบต่าง (Reduce the Contrast) โดยปรับค่าการส่องสว่างบริเวณภายในอาคารโดยรอบช่องเปิดหรือแหล่งกำเนิดแสง เพื่อลดความแตกต่างของปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นให้มีความแตกต่างน้อยลง
- การใช้ม่านและอุปกรณ์บังแดด (Blinds and Shades) เมื่อเกิดแสงจ้า การใช้ม่านและอุปกรณ์กันแดด รวมทั้งการใช้ Light Shelve บริเวณช่องเปิดจะช่วยปรับลดความจ้าที่แตกต่างของแสงสว่างได้

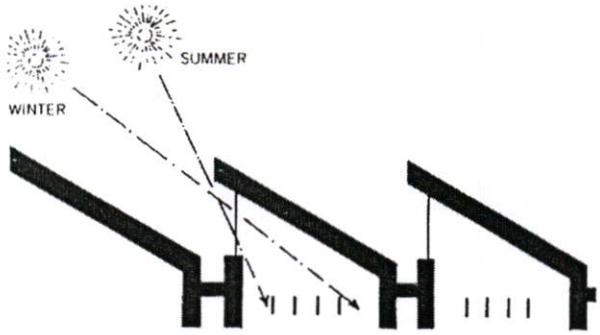
2.10 รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร (Daylight Strategies)

รูปแบบในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารมีหลายวิธีโดยการพิจารณาจากลักษณะทางสถาปัตยกรรม ลักษณะกิจกรรมและช่วงเวลาที่ใช้อาคาร เช่น อาคารประเภทเก็บสินค้า โรงงาน หรืออาคารสาธารณะที่มีความสูงมาก หรือมีโถงสูง เหมาะสมกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาทางด้านบน (Top-lighting Techniques) ส่วนอาคารประเภทการศึกษา สำนักงาน พักอาศัย อาคารที่มีความสูงหลายชั้นหรืออาคารที่แสงสว่างธรรมชาติไม่สามารถส่องเข้าไปได้ถึงส่วนในสุด ส่วนมากจะเหมาะสมกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้าง (Side-lighting Techniques) เป็นต้น และการใช้งานในอาคารมี 7 ประเภทคือ

- แสงจากด้านข้าง (Side Lighting)
- แสงจากด้านบน (Top Lighting)
- แสงจากทางช่องเปิดเอียง (Angled Lighting)
- แสงจากการสะท้อนเป็นลำ (Beam Lighting)
- แสงจากการสะท้อน (Indirect Lighting)
- แสงจากโถงสูง (Atria , Light Court)
- แสงจากรูปแบบผสม (Combinations)

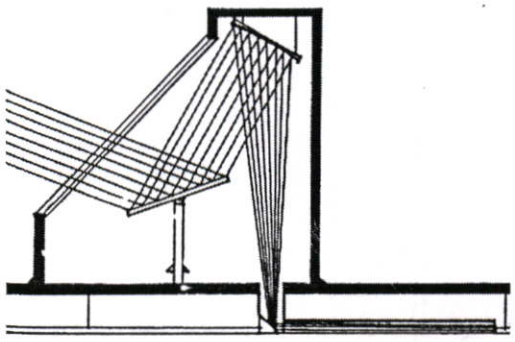


รูปที่ 2.14 แสดงรูปแบบการนำแสงธรรมชาติจากด้านข้าง
ที่มา : Lechner (1991 : 323)



รูปที่ 2.15 แสดงรูปแบบการนำแสงธรรมชาติจากด้านบน

ที่มา : Lechner (1991 : 335)

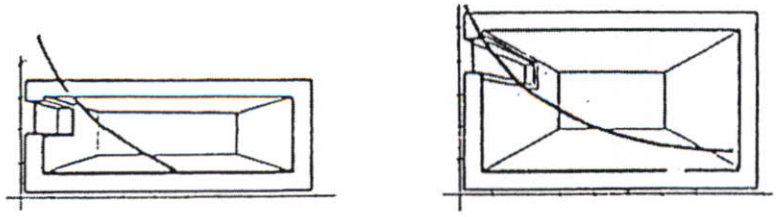


รูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบการนำแสงธรรมชาติจากการสะท้อน

ที่มา : Guzowsski (1976 : 247)

รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ด้านข้าง (Side - lighting Techniques)

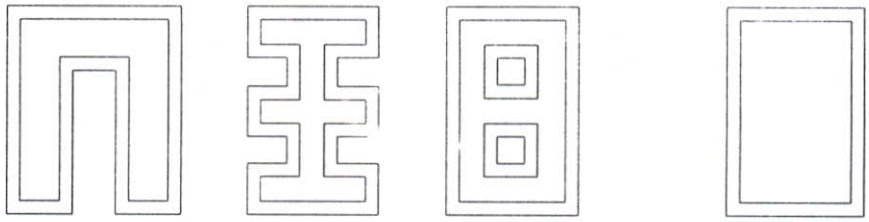
การนำแสงธรรมชาติเข้าใช้ด้านข้างมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือรูปแบบของช่องเปิด ขนาด ความสูง และความกว้างของช่องเปิด โดยที่ตำแหน่งของช่องเปิดยิ่งสูงมากแสงธรรมชาติก็สามารถเข้าไปได้ลึกขึ้นและมีการกระจายแสงได้อย่างทั่วถึงซึ่งรวมเป็นข้อพิจารณาเรียกว่า Window Concepts



รูปที่ 2.17 แสดง Room Aspect Ratio

ที่มา : Simplified Design of Building (1992)

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้างนั้น ปัจจัยที่สำคัญอีกประการคือระยะความลึกของห้องจากช่องเปิด ซึ่งถ้าความลึกของห้องยิ่งมากแสงสว่างธรรมชาติก็จะยิ่งเข้าไปได้น้อย ด้วยเหตุนี้ความลึกที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมในลักษณะผังพื้นรูป E , H , F , L , U และ O



Typical building plan footprints for daylighting.

Block buildings requir fluorescent lighting.

รูปที่ 2.18 แสดง Building Footprints

ที่มา : Simplified Design of Building (1992)

สำหรับรูปแบบหรือวิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจากทางด้านข้างนั้นผู้ออกแบบจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงบทบาทหน้าที่ของช่องเปิดดังตารางที่ 2.6 ดังนั้นผู้ออกแบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำความคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมของอาคาร เพื่อที่จะนำประโยชน์จากที่ตั้งมาใช้ได้อย่างเต็มที่และเหมาะสม

ตารางที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของช่องเปิดกับปัจจัยธรรมชาติภายนอก

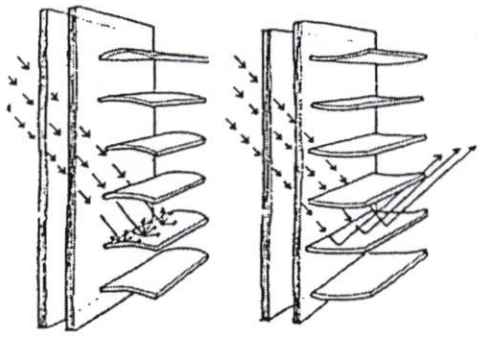
ความสัมพันธ์ของช่องเปิด	ปัจจัยภายนอก		
	ความร้อน	แสงสว่าง	ภาพภายนอก
ตัวเชื่อมต่อ (Connector)		■	■
ตัวกรอง (Filter)		■	
ตัวสกัด (Barrier)	■		
ตัวเลือก (Switcher)		■	■

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 53)

2.11 แนวความคิดของหิ้งสะท้อนแสง (Light Shelve Concept)

จากแนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างบทบาทของช่อเปิดกับปัจจัยภายนอกนั้น พบว่าปัญหาในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้างนั้นอยู่ที่ความลึกของห้องเป็นสำคัญทำให้ต้องหาแนวทางการแก้ปัญหา เช่น การใช้ Clerestories Window เป็นต้น แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีดังกล่าวก็ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านความไม่สบายในการมองจากแสงจ้า (Glare) และความไม่สม่ำเสมอของแสง (Non – Uniformity) ซึ่งเป็นผลให้เกิดความเมื่อยล้าทางสายตา (Eye Fatigue) เพราะเมื่อเพิ่มพื้นที่ของช่องเปิดขึ้นมาก็จะทำให้ระดับความสว่างบริเวณใกล้ช่องเปิดมีค่าสูงขึ้นมากกว่าบริเวณที่ลึกเข้าไปอีกทั้งแสง

สว่างตรงจากดวงอาทิตย์ก็ทำให้เกิดภาวะไม่สบายทางด้านสายตาอีกด้วย ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นรูปแบบในการปรับปรุงสภาพคุณภาพของแสงสว่าง เช่น การใช่ม่านสะท้อนแสง (Refleced Blinds)



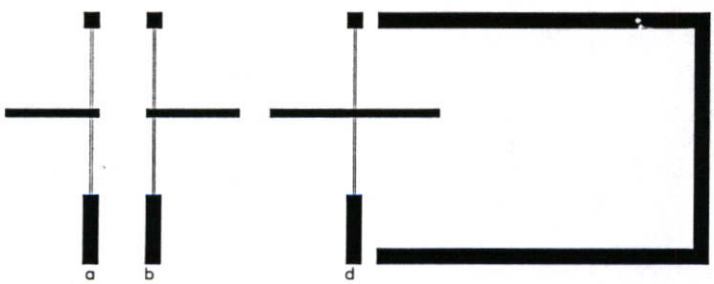
รูปที่ 2.19 แสดง Room Aspect Ratio

ที่มา : Simplified Design of Building (1992)

2.11.1 **รูปแบบทั่วไปของ** Light Shelve

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

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



รูปที่ 2.20 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve

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

ที่มา : Claude (1986 : 121)

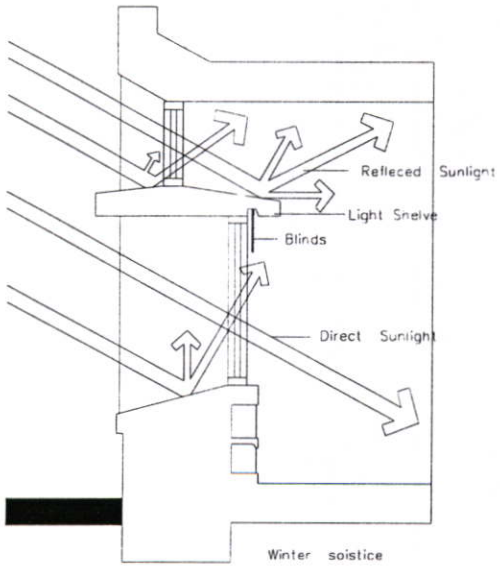
โดยที่รูปแบบทั้งหมดนั้นแต่ละแบบจะมีความเหมาะสมในแต่ละภูมิประเทศแตกต่างกันไป โดยที่ Light Shelve ภายในอาคารและ Light Shelve แบบผสม จะเหมาะสมในภูมิอากาศเขตหนาวเนื่องจากเมื่อแสงตรงส่องมากระทบ หรือส่องผ่านกระจกแล้วกระทบตัว Light Shelve จะเกิดการนำ ความร้อน การสะสมและแผ่รังสีความร้อนและปรากฏการณ์รังสีความร้อนคลื่นยาว ที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ในอาคารได้

2.11.2 **แนวทางการออกแบบ** Light Shelves

Light Shelve เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะการยื่นออกจากตัวอาคาร เพื่อประโยชน์ในการบังแดดและการสะท้อนแสง แนวทางการเลือกรูปแบบจึงมักคำนึงถึงความสูง ความลึก ตำแหน่งของช่องเปิด ตลอดจนพื้นผิวที่นำมาทำเป็นตัวสะท้อนแสงและมุมลาดเอียงของ Light Shelve

A **ความสูง** ระดับความสูงของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสม จะต้องคำนึงถึงการสะท้อนของแสงแดดที่มีต่อฝ้าเพดาน ในการให้แสงส่องผ่านเข้ามาเป็นสำคัญ การติดตั้ง Light Shelve ที่ระดับเหนือสายตา (1.65-2.00 ม.) ซึ่งเป็นระดับเหนือสายตาและเป็นระดับความสูงโดยทั่วไปของประตูหน้าต่าง จะเป็นช่วงระดับความสูงที่ดีที่สุด ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆเป็นแนวทางในการพิจารณา

B **ความลึก** ความลึกของ Light Shelve ขึ้นอยู่กับพื้นที่ใช้สอยของหน้าต่างหรือช่องเปิด ตลอดจนความสูงของช่องเปิด ทิศทางและตำแหน่งของช่องเปิด ที่ต้องการให้ร่มเงาในการออกแบบ Light Shelve ที่มีความลึกมากๆ นอกจากจะช่วยป้องกันความร้อนและให้ร่มเงากับอาคารแล้ว ยังช่วยลดปริมาณแสงที่มีความจ้ามากเกินไปบริเวณใกล้หน้าต่าง



รูปที่ 2.21 แสดงการนำแสงธรรมชาติโดยวิธี Light Shelve
ที่มา : Egan (1983 : 116)

2.11.3 **ประโยชน์ของ** Light Shelve

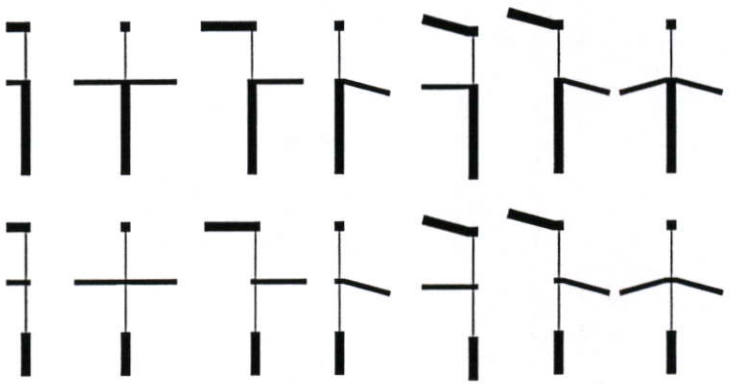
A การเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติให้สามารถเข้าไปได้ลึกมากขึ้น

B การเพิ่มความสม่ำเสมอของความสว่างของแสงธรรมชาติภายในและการลดแสงบาดตา

C การป้องกันแสงแดดตรงเข้าสู่อาคาร

D การลดภาระการทำความเย็น และภาระแสงสว่างในอาคาร

E การลดการใช้พลังงานในอาคาร



รูปที่ 2.22 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Light Shelve ที่มีการใช้งานจริง

Claude (1986 : 123)

ดังนั้นการออกแบบ Light Shelve สิ่งที่ควรพิจารณาคือสภาพภูมิอากาศของที่ตั้งอาคารนั้นๆ เนื่องจากทิศทางและตำแหน่งของดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ดังนั้นรูปแบบที่เหมาะสมของ Light Shelve จึงแตกต่างกันออกไป

2.12 ประเภทของกระจกและคุณสมบัติของกระจก

การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารนั้น องค์ประกอบที่สำคัญอีกองค์ประกอบหนึ่งคือการเลือกใช้ชนิดของกระจก ซึ่งการเพิ่มค่าความสว่างให้แก่อาคารได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระจก ดังนั้นการเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องรู้ถึงคุณสมบัติและชนิดของกระจกดังนี้

A ค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmission) %

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

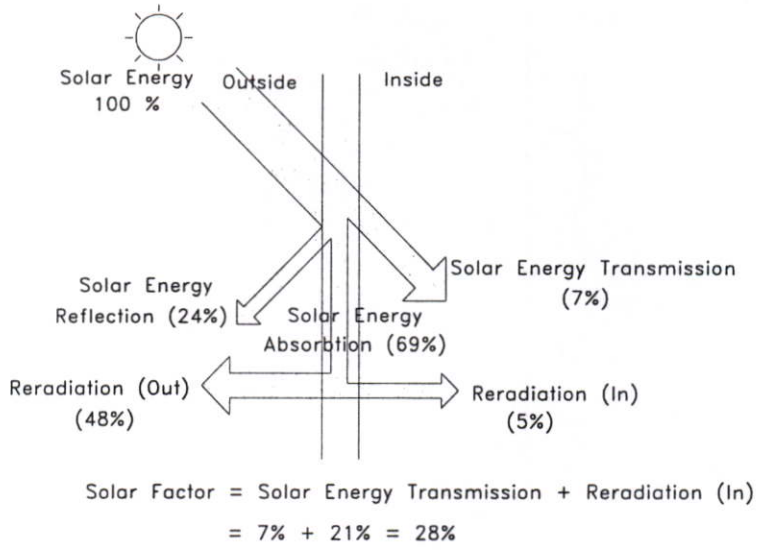
C ค่าการส่งผ่านรังสีอุลตร้าไวโอเลตที่ผ่านกระจก (Ultra-violet Transmission) %

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

E ค่าการสะท้อนแสงของแสงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Energy Reflection) %

F ค่าของแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยกระจก (Solar Energy Absorption) %

G ค่าของแสงอาทิตย์รวมผ่านกระจก (Solar Factor or Total Energy Transmission) %



รูปที่ 2.23 แสดงอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคาร
ที่มา : การใช้กระจก (2542 : 63)

H สีของกระจก (Glazing Color)

I ค่าการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission)

H ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient : SC) คำนวณได้จากสูตร

SC = Solar Factor **ของกระจกที่ต้องการวัด** / Solar Factor **ของกระจกใส หนา 3 มม.** (0.87)

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

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

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

ASHRAE ได้ใช้กระจกหนา 3 มม. เป็นกระจกมารตราฐาน โดยตั้งสมมุติฐานว่าน่าจะเป็นกระจกใช้งานในอาคารที่ยอมให้แสงและรังสีความร้อนผ่านเข้ามามากที่สุดเพราะบางและโปร่งแสง ดังนั้นค่าที่ได้จึงเป็นมารตราฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกประเภทต่างๆว่ามีสัดส่วนมากน้อยเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกมารตราฐานโดยแสดงเป็นสมการ

2.12.1 การแบ่งประเภทของกระจก

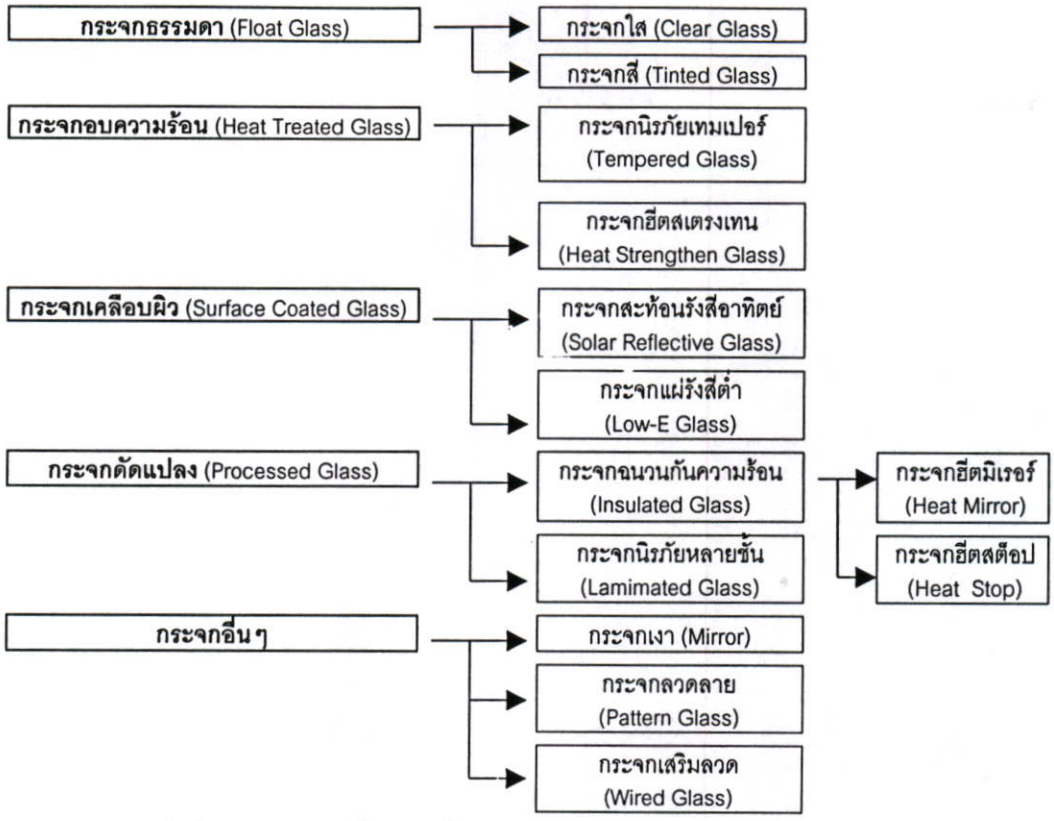
A กระจกธรรมดา (Float Glass)

B กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass)

C กระจกเคลือบผิวหรือกระจกสะท้อนแสง (Surface Coated Glass)

D กระจกดัดแปลง (Processed Glass)

E กระจกอื่นๆ



รูปที่ 2.24 แสดงการแบ่งประเภทกระจกประเภทต่างๆ

2.12.2 คุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติของกระจก

คุณสมบัติของกระจก		กระจกธรรมดา		กระจกอบความร้อน		กระจกเคลือบผิว		กระจกดัดแปลง		กระจกอื่นๆ		
		กระจกใส	กระจกสี	กระจกนิรภัยเทมเปอร์	กระจกฮีตสเตรงเทน	กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์	กระจกแผ่รังสีต่ำ	กระจกฉนวนกันความร้อน	กระจกนิรภัยหลายชั้น	กระจกเงา	กระจกลวดลาย	กระจกเสริมลวด
การมองเห็น	1 มองผ่านได้อย่างชัดเจน	●										
	2 ลดความจ้าของแสงที่ผ่านกระจก		●			●	●				●	
	3 ให้ภาพสะท้อนที่ชัดเจนไม่บิดเบี้ยว	●	●							●		
	4 มองผ่านเข้ามาจากด้านนอกได้ง่าย	●										
ความแข็งแรง	1 มีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ			●	●				●			●
	2 ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ			●	●							
	3 ทนภาวะที่มีความร้อนสูงกว่าปกติ				●							
	4 ทนต่อแรงอัดสูง			●	●				●			
ประหยัดพลังงาน	1 ลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร		●			●	●	●	●			
	2 ค่าการสะท้อนแสงสูง					●	●	●				
	3 ค่าการคายรังสีความร้อนต่ำ						●					
	4 ดูดกลืนพลังงานความร้อน		●			●						
	5 ผิวกระจกไม่ร้อน	●										
อื่นๆ	1 แตกเป็นเม็ดเล็กๆ ไม่มีคม			●								
	2 สีสันสวยงาม		●			●						
	3 แสงสว่างผ่านกระจกได้มาก	●					●	●			●	
	4 ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้							●	●			
	5 ใช้สำหรับการตกแต่ง	●	●			●				●	●	

ที่มา : การใช้กระจก (2542 : 37)

ตารางที่ 2.8 แสดงข้อมูลต่างๆ ของกระจก

Glass Type	Thickness (mm)	Visible Rays		Solar Energy			Relative Heat Gain		U - Value				Shading Coefficient
									Winter Nighttime		Summer Daytime		
		Reflece	Trance	Reflece	Trance	Absorp	(Watt/m²hr)	(Btu/ft²hr)	(Watt/m²hrC)	(Btu/ft²hrF)	(Watt/m²hrC)	(Btu/ft²hrF)	
กระจกโฟลตใส (CLEAR FLOAT GLASS)	2	7	91	8	88	4	691	219	6.60	1.16	5.84	1.03	1.02
	3	7	90	8	86	6	680	216	6.56	1.15	5.84	1.03	1.00
	4	7	89	8	84	8	670	212	6.50	1.14	5.83	1.03	0.99
	5	7	89	7	82	11	660	209	6.44	1.13	5.83	1.03	0.97
	6	7	88	7	80	13	650	206	6.40	1.13	5.83	1.03	0.96
	8	7	87	7	76	17	628	199	6.29	1.11	5.80	1.02	0.92
	10	7	85	7	73	20	610	194	6.19	1.09	5.76	1.01	0.90
	12	7	84	7	70	23	594	188	6.09	1.07	5.72	1.01	0.87
	15	7	81	7	61	32	574	182	5.95	1.05	5.67	1.00	0.84
	19	7	78	7	55	38	542	172	5.78	1.02	5.58	0.98	0.79
กระจกโฟลตสีชาอ่อน (COOLGRAY)	5	6	44	6	49	45	438	153	6.44	1.13	6.26	1.10	0.69
	6	5	38	6	43	51	451	143	6.40	1.13	6.27	1.10	0.64
	8	5	28	5	33	62	421	130	6.29	1.10	6.26	1.10	0.57
	10	5	20	5	25	70	377	119	6.19	1.09	6.22	1.09	0.52
	12	5	15	5	19	76	313	99	6.09	1.07	6.19	1.09	0.47
กระจกโฟลตสีชาดำ (DARK COOLGRAY)	5	5	20	6	40	54	467	148	6.44	1.13	6.28	1.10	0.66
	6	4	15	5	34	61	449	142	6.40	1.13	6.28	1.10	0.63
กระจกโฟลตสีฟ้าเข้ม (Sky Blue)	6	6	58	6	45	49	478	152	6.18	1.09	6.21	1.09	0.68
	8	6	50	6	36	58	430	136	6.09	1.07	6.21	1.09	0.61
กระจกโฟลตสีฟ้าเข้ม (Ocean Green)	6	7	72	7	42	51	460	146	6.18	1.09	6.23	1.10	0.65
	8	7	67	7	35	58	423	134	6.09	1.07	6.21	1.09	0.59
เงินจรัส (SOLARTAG-SS 108)	6	38	8	33	6	61	166	53	4.70	0.83	4.51	0.79	0.21
	8	37	8	30	6	64	171	54	4.64	0.82	4.50	0.79	0.21
	10	37	8	28	6	66	172	55	4.58	0.81	4.48	0.79	0.22
	12	36	8	26	6	68	174	55	4.52	0.80	4.45	0.79	0.22
เงินสกาว (SOLARTAG-SS 144)	6	29	14	24	10	66	217	69	5.12	0.90	5.03	0.89	0.28
	8	28	14	22	10	68	220	70	5.06	0.89	5.00	0.88	0.29
	10	28	14	21	10	69	221	70	4.99	0.88	4.97	0.87	0.29
	12	27	14	19	10	71	222	71	4.92	0.87	4.93	0.87	0.29
เงินกาสิก (SOLARTAG-SS 120)	6	23	20	18	16	66	267	85	5.30	0.93	5.23	0.92	0.36
	8	23	20	17	16	67	267	85	5.23	0.92	5.19	0.91	0.36
	10	22	20	16	16	68	267	85	5.15	0.91	5.14	0.91	0.36
	12	22	20	15	16	69	267	85	5.09	0.90	5.09	0.90	0.36
เทาทิวา (SOLARTAG-SGY 132)	6	12	32	10	29	61	365	116	5.77	1.02	5.69	1.00	0.51
	8	12	32	9	29	62	365	116	5.67	1.00	5.63	0.99	0.51
	10	12	32	9	29	62	364	115	5.59	0.99	5.57	0.98	0.51
	12	12	32	9	29	62	362	115	5.51	0.97	5.50	0.97	0.51
ทองสัมฤทธิ์ (SOLARTAG-SG 110)	6	21	10	21	8	71	205	65	4.88	0.86	4.80	0.85	0.26
	8	20	10	19	8	73	207	65	4.81	0.85	4.78	0.84	0.27
	10	19	10	18	8	74	207	66	4.76	0.84	4.74	0.84	0.27
	12	19	10	17	8	75	207	66	4.70	0.83	4.71	0.83	0.27
บุษราคัม (SOLARTAG-TE 110)	6	19	10	21	6	73	191	61	4.81	0.85	4.74	0.84	0.24
	8	19	10	19	6	75	193	61	4.76	0.84	4.72	0.83	0.25
	10	19	10	18	6	76	194	61	4.70	0.83	4.70	0.83	0.25
	12	18	10	17	6	77	194	62	4.64	0.82	4.66	0.82	0.25
เหลืองอุษา (SOLARTAG-TE 115)	6	23	15	23	10	67	217	69	5.06	0.89	4.98	0.88	0.28
	8	23	15	21	10	69	220	70	5.00	0.88	4.94	0.87	0.29
	10	22	15	20	10	70	221	70	4.93	0.87	4.91	0.86	0.29
	12	22	15	19	10	71	221	70	4.87	0.86	4.87	0.86	0.29
ฟ้าเงิน (SOLARTAG-TS 120)	6	21	20	19	13	68	244	77	5.15	0.91	5.08	0.90	0.32
	8	20	20	18	13	69	244	78	5.08	0.90	5.05	0.89	0.33
	10	19	20	16	13	71	247	78	5.01	0.88	5.01	0.88	0.33
	12	19	20	15	13	72	248	78	4.95	0.87	4.97	0.88	0.33
ฟ้าบุษกร (SOLARTAG-TS 130)	6	15	30	18	22	60	308	98	5.62	0.99	5.52	0.97	0.42
	8	15	30	17	22	61	309	98	5.53	0.98	5.48	0.96	0.42
	10	15	30	16	22	62	309	98	5.47	0.96	5.42	0.96	0.42
	12	14	30	15	22	63	309	98	5.38	0.95	5.37	0.95	0.42
ฟ้าไข (SOLARTAG-TS 140)	6	10	40	10	30	60	371	117	5.77	1.02	5.67	1.00	0.52
	8	10	40	9	30	61	371	117	5.67	1.00	5.62	0.99	0.52
	10	10	40	9	30	61	369	117	5.59	0.99	5.56	0.98	0.52
	12	10	40	9	30	61	367	116	5.51	0.97	5.49	0.97	0.51
ฟ้าไพลิน (SOLARTAG-TBL 135)	6	21	35	18	25	57	324	103	5.62	0.99	5.50	0.97	0.45
	8	21	35	17	25	58	324	103	5.53	0.97	5.45	0.96	0.45
	10	20	35	16	25	59	324	103	5.47	0.96	5.40	0.95	0.45
	12	20	35	15	25	60	326	103	5.38	0.95	5.35	0.94	0.45
เขียวเข้ม (SOLARTAG-SS 208)	6	31	7	17	4	79	200	63	4.97	0.88	5.12	0.90	0.25
	8	30	7	16	4	80	200	64	4.91	0.86	5.08	0.89	0.26
เขียวสด (SOLARTAG-SS 214)	6	23	12	13	7	80	234	74	5.27	0.93	5.48	0.97	0.30
	8	22	12	12	7	81	236	75	5.20	0.92	5.42	0.96	0.31
เขียวเหลือง (SOLARTAG-TE 210)	6	13	7	11	6	83	224	71	5.00	0.88	5.19	0.91	0.29
	8	12	7	10	5	85	218	69	4.94	0.87	5.15	0.91	0.28
น้ำเงินเขียว (SOLARTAG-TS 220)	6	18	16	11	8	81	251	80	5.42	0.95	5.65	1.00	0.33
	8	17	16	11	8	81	249	79	5.35	1.09	5.59	1.12	0.33
ฟ้าเขียวอ่อน (SOLARTAG-TS 230)	6	14	23	10	12	78	283	90	5.65	1.13	5.89	1.17	0.38
	8	14	22	10	12	78	280	89	5.57	0.98	5.81	1.02	0.37
ฟ้าเขียว (SOLARTAG-TBL 235)	6	14	28	9	15	76	304	96	5.70	1.00	5.93	1.04	0.41
	8	13	27	9	14	77	295	93	5.63	0.99	5.87	1.03	0.40
น้ำเงินเข้ม (SOLARTAG-SS 508)	6	21	6	14	4	82	206	65	4.97	0.88	5.15	0.91	0.26
	8	17	4	12	3	85	202	64	4.91	0.86	5.12	0.90	0.26
น้ำเงินสด (SOLARTAG-SS 514)	6	17	9	12	6	82	233	74	5.27	0.93	5.49	0.97	0.30
	8	14	8	10	5	85	229	73	5.20	0.92	5.45	0.96	0.30
น้ำเงินมรกต (SOLARTAG-TE 510)	6	12	6	10	5	85	220	70	5.00	0.88	5.21	0.92	0.29
	8	11	6	9	4	87	215	68	4.94	0.87	5.16	0.91	0.28
น้ำเงิน (SOLARTAG-TS 520)	6	13	12	10	7	83	248	78	5.42	0.95	5.67	1.00	0.32
	8	11	12	9	7	84	247	78	5.35	0.95	5.61	0.99	0.32
น้ำเงิน (SOLARTAG-TS 530)	6	8	20	8	13	79	292	93	5.65	0.99	5.89	1.04	0.39
	8	9	16	8	10	82	274	87	5.57	0.98	5.84	1.03	0.36
น้ำเงินอ่อน (SOLARTAG-TS 535)	6	11	22	8	14	78	299	95	5.71	1.01	5.95	1.05	0.40
	8	10	20	8	13	79	292	92	5.63	0.99	5.88	1.04	0.39

ที่มา : Thai – Asahi Glass (2542 : 54)

บทที่ 3
ค่าความส่องสว่างในเขตกรุงเทพฯและค่ามาตราฐานของการส่องสว่าง

3.1 สภาพภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร

3.1.1 สภาพภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร

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

3.1.2 ภูมิอากาศ (Climate)

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

B ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม โดยจะได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งในช่วงระยะนี้ปริมาณของน้ำฝนจะน้อยและจะเป็นช่วงที่จะได้รับอิทธิพลลมหนาวจากประเทศจีนแผ่ปกคลุมลงมา ทำให้มีอุณหภูมิลดต่ำลงโดยเฉลี่ยประมาณ 18 องศาเซลเซียส อากาศโดยทั่วไปจะเป็นอากาศแห้งแล้งและเย็น

C ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน จะทำให้ช่วงนี้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นกว่าช่วงอื่นๆ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 38 องศาเซลเซียส อากาศโดยทั่วไปจะมีลักษณะอากาศที่แห้งแล้งในช่วงตอนปลายของฤดูจะเริ่มมีฝนตก

3.1.3 อุณหภูมิ (Temperature)

เนื่องจากตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับแสงตั้งฉากของดวงอาทิตย์เกือบตลอดปี โดยเฉพาะช่วงเดือนเมษายนประเทศไทยหันเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด โดยมีอุณหภูมิประมาณ 26.1-34.9 องศาเซลเซียส ทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงอื่นๆ ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนมีน้อย

3.1.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)

ช่วงเดือนธันวาคมและมกราคมเป็นช่วงที่อากาศแห้งที่สุดโดยอยู่ระหว่าง 70-72% เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ลมจะเริ่มเปลี่ยนทิศเป็นมรสุมตะวันออกเฉียงใต้และทิศใต้ ทำให้ความชื้นในอากาศเริ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากอุณหภูมิอากาศยังอยู่ในระดับสูง ความชื้นสัมพัทธ์จึงยังไม่สูงมากในช่วงระยะนี้ระหว่างเดือนมีนาคมและต้นเดือนสิงหาคมซึ่ง

เป็นระยะอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงประมาณ 74-78% ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ในช่วงสูงสุดตั้งแต่ 80% ขึ้นไป

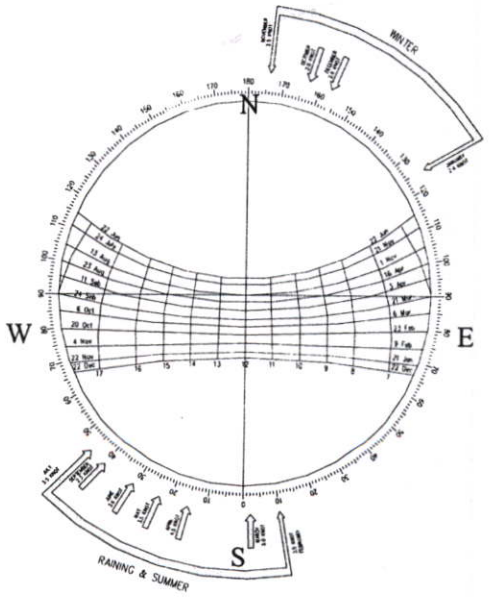
3.2 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อกรุงเทพมหานคร

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี ในขณะที่โคจรไปก็จะหมุนรอบตัวเองไปพร้อมกัน แกนของโลกที่เอียง 23.5° กับแนวโคจรรอบดวงอาทิตย์ ในวันที่ 21 มิถุนายนบริเวณเส้นรุ้งที่ 23.5° เหนือจะเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เมื่อเทียบจุดอื่นๆบนโลกในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนเข้าสู่ฤดูฝน จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่ตรงศีรษะแต่เอียงไปทางทิศเหนือเป็นมุม 23.5° สำหรับกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง 13° 44' เหนือ นั้นเอียงทำมุมกับทิศเหนือ (23.5°-13.4°) = 10.1°

ในวันที่ 21 ธันวาคม บริเวณเส้นรุ้งที่ 23.5° ใต้ จะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆบนโลก ในเขตกรุงเทพมหานครจะเป็นช่วงฤดูหนาวซึ่งจะเห็นดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เอียงไปทางทิศใต้เป็นมุม 23.5° สำหรับในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่เส้นรุ้งที่ 13° 44' เหนือ นั้นเอียงทำมุมกับทิศใต้ (13.4°- (-23.5°) = 36.9° ดวงอาทิตย์จะอ้อมทิศใต้

ในวันที่ 21 มีนาคมและวันที่ 21 กันยายน บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดเทียบกับจุดอื่นๆ บนโลกของทุกปีจะสังเกตเห็นว่าเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดี

ตำแหน่งทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ ณ เขตกรุงเทพมหานคร ในวันและเวลาต่างๆของปีดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าช่วงกลางเดือนเมษายนถึงกลางเดือนสิงหาคม ดวงอาทิตย์จะเยื้องไปทางเหนือโดยจะอ้อมทางเหนือสุดในวันที่ 22 มิถุนายน นอกนั้นเวลาส่วนใหญ่ 8 เดือน ดวงอาทิตย์จะเยื้องไปทางทิศใต้โดยจะอ้อมใต้สุดวันที่ 22 ธันวาคม



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

3.3 ปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ของกรุงเทพฯ (Radiation and Illuminance)

จากการที่กรุงเทพตั้งอยู่ที่ละติจูดที่ 13° 44'N และลองติจูดที่ 100° 33' E ซึ่งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical Zone) ทำให้มีปริมาณรังสีและปริมาณแสงสว่างที่จ้าเกือบตลอดทั้งปีโดยปกติแล้วปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแสงสว่างถ้าปริมาณของรังสีมากปริมาณแสงสว่างก็จะมีค่าของความส่องสว่างมากด้วยในช่วงของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของรังสีจากดวงอาทิตย์และปริมาณของแสงสว่างจะมีการแปรเปลี่ยนตลอดเวลาในแต่และช่วงวัน เดือน ปี จากการศึกษาสถิติการวัดค่าปริมาณแสงสว่างและรังสีของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี (มกราคมถึงเดือนธันวาคม (2542-2543) ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเอเชีย AIT โดยเก็บข้อมูลสถิติของค่าความส่องสว่างและค่าปริมาณรังสีแบบแนวโคจรของดวงอาทิตย์ (Solar time) และแบบตามช่วงเวลาปกติ (Local time) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 – 3.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

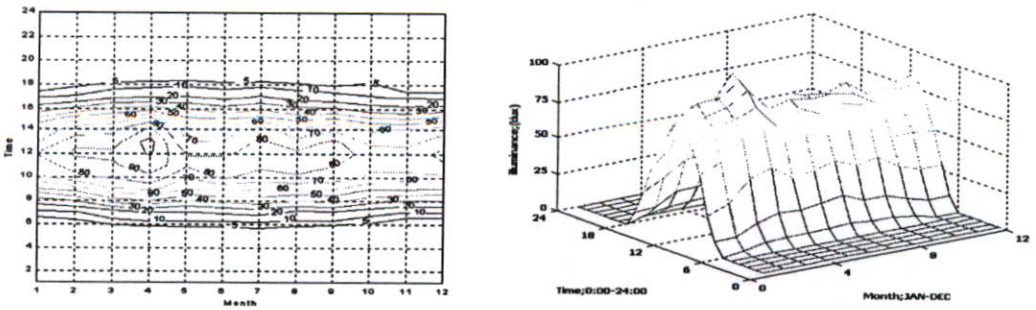
3.3.1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time)

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux)

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

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	48.93	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	53.42	47.65	51.97	44.22	41.35	47.42
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

ที่มา : Chirarattananon and Chaiwiwatwatworakul (2001 : P.A-1)



รูปที่ 3.2 แสดงค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง (Klux)

3.3.2 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยรายวัน ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time)

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนมกราคม (klux)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2.6	0	0	0	0	4.9	2.6	3.1	3.8	3.8	4.1	2.9	3	6.4	4	2.7	5.4	4.4	3.7	2.8	3.7	3	3.8	3.6	3.1	1.3	1.1	3.1	3.4	5	3.5
8	9.5	14.6	0	0	6.9	11.2	9.2	11.6	19.2	17	22	14.6	7.9	25.8	10.8	9	27	25.8	15.4	22.7	24.6	18	15.3	17.1	13	4.3	2.3	17.3	15.5	14.8	37.7
9	33.5	32.8	0	0	27.4	20	24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2	6.3	6.5	38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5	0	0	52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4	0	9.4	81.7	0	58.2	50.6
11	85.1	56.9	0	0	62.5	0	0	0	0	0	79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2	0	0	0	97.1	0	30.9	59
12	100.2	68.2	0	0	72.7	0	0	0	0	0	0	60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6	0	0	0	90.8	0	37.2	82
13	81.7	83	0	0	79.4	78.9	0	63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115.4	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4	0	11.8	0	67.7	0	9.2	90.8
14	71.5	25.4	0	0	68	67.4	0	66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8	0	0	0	54.6	0	18.7	105.5
15	28.5	0	0	0	0	56.8	0	0	32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5	0	0	11.4	51.7	64.3	45	75.9
16	23.7	17.4	0	42.4	31.2	23.6	42.7	31.5	17.9	42.1	38.5	17.4	41.4	31.1	24	37.2	41.6	37.5	31.8	32.8	50.6	22.3	37.6	41.7	0	8.5	48.9	18.1	16.5	26.4	58.3
17	13.3	16	0	16.9	12.9	8.8	17.6	13	13.9	17.7	17.6	5.6	28.7	7.5	14.4	15.9	16.5	17	14.8	11.7	13.8	16.7	15.3	17.7	4.2	4.2	24.4	17.7	32.9	15.6	22.2
18	4.6	3.5	0	5.1	3.8	2.6	4	3.8	4.7	0	5.2	0	4.2	2.8	3.3	3.8	4	5.9	4.3	4.5	7.4	3.3	3.3	3.6	1.2	1.2	9.2	3.9	6.9	3.8	2.1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์ (klux)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	3.2	3.6	0	3.7	0	3.9	4	4.1	3.8	3.8	4.7	3.3	3.9	4.4	3.3	3.4	3.7	3	3.2	3.6	3.2	3.3	3.2	3.2	3.2	3.5	3	3.7
8	18	12	0	26	0	26	12	14	20	21	23	8.9	24	23	16	13	17	21	14	21	24	17	21	21	23	20	17	22
9	63	60	3.7	54	0	56	33	50	61	58	49	18	53	50	28	56	39	52	18	48	50	21	46	50	53	50	49	52
10	88	78	9.9	67	0	79	72	91	78	78	70	26	86	74	70	80	63	75	40	74	74	55	72	72	62	51	75	83
11	102	94	11	91	0	97	81	95	93	93	89	57	74	93	92	98	64	89	76	89	93	106	90	48	94	68	86	71
12	93	103	17	100	0	100	68	109	102	102	99	70	68	102	103	104	86	72	84	98	102	112	99	50	77	100	102	79
13	81	100	39	105	0	101	74	75	97	97	100	77	101	66	90	103	95	97	74	97	100	96	101	89	50	61	101	81
14	62	99	25	97	0	93	77	97	90	86	90	94	50	82	94	94	86	91	84	89	95	94	93	58	51	55	89	68
15	43	78	27	68	0	70	56	84	73	73	79	43	55	78	74	71	71	71	64	67	73	75	75	62	39	77	55	73
16	46	48	25	54	0	45	56	54	47	47	50	39	35	52	49	49	45	48	42	43	50	50	49	45	48	54	51	46
17	25	17	13	28	0	21	13	23	19	19	26	12	22	19	22	21	18	21	18	19	9.9	24	22	21	23	20	22	16
18	4.9	3.5	3.7	7	0	4.7	4.1	2	4.9	4.9	5	3.3	4.8	5	5	4.8	4.3	3.7	2.9	4.4	4.2	4.1	4.1	4	4.6	3.6	4	4.9
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนมีนาคม (klux) (ต่อ)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2.7	4	3.3	4.3	1	3.3	5.3	6.7	9.6	7.5	6.4	7.5	8.1	8.4	9.1	8.5	9.3	8.1	7.1	6.7	8.1	7.9	17	7.8	13.8	12.3	14.5	6.7	8.2	9.7	7.7
8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	47.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100.1	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	100.6	97.4	58.1	68.2	72.4	105.6	8.8	94.9	100.3
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	105.7	112.9	112.9	103.3	98.6	101.1	99.5	89.4	53	105.3	111	81.9	105.3	90.2	76	108.1	105.7	116.7	13.5	31	26.3	87.3	10.1	119.7	114.9
12	87.6	103.9	80.8	98.9	79.3	72.9	114.2	115.2	120.8	108.5	108.1	117.9	112.3	115.2	98.5	113.8	122.9	120.3	109.4	94.4	102.3	121.7	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	122.7	122.9
13	97	105.4	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115.4	119.6	100.6	104.6	125.7	76.6	116.7	101.5	114	117.8	119.3	99.7	87.3	102.2	118.2	47.6	47.5	12.4	17.3	125.7	58	31.9	110.8	121.6
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104.4	104.1	108.9	83	100.9	94.6	106.7	105.4	104.4	106.1	109.3	115.2	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102.4	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112.1
15	76.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	100.8	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92
16	48.3	47	49.3	38.3	29.6	53	61	62.6	61.4	57.6	46	67	66.4	47.7	59.4	59.5	66.8	61.9	63.7	43.8	54.3	8.7	58.2	67.2	57.4	13.8	35.9	64.6	33.6	26.5	58.4
17	15.8	19.1	22.7	20.6	23.8	27.5	38.8	31.6	27.4	42.2	29.3	38.8	35.7	25.9	29.9	31.1	0	19.5	29.9	21.2	29	4	53.4	41	10.1	38.1	37.8	41.5	17.6	16.6	24.7
18	4.7	4	5	5.1	5.5	4.3	5.9	5.4	5.2	0	5.4	12.3	0	5	5.3	4.9	0	4.8	0	3.9	5.7	0	4.4	9.8	4.9	12	6.8	4.1	3.2	6	5.3
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนเมษายน (klux)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	10.3	16.3	11.2	7.8	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.9	23.9	20.5	15.3	9.1	19.9	0	25.9	14.7	28.3	3.4	11.4	6.3	9.1
8	48.2	50.3	38.8	34.3	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	57.1	58.5	37.5	28.8	42.6	43.5	61.5	63.1	61.4	3.8	37.4	11.7	36.2
9	80.9	81.4	78.9	60.7	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.8	83.2	93	65.6	69.3	75.2	88.5	96.8	89.7	88.5	4.5	46.2	39.4	58.3
10	101.6	104.8	92	90	76.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	105.5	106.7	92	23.8	105.4	112.4	79.8	108.8	107.5	9	126.5	47.2	49.8
11	33.7	115.2	51.2	88.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113.9	119.1	121.6	112.7	56	128.8	118.2	126.3	121.1	120.6	43.1	124.1	64.2	55.9
12	21.3	119.1	46.8	68.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126.7	126.1	127.4	128	111.9	131.9	125.6	124.6	125.3	126.3	64.5	80.6	96.1	23.8
13	114	43.6	104.4	101.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124.4	115.7	47	94.5	132.5	107.2	128.9	126.9	124.5	125.2	64.6	60	63.8	47.5
14	107.9	110.2	105.6	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117.3	118.3	84.3	81.6	117.3	84.4	126.2	100.4	118.9	110	69.5	48.2	64	79.4
15	57.6	42.3	87.4	77.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7	77.4	100.1	97.8	90.2	101.3	83.4	109.3	103.4	97.7	98.7	51.8	0	101.3	49.8
16	60	50.4	7.1	55.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4	51.8	80.9	68.7	11.2	65.7	59.1	90.3	78.3	74.3	72	69.1	3.7	31.7	64.5
17	30.7	38	11	26.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	19.7	49.8	37.7	8.4	18.1	32.4	20.9	13.4	41.9	38.3	40.8	7	10.4	23.2
18	6.9	7.1	3.5	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1	4.4	4.6	9.4	3.8	3.3	4.3	3.3	4.9	6.2	6	5.7	2.9	3.5	5.8
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนพฤษภาคม (klux) (ต่อ)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	17	7.3	16	8.7	9.5	34	24	22	25	7.3	27	3.3	5.5	19	12	17	11	10	9.8	16	14	27	11	16	20	16	15	11	13	0	0
8	21	63	44	36	28	63	66	52	39	13	59	16	21	49	35	35	29	30	20	49	20	52	31	38	35	23	27	44	25	0	0
9	41	100	57	52	72	83	87	101	80	27	65	0	40	68	55	63	45	39	29	77	45	45	76	68	53	81	51	41	51	0	0
10	33	72	63	96	93	109	113	113	113	40	55	58	77	87	45	44	70	52	68	57	51	32	56	14	37	31	84	68	61	0	0
11	71	97	57	117	68	123	126	75	116	60	30	73	61	122	100	73	89	74	46	125	106	65	58	38	93	29	96	62	96	0	0
12	100	54	74	116	85	124	114	93	129	65	134	79	3.3	5.3	33	113	18	104	115	117	79	113	53	30	82	18	80	79	77	0	0
13	37	64	117	97	36	90	109	95	127	110	106	96	3.3	8.5	83	114	12	68	119	49	40	36	99	20	56	26	88	121	84	0	0
14	22	80	117	124	74	118	73	111	91	81	38	42	14	11	17	104	12	103	105	90	8.5	67	25	63	7.2	17	67	94	62	0	0
15	13	17	86	49	108	101	60	101	98	36	88	8.8	15	23	61	86	20	91	91	39	15	99	35	86	40	24	56	72	60	0	0
16	7.8	10	48	73	40	66	75	72	75	66	21	7.1	16	29	56	63	37	70	71	3.2	26	49	20	45	55	32	47	70	22	0	0
17	6.8	3.5	11	23	12	49	16	45	45	30	16	9.1	11	34	25	42	19	41	19	0	21	26	7	28	38	13	7.4	36	18	0	0
18	3	0	3.8	3.6	5.1	0	0	0	4	6.4	8.8	3	4.5	7.6	0	9.5	4.3	8	11	0	5	2.7	0	3.8	3.3	4.6	4.4	15	8.7	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนมิถุนายน (klux)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	32	27	32	34	16	14	8.4	12	9.4	20	6.4	16	28	15	18	31	6.5	16	6.3	16	0	0	16	11	7.7	9.3	18	15	9.3	22
8	53	48	52	36	31	40	14	28	35	23	21	26	35	31	55	56	25	27	9.9	52	0	0	32	28	20	50	44	41	49	49
9	79	78	78	50	46	83	53	36	52	42	36	43	67	44	50	78	42	44	45	47	0	0	78	57	45	63	69	37	72	73
10	96	87	98	65	76	108	50	85	33	46	98	55	98	105	96	99	40	72	40	64	0	0	88	54	109	91	91	95	91	92
11	115	101	96	133	69	93	63	45	73	66	6.1	108	100	104	95	103	49	106	118	61	0	0	84	55	84	94	99	107	103	103
12	88	83	109	38	85	115	97	53	20	43	14	66	102	114	78	67	46	65	62	60	0	0	109	57	72	110	105	109	107	109
13	40	79	125	38	66	38	26	43	45	24	8.8	119	110	105	107	70	47	76	62	53	0	0	109	49	108	73	101	32	108	107
14	79	41	74	99	54	39	48	67	78	35	11	88	97	107	83	75	33	75	59	75	0	0	101	52	110	70	75	27	104	72
15	83	34	13	56	55	53	74	53	13	21	18	71	40	78	31	54	36	43	47	38	0	0	86	43	47	75	38	75	101	48
16	71	19	16	64	34	40	27	83	3.1	12	25	63	61	64	57	62	24	43	38	35	0	0	49	25	36	42	15	31	45	29
17	27	54	0	19	20	25	15	4.4	0	11	9.1	39	30	8.6	4.2	41	11	23	31	7.2	0	0	28	14	22	44	3.1	0	18	13
18	3	9.2	0	2.8	9.7	0	6.5	0	0	0	2.7	0	4.5	3.2	3	7.6	3	7.3	7.6	0	0	0	7.7	4.7	6.6	5.5	0	0	10	6.5
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนกรกฎาคม (klux) (ต่อ)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	23	14	12	11	14	8	23	15	0	24	14	25	18	12	19	15	19	19	15	11	12	25	24	10	10	5	5.6	7.2	21	0	0
8	49	40	42	31	42	21	50	57	0	50	44	38	34	19	40	39	42	39	51	31	58	49	50	20	29	15	12	23	40	0	0
9	73	60	72	45	63	49	72	35	0	74	81	63	54	9.8	49	67	21	45	73	58	75	70	49	41	39	35	27	39	73	0	0
10	90	86	72	68	89	43	96	30	0	95	88	73	57	39	89	87	55	83	92	91	99	74	73	67	62	34	43	71	86	0	0
11	102	96	96	55	101	49	104	117	0	105	104	68	54	68	76	104	80	110	96	98	42	71	85	76	36	29	76	62	59	0	0
12	110	108	87	97	74	57	110	109	0	107	93	71	30	68	71	47	80	107	107	110	49	112	76	74	50	38	100	58	87	0	0
13	112	109	101	69	100	64	111	106	0	111	105	87	32	46	103	109	76	54	111	0	115	0	118	68	55	61	49	73	68	0	0
14	96	84	52	73	100	51	100	67	0	103	69	107	38	108	95	101	90	107	100	0	113	0	83	52	14	87	53	81	61	0	0
15	55	33	88	37	76	36	84	87	0	79	57	63	43	87	50	75	91	82	37	0	97	0	87	32	32	73	53	47	29	0	0
16	34	34	64	9.1	38	71	67	68	0	60	3.5	27	26	73	33	50	66	64	29	0	0	0	74	24	15	31	42	49	19	0	0
17	22	49	32	0	6.7	30	40	43	0	35	32	38	11	47	27	33	40	28	22	0	0	0	42	25	0	18	29	24	0	0	0
18	7.7	6.8	6.1	0	0	9.6	12	7.4	0	12	17	11	5	8	4.2	7.9	5.6	3.5	6.8	0	0	0	15	6.5	0	2.8	2.7	8.1	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในสิงหาคม (klux)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	8.3	5	5.9	7.9	2.8	7	10.1	7.2	19.7	5.9	11.3	6.1	8.9	9.9	10.4	26	10.3	20.4	17.3	9.8	19.2	12.1	11.1	2.9	10.3	16.8	5.2	10.2	16.5	15.8	14.6
8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.5	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	100.8	47.1	105.6	52.6	62.6	92.4	56.3	101.8	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103.3	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	107.9	109.4	113.5	34.7	106.9	114.1	85	106.5	81.2	106.2	92.5	64.9	105.4	103.9	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	105.7	77.8
12	103.9	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103.2	75.2	81.7	52.4	113.9	43.4	113.8	111.7	91.5	111.4	116.4	60	67.7	108.8	81.9	43.3	91.4	115.2	95.7	64.3	99.8	76.4	100.3
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	114.6	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	121.6	94	84.2	108.8	73.1	80.2	77.2	107.3	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	101.6	113.7	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60 2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	110.8	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	60.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5
16	33.4	10.2	27.9	35.2	29.3	23.1	19.1	19.3	0	66.8	30.4	25.3	52.9	66.5	65.8	26.3	54.5	66.7	25.8	27.3	38	53.5	29.6	47.6	57.4	58.4	22.2	20.1	49.9	47.7	59.2
17	13.5	11	20.3	32.4	20.2	0	9.7	12.6	0	22.9	13.8	23.9	0	30.2	34.2	28.6	36.2	27	22.2	14.6	19.9	31.2	22.1	32.1	11.9	10.6	12.2	17	0	17.9	19.6
18	2.6	0	9.2	3.4	6.6	0	7	2.2	0	7.4	5	7.8	0	6.4	9.8	6	4.8	8.4	3.6	4.9	4.6	6.5	8	6.8	2.9	3.9	2.8	4.9	0	3.7	3.6
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนกันยายน (klux) (ต่อ)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	21.1	13.2	18.5	19.9	14.5	8.3	7.9	9.9	22.8	9.1	13.5	4.8	8	23.7	19.5	30.6	12	13.8	17.3	10.6	4.3	10.5	6.9	10.1	3.6	23	9.1	4.1	9	14
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.4	43.5	43.5	11.8	53.8	35.4	3.4	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	102.7	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	8.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	107.6	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	122.9	104.9	104.7	104.4	104.6	85.1	91.1	100.5	59	48.9	42.6	77.8	108.2	118.4	112.3	57.3	63.3	110.8	67.5	48.4	66.6	115.9	94.2	54.6	107.3	29.3	16	50.2	70.2
12	112.6	55.7	65.6	103.4	109.9	105.6	89.8	83.2	106.8	120.4	66.1	75.4	127.2	98.1	122	89.6	51.7	111.8	107.6	77.2	124.7	62	118.6	47.9	47.8	86.9	55.8	124.2	60.3	40.1
13	108.8	53.3	116.2	48.2	104.4	64.4	82.9	114.3	112	93.7	68.9	51.6	118.1	109.2	78.8	53.4	69.7	112.5	63.1	96.7	107	17.6	110.3	52	120.3	87.5	27.9	120.8	89.6	107.2
14	40.4	101.4	117.4	97.6	109.7	32.8	97.7	91.9	102.4	81.5	96.6	80.1	104.6	105.7	102.2	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.5	31	58.5	107.7	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	6.9	6	29.5	39.8	22.1	79.3
16	32.1	49.3	51.4	31.7	3.8	7.8	22.3	62	60	31.1	45.8	13.3	53.2	63.6	62.8	12.5	36.2	22.6	44	48	22.9	13.6	25.5	10.3	17.6	5.4	57.8	30.3	6.3	61.5
17	28	35.8	34.4	18.2	0	6.9	14.5	32.5	33.7	15.3	24.1	3.4	32.9	30.8	15.9	8.5	26.6	9.1	16.7	13.4	5.7	9	3	2.9	0	3.5	9.6	22.4	4	21.1
18	3.1	4.4	17.8	3.4	0	0	3.7	4.1	3.2	3.2	3.7	2.5	6.1	3.7	3.3	3.2	3.1	3.2	3.7	2.8	0	3.1	0	0	0	0	3	3.2	0	3.4
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนตุลาคม (klux)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6.4	9.8	23	0	12	20	23	10	20	10	10	11	11	6.7	8.5	10	14	11	18	13	2.7	5.6	3	7 9	4.8	18	11	7.1	0	0	0
8	31	56	45	0	48	47	57	32	46	29	28	47	25	16	52	36	25	44	45	46	10	18	16	34	30	18	19	16	0	0	0
9	39	51	62	0	74	73	38	81	36	81	30	72	75	26	74	57	52	69	69	68	18	5.1	20	50	39	32	44	23	0	0	0
10	44	80	105	0	66	91	52	104	103	92	60	94	63	54	74	86	91	36	87	87	26	20	27	95	94	95	31	43	0	0	0
11	48	52	110	0	82	21	85	88	57	104	108	62	46	124	101	53	68	108	99	62	53	8.5	22	57	73	106	44	93	0	0	0
12	110	52	67	0	65	32	89	109	81	76	102	43	105	56	81	81	87	35	102	96	73	8.1	54	42	87	101	42	78	0	0	0
13	124	86	50	0	24	107	92	94	92	15	72	65	45	113	36	95	74	62	97	63	55	12	52	106	54	89	31	96	0	0	0
14	20	44	38	0	84	79	60	36	77	4	88	35	24	82	33	84	55	28	89	40	38	12	86	78	55	37	35	73	0	0	0
15	32	40	53	0	15	43	75	39	61	16	56	55	31	7.2	16	69	47	30	70	15	29	11	19	33	69	41	54	35	0	0	0
16	4.8	25	0	0	20	49	48	24	21	14	35	32	20	8.9	16	43	42	29	43	30	22	9.2	21	56	20	14	23	25	0	0	0
17	0	20	0	0	7.7	14	10	10	22	14	9.7	3.9	6	5.5	3	13	5.6	9	15	10	6.7	7.7	4.3	14	14	3.4	9.3	5.4	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนพฤษจิกายน (klux) (ต่อ)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6.9	0	6	8.6	18.8	7	6.4	6.4	5.6	8.1	8.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	14.5	0	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.8	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8	6.2	6.4	9.4	9.8	12.5	14.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	118.5	34.8	103.8	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
14	74.8	0	92.6	97.9	70.1	19.9	15.7	33.2	91.3	87.7	15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
15	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.7	55.8	82.9	94.1	64.6	83.3	57	85.1
16	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.9	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
17	0	0	13.1	14.6	18.6	16.1	10.5	3.4	10.4	28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8
18	0	0	3.5	3.3	6.6	10.7	3.7	0	8.8	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.3	34.4	8	31.1	35.7	35.9	34.4	38.7
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6	17.9	3.3	5.6	11.9	10.7	7.3	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนธันวาคม (klux)

Solar Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	9.9	10.7	8	4	6.7	3.6	5.1	6.6	4.6	6.3	3.7	3	2.6	3.8	6.5	5.2	5.5	7.8	0	3.7	5	4.2	4.1	4	4.3	3.9	4	3.9	2.3	5.3	5.1
8	35.6	36.7	14.6	10.6	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	11.4	13.9	8.1	18.6	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.8	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	6.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120.1	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105.4	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6
16	37	37.7	11.6	16.7	9.6	10.8	41.5	16.9	33.5	33.2	46.4	24.8	27.1	20.1	39.2	34.4	24.6	16.1	28.7	35	37.1	35.8	35.2	36.2	36.1	37.4	35.1	39.1	35.7	34.5	34.6
17	0	7.1	4.2	3.1	6.8	5.4	7.7	8.3	14.6	6.7	7.3	4.4	6.3	4.2	13.3	10.2	3.9	5.6	6	11.1	11.3	11.9	12.5	13.3	12.5	10.4	11.3	14	14.8	12.5	12.9
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.3 ค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพมหานคร

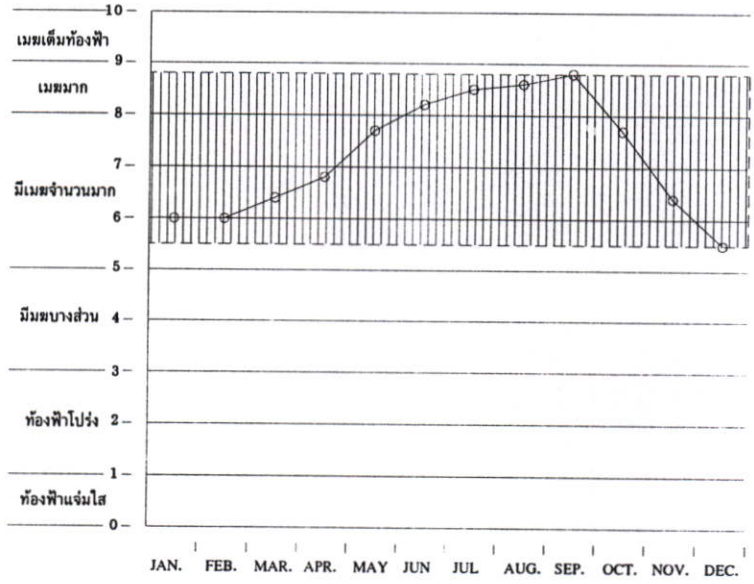
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความถี่ของความส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบของกรุงเทพฯ (1999-2000)

ความส่องสว่างภายนอก (Lux)	จำนวนชั่วโมง / ปี	เปอร์เซ็นต์ (%)	Daylight Factor (%)
0	460	12.60	0.00
1.-5000	46	1.26	10.00
5000-10000	97	2.66	5.00
10000-15000	139	3.81	3.33
15000-20000	144	3.95	2.50
20000-25000	142	3.89	2.00
25000-30000	150	4.11	1.67
30000-35000	168	4.60	1.43
35000-40000	165	4.52	1.25
40000-45000	139	3.81	1.11
45000-50000	172	4.71	1.00
50000-55000	176	4.82	0.91
55000-60000	157	4.30	0.83
60000-65000	140	3.84	0.77
65000-70000	142	3.89	0.71
70000-75000	173	4.74	0.67
75000-80000	143	3.92	0.63
80000-85000	137	3.75	0.59
85000-90000	152	4.16	0.56
90000-95000	126	3.45	5.26
95000-100000	106	2.90	0.50
100000-105000	111	3.04	0.48
10500-110000	101	2.77	0.45
110000-115000	62	1.70	0.43
115000-120000	46	1.26	0.42
120000-125000	31	0.85	0.40
125000-130000	21	0.58	0.38
130000-135000	4	0.11	0.37
รวม	3650 ชั่วโมง	100 %	

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

3.4 สภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร

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



รูปที่ 3.3 แสดงสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ย 10 ปี (2533-2542)

3.5 ค่ามาตราฐานทั่วไป

3.5.1 มาตราฐานค่า Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ

ค่า Daylight Factor (D.F.) เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงความเหมาะสมสำหรับพื้นที่หรือการทำงานในชิ้นงานใดๆ มีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ มีการกำหนดช่วงของค่า DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ

การใช้งาน	ค่า Daylight Factor (%)
- การอ่านหนังสือ การทำงานปรกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5 – 2.5
- การอ่านหนังสือ หรือการที่ต้องใช้สายตาในที่ๆ หนึ่งในช่วงเวลานานพอสมควร	2.5 – 4.0
- การทำงานที่ต้องมีความละเอียดสูง	4.0 – 8.0

ที่มา : Stein and Raynolds (1992 : 197)

3.5.2 มาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES

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

ตารางที่ 3.5 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 Surrounding
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 contras or Very small size
งานที่ใช้สายตาเป็นพิเศษ	1000 – 1500 – 2000	2000 – 3000 – 5000 (x)	Performance of visual tasks of low contras and 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)

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็นลักซ์หรือฟุตแคนเดิลแล้วการกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตราฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซนต์ (%)

ตารางที่ 3.6 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	vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300 – 500 – 750	200 – 300 – 500	5	1.5	Work plane
เคาน์เตอร์	200 – 300 – 500	200 – 300 – 500	5	2	Work plane
		ห้องประชุม			
เอนกประสงค์	150 – 200 – 300	200 - 300 – 500	5	2.5	Work plane

ที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ (1-6)

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

(ค) BSI Draft for Development (73)

3.5.3 มาตราฐานค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องผ่านของวัสดุ

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องผ่านของวัสดุ

Material	Mathoas of production	Finishes	Optical characteristic	Optical properties	
				Transmission factor	Reflection faction
Plastics Acryiics	Sheet, formed, blown, machined, injection moulded	Clear	High transmission	92 - 9	5 - 81
		Colored	Direct or diffusing		
		Opal,Various densities	Up to almost complete diffusion		
Polystyrene	Extruded, injection moulded	Opal	High transmission	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	Moulaed	Opal		65	
		Opaque		0	
Glass	Sheet moulded, blow	Clear	High transmission, may be Polished for optical systems	90	4
		Pot opal	Very good diffusion	12 - 40	
		Flashed opal	Good diffusion	30 -60	
		Sandblasted	Fair diffusion		
		Patterned			
	Silverblacked		High reflection factor, very smooth mirror surface: many diffusion methods can be used	0	87
Metal: Sheet steel	Fabricated	Stove Enameled	Diffusing		75
		Vitreous Enameled	Mainly diffusing		80
		Chromium Plate	Specular, but reflection factor not high		65
		Stainless steel			60
Aluminum	Fabricated, Extruded	Stove Enameled	Diffusing		75
		Anodized 1. Specula 2. Mat			80 75

ตารางที่ 3.8 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	71
Old	64
Vegetation (mean)	25

ตารางที่ 3.9 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 (light)	25
Wood panel (dark)	20
Rough brick	15
Floors:	
Light wood	35
Medium wood	25
Dark wood	20
Light tile	30
Dark tile	20
Light carpet (gray, orange, medium – blue)	20
Dark carpet (dark gray, brown)	15

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

ตารางที่ 3.10 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 3.11 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	ไม่สีแก่	10 –15
เขียวอ่อน	45 – 55	หินอ่อน	30 – 70
เขียวแก่	15 –20	ปูนฉาบ	40 - 45
เหลืองอ่อน	60 – 70	คอนกรีต	20 – 30
น้ำตาล	20 -30	ดินเผา	10 -15

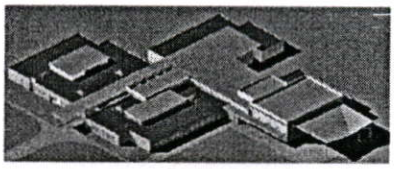
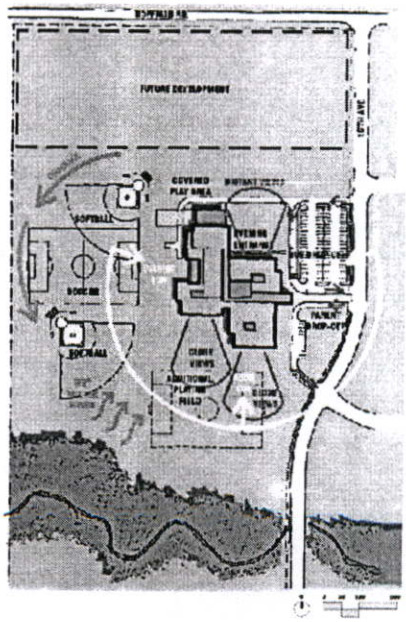
ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติหน้า (4-5)

บทที่ 4
กรณีศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารเรียน

การศึกษาประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้โดยวิธีของ Light Shelve และวิธีอื่นๆ โดยได้ทำการศึกษาจากอาคารเรียน Central School District Intermediate School Design Development ซึ่งได้ทำการทดลองในห้องทดลองในสภาพท้องฟ้ามืดมน (Overcast Sky) และท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) เพื่อนำผลที่ได้จากอาคารตัวอย่างมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ Light Shelve ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียน

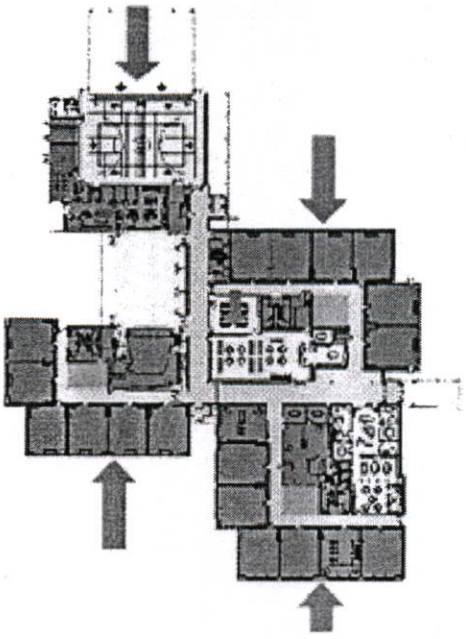
4.1 ลักษณะทั่วไปของอาคารเรียน

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทั่วไปของอาคารเรียน

ชื่อโครงการ Central School District Intermediate School Design Development **พื้นที่ใช้สอย** -พื้นที่โครงการ 58,000 ตารา ฟุต -พื้นที่จอดรถยนต์ 85 คัน , รถ โดยสาร 10 คัน , รถ มอเตอร์ไซด์ 30 คัน -จำนวนห้องเรียน 21 ห้อง -จำนวนนักเรียน 500 คน	 **แสดงหุ่นจำลองของ** Central School District Intermediate School  แสดงผังบริเวณและสภาพแวดล้อม

4.2 ทิศทางเข้าหลักของแสงธรรมชาติ

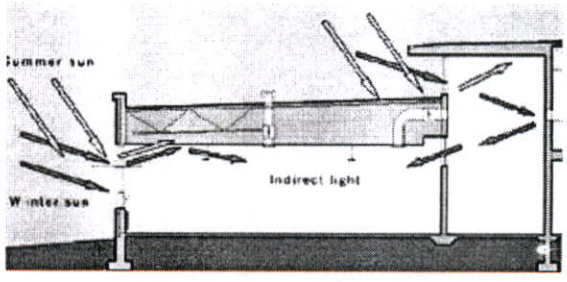
ตารางที่ 4.2 แสดงทิศทางเข้าหลักของแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ-ใต้

ทิศทางของแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ-ใต้ - ช่องแสงด้านข้าง (หน้าต่าง) - ช่องแสงด้านบน (Skylight) - ช่องแสงขนาดใหญ่	 **แสดงทิศทางของแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ-ใต้**

4.3 การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียน

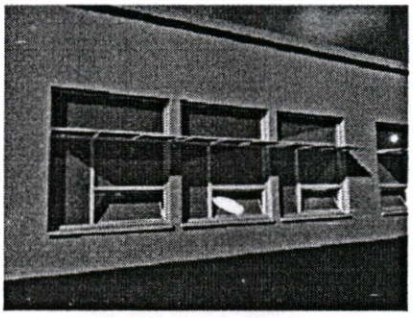
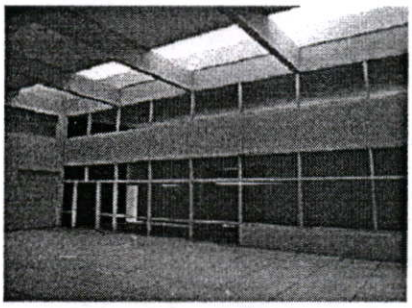
การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียนให้ได้ปริมาณสูงสุด และมีการกระจายแสงสว่างทีสม่ำเสมอ โดยวิธีต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียน

วิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียน - การกรองแสงของหน้าต่างและการสะท้อนแสงเข้าห้องโดยวิธี Light Shelve - การสะท้อนแสงจากผนังภายในอาคาร - การนำแสงสว่างจาก Skylight - การกรองแสงของหน้าต่างจากทิศ ตะวันออก - ตะวันตก	 **แสดงทิศทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้โดยวิธีต่าง ๆ**

4.4 การวิเคราะห์ตัวแปรของแสงสว่างจากธรรมชาติ

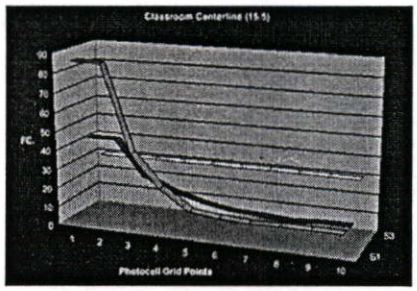
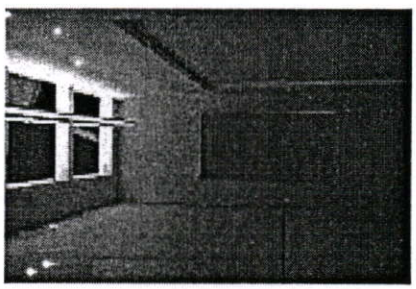
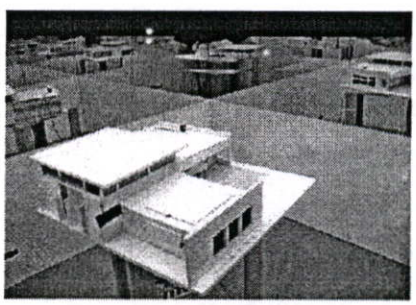
ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ตัวแปรของแสงสว่างจากธรรมชาติ

การวิเคราะห์ตัวแปรของแสงสว่างจากธรรมชาติ - การวิเคราะห์ในห้องทดลอง - การวิเคราห์ในสภาพท้องฟ้ามืดมน (Overcast Skies) - การวิเคราะห์ในฤดูต่างๆ ของทุกๆ ชั่วโมง ในแต่ละวัน - การวิเคราะห์แสงบาดตา - การวิเคราะห์ความแตกต่างของแสงสว่าง - การวิเคราะห์คุณภาพของแสง	 **แสดงการทดลองแสงในห้องทดลอง**  **แสดงการนำแสงธรรมชาติมาใช้จากหน้าต่าง โดยวิธี** Light Shelve  **แสดงการนำแสงธรรมชาติมาใช้จากด้านบน โดย** Skylight

4.5 ผลการทดลองของการกระจายแสง

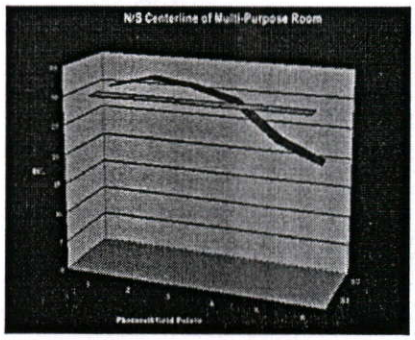
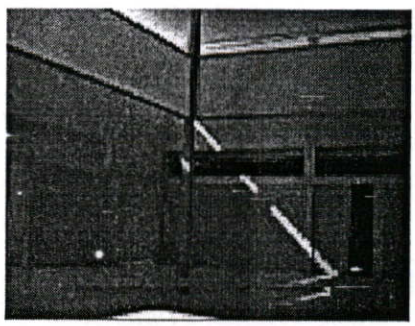
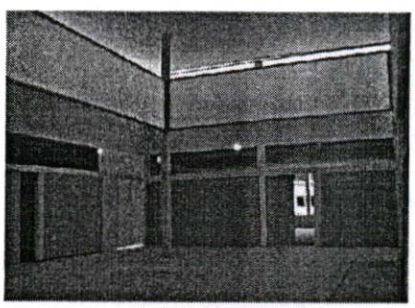
4.5.1 ผลการทดลองการกระจายแสงในห้องเรียน

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องเรียน

ผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องเรียน **การเลือกใช้กระจก** - ทิศเหนือ Transmittance 76% Shading Coef. 0.62 - ทิศใต้ด้านบน Transmittance 70% Shading Coef. 0.42 - ทิศใต้ด้านล่าง Transmittance 36% Shading Coef. 0.31 - ทิศตะวันออก-ตะวันตก เหมือนทิศใต้ **ขนาด Sunshade และ Light Shelve** - Sunshade 4 Ft - Light Shelve ขนาด 2 Ft **กราฟแสดง Sunshade และ Light Shelve** - สีเทา : Sunshade และ Light Shelve ภายนอก - สีดำ : Sunshade และ Light Shelve ภายใน	 **แสดงผลการทดลองการกระจายแสงในห้องเรียน**  **แสดงการทดลองวัดการกระจายแสงของห้องเรียน วันที่ 21 มิถุนายน ในสภาพท้องฟ้ามืดมน**  **แสดงการทดลองวัดการกระจายแสงของห้องเรียน วันที่ 21 มิถุนายน ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส**

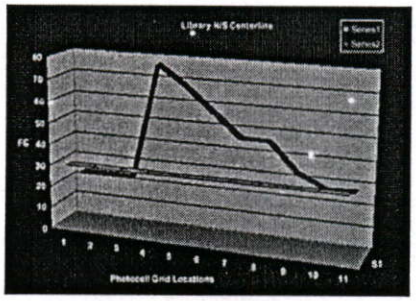
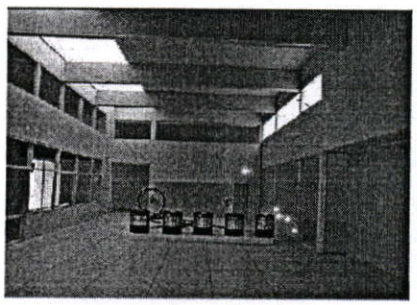
4.5.2 ผลการทดลองการกระจายแสงในห้องเอนกประสงค์

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องเอนกประสงค์

ผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องเอนกประสงค์ - ไม่มีแสงบาดตา - การกระจายแสงมีความสม่ำเสมอ - หน้าต่างทิศตะวันออก – ตะวันตก ใช้กระจก Transulucent	 **แสดงผลการทดลองการกระจายแสงในห้องเรียนเอนกประสงค์**  **แสดงการทดลองวัดการกระจายแสงของห้องเอนกประสงค์ วันที่ 21กย. ในสภาพท้องฟ้ามีดมน**  **แสดงการทดลองวัดการกระจายแสงของห้องเอนกประสงค์ วันที่ 21 กย. ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส**

4.5.3 ผลการทดลองการกระจายแสงในห้องสมุด

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องสมุด

ผลการทดลองวัดการกระจายแสงในห้องสมุด - ทิศตะวันออก ด้านหน้าเป็นพื้นที่โล่ง - ทิศใต้ ในฤดูหนาวต้องการที่ป้องกันแสงแดด - Skylight ใช้กระจกที่มีค่า Transmittance 80%	 **แสดงผลการทดลองการกระจายแสงในห้องสมุด** **แสดงการทดลองวัดการกระจายแสงของห้องสมุด วันที่ 21 มิถุนายน ในสภาพท้องฟ้ามืดมน**  **แสดงการทดลองวัดการกระจายแสงของห้องสมุด วันที่ 21 มิถุนายน ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส**

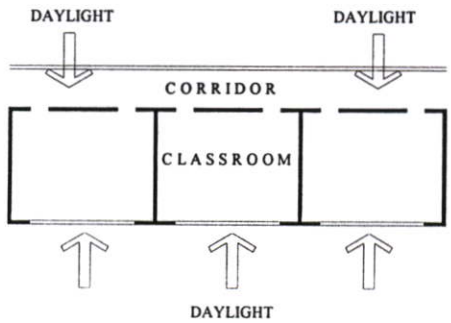
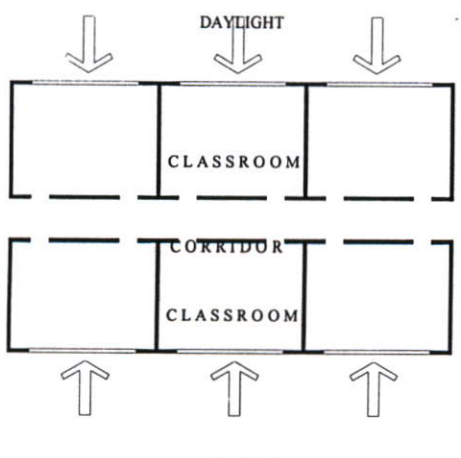
บทที่ 5
การวิเคราะห์รูปแบบของห้องเรียนเพื่อการส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพ

5.1 การวิเคราะห์สัดส่วนของห้องเรียน

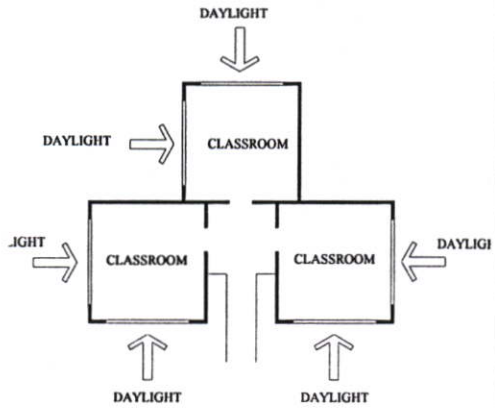
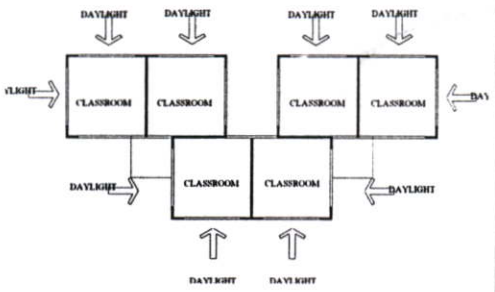
5.1.1 การวิเคราะห์การจัดกลุ่มห้องเรียน

แนวความคิดในการออกแบบกลุ่มห้องเรียน โดยพิจารณาในหลายๆ ด้านและความเหมาะสมซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงการจัดกลุ่มห้องเรียนแบบต่างๆ

ลักษณะการจัดห้องเรียน	รายละเอียด
A Single Loaded Corridor  	คือการจัดกลุ่มห้องเรียนยาวตลอดติดต่อกันมีห้องเรียนด้านเดียว **ข้อดี** - จัดกลุ่มห้องเรียนติดต่อกันได้หลายห้อง - ไม่มีห้องข้อนกัน ระบายอากาศแบบ Cross Ventilation เหมาะกับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้นแต่การเปิดช่องเปิดควรออกแบบให้มีแผงบังแดดและฝนหรือมีชายคายื่นยาว - รับแสงสว่างได้ทั้ง 2 ด้าน - ประหยัดโครงสร้างเพราะสามารถใช่ร่วมกับห้องเรียนอื่นได้ **ข้อเสีย** - ได้รับการรบกวนจากภายนอก ทั้งจากทางเดินหน้าห้องและจากช่องเปิด
B Double Loaded Corridor  	คือการจัดกลุ่มห้องเรียนขนาบทางเดินทั้งสองด้านยาวติดต่อกัน **ข้อดี** - จัดกลุ่มห้องเรียนติดต่อกันได้หลายห้องมากกว่า Single Loaded Corridor - ใช้ประโยชน์ของ Corridor ได้เต็มที่ - ประหยัดโครงสร้างสามารถใช้โครงสร้างร่วมกันได้ **ข้อเสีย** - มีห้องข้อนกัน การระบายอากาศภายในห้องไม่เพียงพอ - แสงสว่างไม่เพียงพอบริเวณ Corridor และร้อนต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ช่วย - รับแสงสว่างได้ด้านเดียว - จำนวนห้องที่ล้อมรอบ Corridor มากขึ้นมีการรบกวนระหว่างห้องเรียน และเกิดเสียงก้องบริเวณทางเดิน

ตารางที่ 5.1 แสดงการจัดกลุ่มห้องเรียนแบบต่างๆ (ต่อ)

ลักษณะการจัดห้องเรียน	รายละเอียด
C Inner Vestibule  	คือการจัดกลุ่มห้องเรียนล้อมรอบโถงจ่ายเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 ห้อง **ข้อดี** - การออกแบบเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีแยกเป็นกลุ่มย่อยๆ - สามารถระบายอากาศแบบ Cross Ventilation ได้ - สามารถรับแสงสว่างได้ 2 ด้าน - ประหยัดโครงสร้าง ออกแบบให้ใช้ร่วมกันได้ **ข้อเสีย** - สิ้นเปลืองทางเดินหลัก ที่ต้องกระจายสู่ Vestibule แต่ละกลุ่มห้อง - ถ้ามีหลายกลุ่มย่อยก็เป็นการเพิ่มเนื้อที่ Vestibule และถ้าเป็นการซ้อนกันทางตั้งก็จะเป็นการเปลืองบันได - Vestibule จะมืด ได้รับแสงธรรมชาติได้ยาก - ถ้าจัดกลุ่มกระจายไม่เหมาะสม ทำให้มองเห็นกันสมาธิในการเรียนน้อยลง - โครงสร้างอาคารจะซับซ้อน
D Outer Vestibule  	คือการจัดกลุ่มห้องเรียนล้อมรอบโถงจ่ายอยู่ด้านนอกของห้องเรียนโดยใช้โถงจ่ายอยู่ด้านนอกห้องเรียนจัดเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 ห้อง **ข้อดี** - การออกแบบเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี แยกเป็นกลุ่ม - สามารถระบายอากาศแบบ Cross Ventilation ได้แต่น้อยกว่าแบบ Inner Vestibule **ข้อเสีย** - สิ้นเปลืองทางเดินหลักที่จะต้องกระจายสู่ Ventilation แต่ละกลุ่มห้อง - Ventilation อาจทำให้เกิดการรบกวนระหว่างห้อเรียน - ห้องเรียนซ้อนกันมาก จะเป็นการบังกระแสลม - โครงสร้างอาคารซับซ้อน

ที่มา : มาลินี ศรีสุวรรณ : (9)

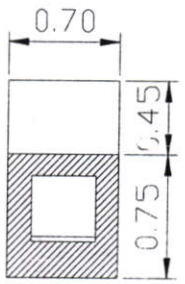
จากการวิเคราะห์ถึงลักษณะการจัดกลุ่มห้องเรียนทั้ง 4 แบบข้างต้น จะพบว่าการจัดกลุ่มอาคารเรียนแบบ Single Loaded Corridor **มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้มากที่สุด** เนื่องจากสามารถนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ได้อย่างเต็มที่และมีการระบายอากาศได้ดีแต่ในขณะเดียวกันจะต้องระมัดระวังเรื่องเสียงรบกวนและเรื่องการป้องกันแสงแดดและฝนด้วย

5.1.2 การวิเคราะห์สัดส่วนของห้องเรียน

มีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

A จำนวนนักเรียนต่อห้อง

- ค่ามาตราฐาน 1.80 ตารางเมตร / นักเรียน 1 คน
- จำนวนนักเรียน 1 ห้อง ไม่เกิน 45 คน



รูปที่ 5.1 แสดงขนาดสัดส่วนของการจัดโต๊ะเรียน

B การจัดที่นั่งและมุมการมองกระดานดำ

- การจัดที่นั่งควรปรับเปลี่ยนได้
- มุมการมองกระดาน ควรเป็นมุม 40 องศา ของนักเรียนแถวหน้าริมซ้ายและขวา (ถ้ามุมมองน้อยกว่านี้อาจทำให้สายตาเอียง)

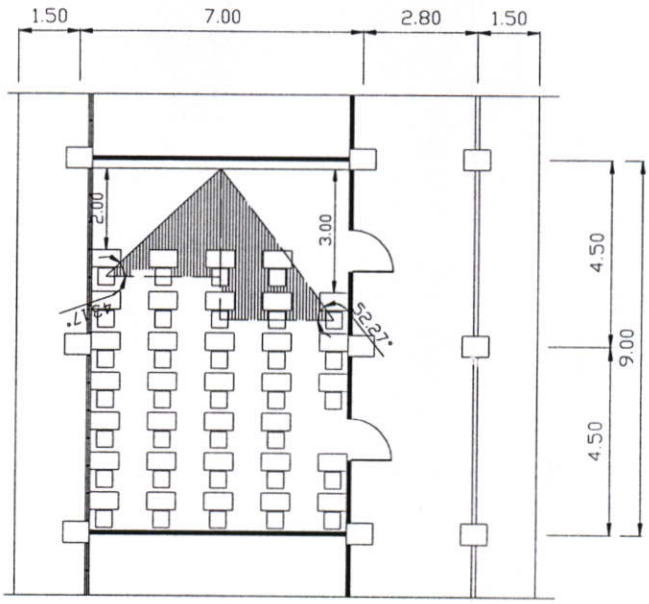
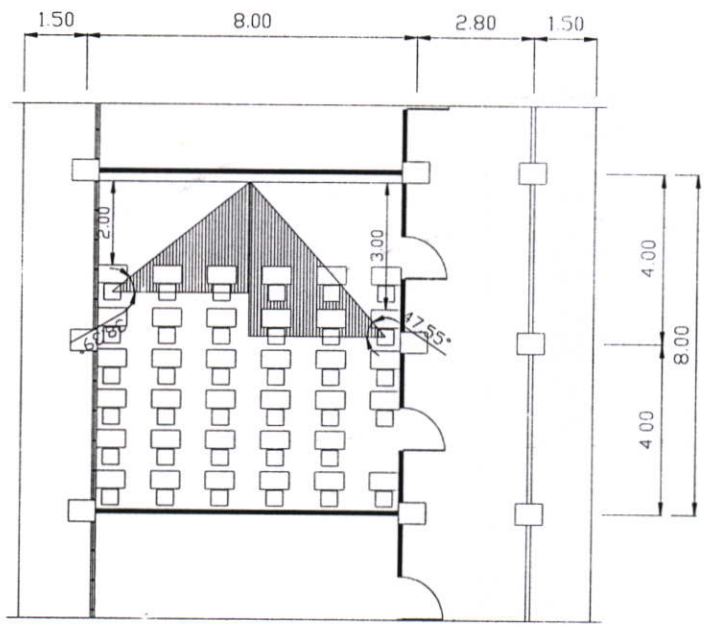
การตรวจสอบขนาดห้องเรียนทั่วไปที่ใช้กันใน

ปัจจุบันพบว่ามี 2 ขนาด ดังนี้

A ห้องเรียนขนาด 7.00 × 9.00 เมตร เช่น โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ และโรงเรียนเซนฟรัง ซีสเซเวียร์ เป็นต้น

B ห้องเรียนขนาด 8.00 × 8.00 เมตร เช่น โรงเรียนหอวัง และโรงเรียนสวกุหลาบวิทยาลัย เป็นต้น

ตารางที่ 5.2 แสดงขนาดห้องเรียนทั่วไป

A ห้องเรียนขนาด 7.00 × 9.00 เมตร	
	
ข้อดี	- โต๊ะแถวหน้าสามารถเว้นระยะห่างจากกระดานได้ต่ำสุด 2.00 เมตร - มีมุมในการมองกระดานดำที่เหมาะสม องศาในการมอง 41 องศา สำหรับระยะห่างจากกระดานดำ 2.00 เมตร องศาในการมอง 50 องศา สำหรับระยะห่างจากกระดานดำ 3.00 เมตร
ข้อเสีย	- พื้นที่เฉลี่ยต่อคน = 1.50 ตารางเมตร มีค่าต่ำกว่ามาตราฐาน
B ห้องเรียนขนาด 8.00 × 8.00 เมตร	
	
ข้อดี	- ห้องเรียนกว้างขึ้น ระยะลึกเหลือเพียง 8.00 เมตร ทำให้ระยะห่างระหว่างครูกับนักเรียนน้อยลง มีความใกล้ชิดกันมากขึ้น
ข้อเสีย	- พื้นที่เฉลี่ยต่อคน = 1.60 ตารางเมตร มีค่าต่ำกว่ามาตราฐาน - ระยะห่างต่ำสุดระหว่างโต๊ะแถวหน้ากับกระดานดำต้องมากถึง 3.00 เมตร องศาในการมอง 36.5 องศา สำหรับระยะห่างจากกระดานดำ 2.00 เมตร องศาในการมอง 47 องศา สำหรับระยะห่างจากกระดานดำ 3.00 เมตร

จากการวิเคราะห์ห้องเรียนทั้ง 2 แบบแล้ว ควรมีการปรับปรุงขนาดห้องเรียนให้เหมาะสมยิ่งขึ้นโดยแก้ไขดังนี้

1 ใช้ความกว้างห้องเรียนขนาด 8.00 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมไม่กว้างเกินไป เพราะห้องที่ยิ่งกว้างจะสามารถควบคุมสภาพแสงสว่างในค่อนข้างยากส่วนความยาวใช้ขนาด 9.00 เมตร เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนจำนวนนักเรียนต่อแถวได้ ดังนั้นจะได้ห้องขนาด 8.00 × 9.00 เมตร

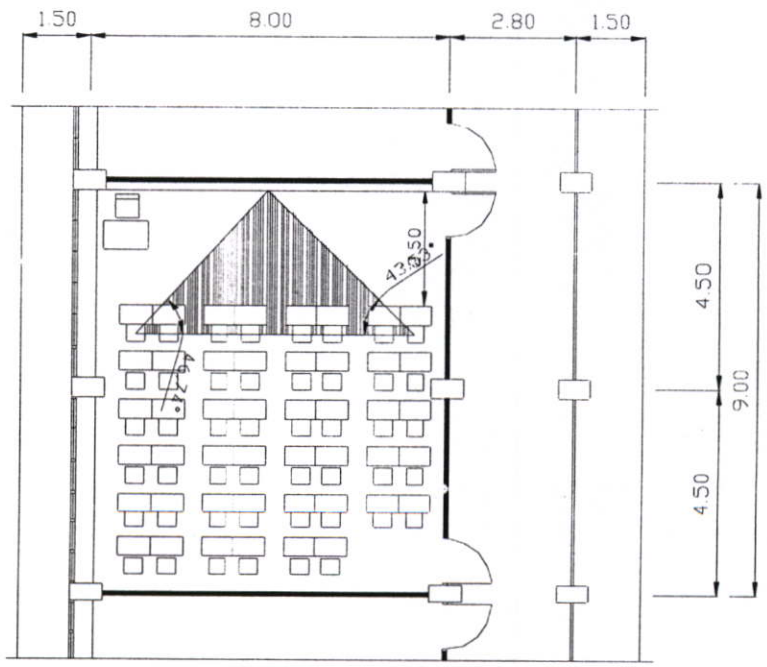
2 จำนวนนักเรียน 40 คน พื้นที่ใช้งานเฉลี่ยต่อคน 1.80 ตารางเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของค่ามาตราฐานที่กำหนด

3 มีมุมในการมองกระดานดำในระยะที่เหมาะสม คือ 2.50 เมตร เป็นต้นไป
   - องศาในการมอง 43 องศา สำหรับระยะห่างจากกระดาน 2.50 เมตร
   - องศาในการมอง 47 องศา สำหรับระยะห่างจากกระดาน 3.00 เมตร

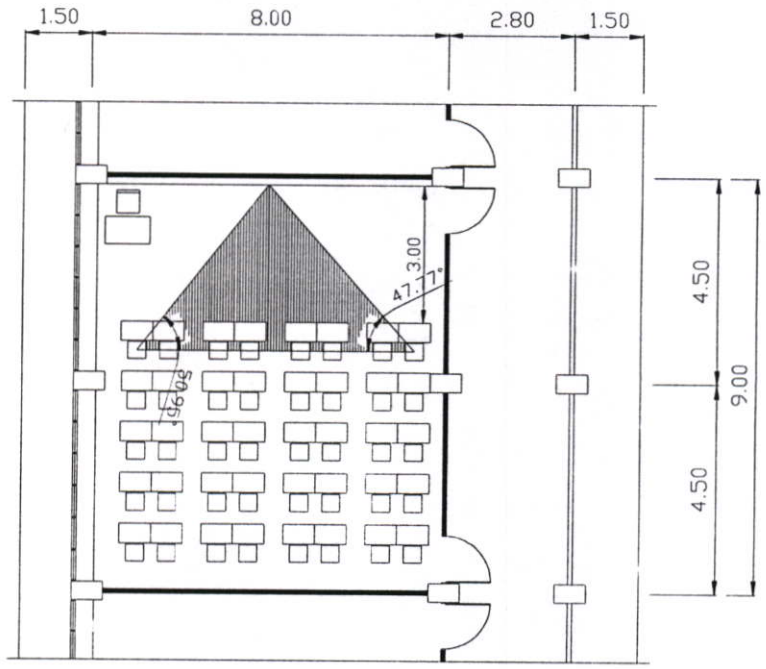
4 สามารถขยับโต๊ะเรียนแถวริมประตูให้มีทางเดินรอบนอก เพื่อใช้ในการเข้าออกได้ โดยที่โต๊ะแถวหน้ามีองศาในการมอง 50 องศา

5 ความสูงของห้องเรียนจะใช้ค่ามาตราฐาน จากพื้นถึงพื้น 3.60 เมตร

ตารางที่ 5.3 แสดงลักษณะการจัดโต๊ะเรียนแบบ A

A ห้องเรียนขนาด 8.00 × 9.00 เมตร โดยมีระยะห่างจากกระดานดำ 3.00 เมตร


ตารางที่ 5.4 แสดงลักษณะการจัดโต๊ะเรียนแบบ B

B ห้องเรียนขนาด 8.00 × 9.00 เมตร โดยมีระยะห่างจากกระดานดำ 2.50 เมตร


5.1.3 การวิเคราะห์ขนาดของช่องแสงและสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน

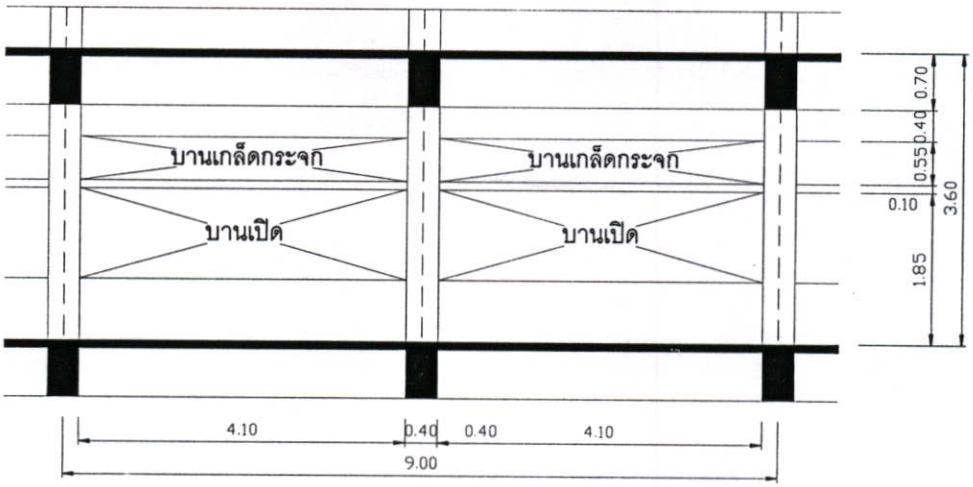
A การวิเคราะห์ขนาดสัดส่วนของช่องแสง

จากการพิจารณาช่องแสงที่มีขนาดใหญ่สามารถให้แสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารได้มากว่าช่องแสงขนาดเล็กแต่ในงานวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหาภายในห้องเรียนที่มีแสงธรรมชาติไม่เพียงพอ เนื่องจากช่องหน้าต่างที่เล็ก ดังนั้นจึงอ้างอิงขนาดช่องหน้าต่างเดิมในการวิจัยโดยวิธีของ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารเรียน แต่ปรับส่วนขอบหน้าต่างด้านล่างให้สูงระดับ Working Plane

- ค่ามาตราฐานระดับ Working Plane คือระดับ 0.75 เมตร
- ค่ามาตราฐานความสูงของห้องเรียนจากพื้นถึงพื้น 3.60 เมตร

ตารางที่ 5.5 แสดงขนาดช่องแสงของห้องเรียน

A ขนาดช่องเปิดในส่วนหน้าต่างของห้องเรียน

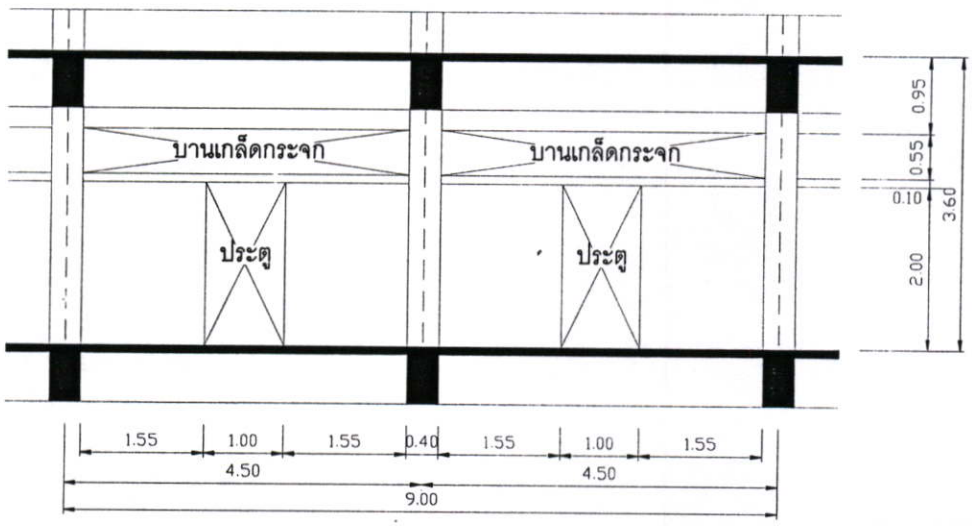


มีพื้นที่ช่องเปิด 13.53 ตารางเมตร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- พื้นที่ผนังทั้งหมด = 32.40 ตารางเมตร (100.00%)
- พื้นที่ผนัง = 18.05 ตารางเมตร (55.72%)
- พื้นที่วงกบ = 1.40 ตารางเมตร (4.32%)
- พื้นที่ช่องแสง = 4.10 ตารางเมตร
- พื้นที่บานเปิด = 10.25 ตารางเมตร

รวมพื้นที่ช่องแสงและช่องเปิด 14.35 – 1.40 = 12.95 ตารางเมตร (39.96%)

B ขนาดช่องเปิดในส่วนประตูของห้องเรียน



มีพื้นที่ช่องเปิด 3.28 ตารางเมตร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

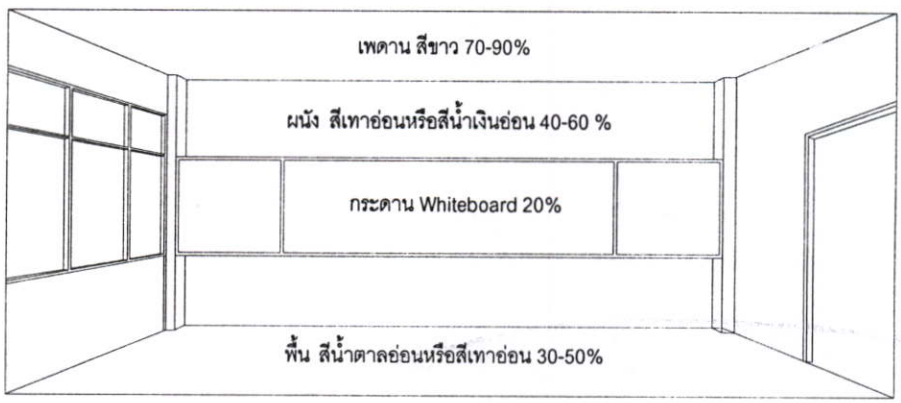
- พื้นที่ผนังทั้งหมด = 32.40 ตารางเมตร (100.00%)
- พื้นที่ผนัง + ประตู = 29.12 ตารางเมตร (89.88 %)
- พื้นที่วงกบ = 0.84 ตารางเมตร (2.59%)
- พื้นที่ช่องแสง 3.28 – 0.84 = 2.44 ตารางเมตร (7.53%)

B การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในห้องเรียนเพื่อส่งเสริมสภาพแสงสว่าง

สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนจะมีผลต่อสภาพแสงสว่างภายในห้องโดยตรง การจัดเตรียมสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนที่เหมาะสมจะเป็นการช่วยเสริมสภาพแสงสว่างภายในห้องได้ดีขึ้น สำหรับในห้องเรียนจะใช้ค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงดังตารางที่ 3.10 จากนั้นจึงใช้เกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นมากำหนดสีภายในห้องเรียนโดยรายละเอียดการสะท้อนแสงของสีต่างๆ มีดังตารางที่ 3.11

ดังนั้นในการกำหนดสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนเพื่อช่วยส่งเสริมสภาพแสงสว่างควรใช้สีและวัสดุดังนี้

เพดาน	ควรใช้สีสว่างสุด คือสีขาว หรือสีงาช้าง
ผนัง	ควรใช้สีเทาอ่อน , น้ำเงินอ่อน , หรือเขียวอ่อน
กระดาน	ส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะใช้เป็นกระดาน Whiteboard (เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากผงชอล์ก)
พื้น	ควรใช้สีกลาง คือสีเทาอ่อน หรือสีหินอ่อน

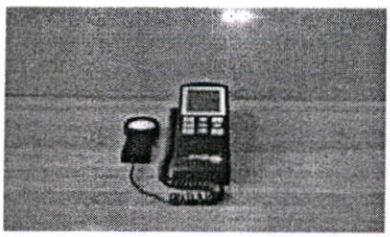


รูปที่ 5.2 แสดงค่าการสะท้อนแสงที่เหมาะสมภายในห้องเรียน

5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.2.1 ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)

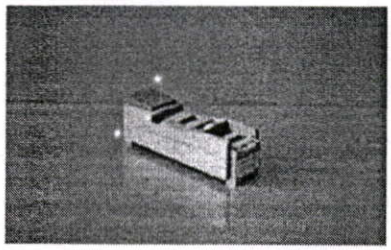
ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำเครื่องมือวัดแสงที่อ่านค่าความสว่างเป็นลักซ์ (Lux) ทั้งสิ้น โดยใช้ลักซ์มิเตอร์วัดค่าระดับความส่องสว่างภายนอกอาคารและวัดค่าระดับความส่องสว่างจากการสะท้อนของภายในอาคาร ได้แก่ ผนัง พื้น และเพดาน



รูปที่ 5.3 แสดงเครื่องมือลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)

5.2.2 **เครื่องมือวัดแสง** Opus200

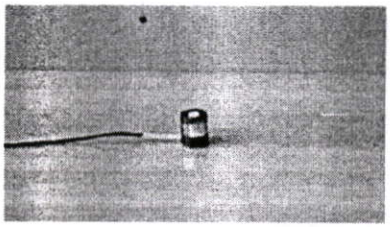
เป็นเครื่องแสดงผลของระดับแสงที่วัดได้และใช้เครื่องมือวัดแสงโดยติดตั้ง Sensor หรือ Cell รับแสงไว้ภายในหุ่นจำลองโดยอยู่ที่ระดับ Working Plane คือ 0.75 เมตร ส่วนจอแสดงผลนั้นคือคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.4 แสดงเครื่องมือโอพุส 200 (Opus200)

5.2.3 **เซนต์เซอร์** Photometric Sensor

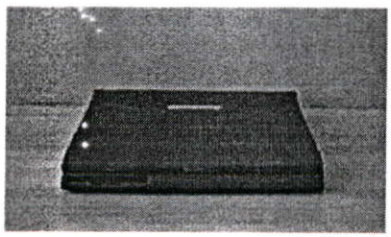
เป็นเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ต่อเชื่อมกับ Opus200



รูปที่ 5.5 แสดงเครื่องมือเซนต์เซอร์ (Photometric Sensor)

5.2.4 **คอมพิวเตอร์โน๊ตบุค**

เป็นเครื่องแสดงผลและเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การกระจายแสง

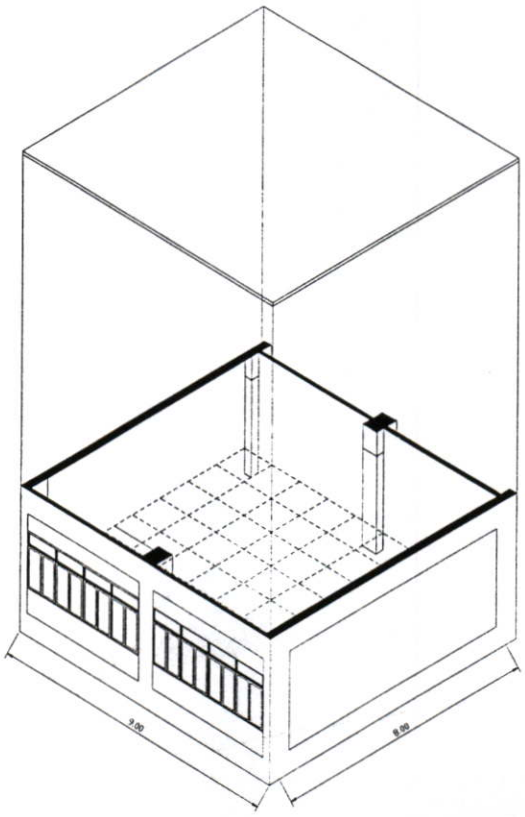


รูปที่ 5.6 แสดงคอมพิวเตอร์โน๊ตบุค

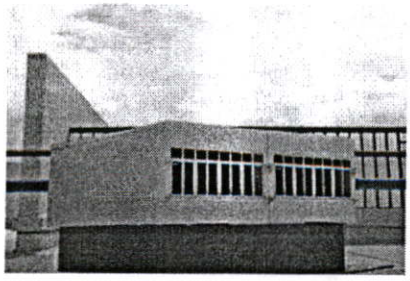
5.3 หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย

5.3.1 หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

จากลักษณะกายภาพทั่วไปของห้องเรียนผู้วิจัยได้ออกแบบหุ่นจำลองห้องเรียนขนาด 9.00×8.00 ×3.10 เมตร (กว้าง×ยาว×สูง) ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3.10 เมตร (ความสูงจากพื้นถึงพื้น 3.60 – คาน 0.70 = 2.90 เมตร) ผนังในส่วนที่หน้าต่าง ขอบล่างของช่องเปิด (หน้าต่าง) อยู่ที่ระดับความสูงจากพื้น 0.75 เมตร ขนาดของช่องแสงมีความกว้างของช่องแสงเท่ากับความกว้างของห้องเรียนเดิม



รูปที่ 5.7 แสดงรูปแบบและขนาดของห้องเรียนที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 5.8 แสดงลักษะกายภาพของหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

- ขนาดมาตราฐานส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้คือ 1:10 ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ทำการวัดและเป็นขนาดที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ให้สะดวกแก่การเก็บข้อมูลทั้งในและนอกสถานที่
- วัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลอง คือไม้บ๊อกบอร์ดพ่นสีขาวทั้งหมดและกระดาษชานอ้อยใช้ทำ Light Shelve ส่วนวัสดุที่ใช้เป็นพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน ใช้กระดาษโปสเตอร์ที่ได้ทดสอบค่าการสะท้อนแสง โดยมีค่าดังนี้

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

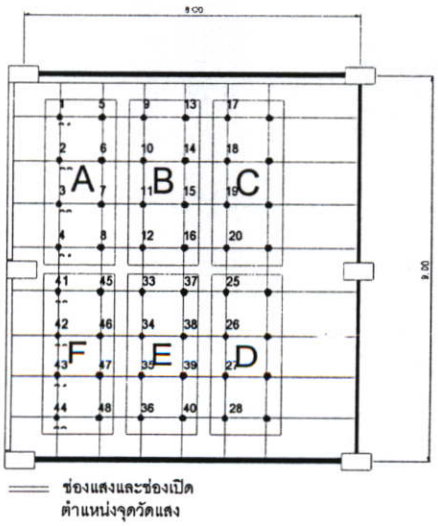
- วัสดุที่ใช้เป็นช่องเปิด (หน้าต่าง) และช่องแสง คือการเจาะช่องโล่งและทำการคำนวณจากการเลือกใช้กระจกใส หนา 6 มิลลิเมตร

มีค่า Daylight Transmission	=	0.88
U-value	=	5.83 watt/sqm * c
SC (Shading Coefficient)	=	0.96

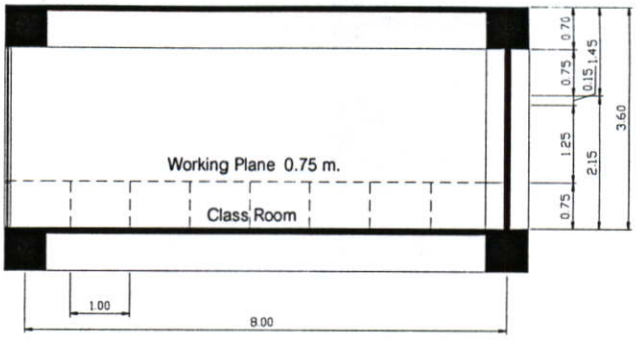
5.3.2 ขั้นตอนการวัดการกระจายแสงและการหาค่า Daylight Factor

A ขั้นตอนการวัดการกระจายแสงในหุ่นจำลอง

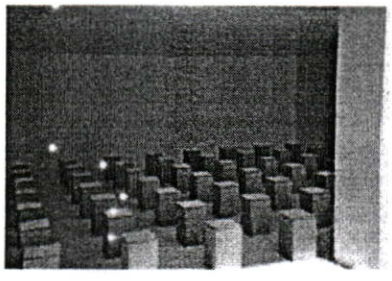
ทำการตรวจวัดความสว่างภายในหุ่นจำลองและความสว่างภายนอกอ่านค่าความสว่างเป็นลักซ์ (Lux) และตรวจวัดการกระจายแสงภายในอาคารที่ละตำแหน่ง โดยเริ่มจาก ตำแหน่ง A B C D E และ F ตามลำดับ ซึ่งจะมี Sensor จำนวน 8 ตัว/1 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 48 ตำแหน่ง ที่ความสูงระดับ Working Plane คือ 0.75 เมตร



รูปที่ 5.9 ขั้นตอนและตำแหน่งในการวัดการกระจายแสงภายในห้องเรียน



รูปที่ 5.10 แสดงรูปตัดและขนาดสัดส่วนที่ใช้ทำการทดลอง



รูปที่ 5.11 แสดงระดับ Working Plane 0.75 เมตร

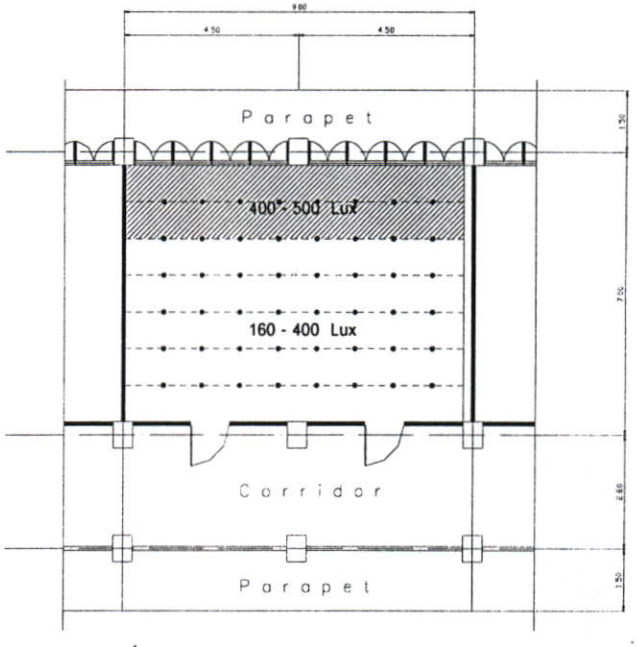
B การหาค่า Daylight Factor

ทำการหาค่า Daylight Factor (D.F.) โดยพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติ ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซนต์ มีสูตรในการหาดังนี้

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

บทที่ 6
การวิเคราะห์แนวทางประสิทธิภาพของหิ้งสะท้อนแสงที่ออกแบบไว้

จากผลการทดลองวัดการกระจายแสงของห้องเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง ซึ่งห้องเรียนมีขนาด 9.00 × 7.00 เมตร พบว่ามีการกระจายแสงในช่วง 2.00 เมตรแรกจากช่องเปิดทางด้านทิศเหนือในเกณฑ์มาตราฐาน ส่วนที่ลึกเข้าไปการกระจายแสงต่ำกว่าเกณฑ์มาตราฐาน เมื่อพิจารณาเกณฑ์ค่าระดับความส่องสว่างมาตราฐาน ที่วัดได้ส่วนใหญ่ต่ำกว่ามาตราฐานซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 200 – 300 ลักซ์ ในขณะที่มาตราฐานควรเป็น 500 ลักซ์ หากมีการศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในส่วนที่ลึกมากกว่า 2.00 เมตร จากช่องแสง ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในห้องเรียน โดยการศึกษาออกแบบและหารูปแบบของ Light Shelve ที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในสถานศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 6.1 แสดงการกระจายแสงสว่างที่ได้มาตราฐานในช่วง 2.00 เมตร แรกจากขอบหน้าต่าง

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของห้องเรียน (โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง)

ค่า Daylight Factor (%)	ระยะจากหน้าต่าง (เมตร)					
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
1	0.58	0.52	0.37	0.50	0.36	0.56
2	0.79	0.71	0.55	0.28	0.43	0.55
3	1.03	0.91	0.65	0.38	0.43	0.77
4	1.09	0.85	0.79	0.48	0.47	0.57
5	0.99	0.77	0.68	0.43	0.54	0.64
6	0.90	0.83	0.55	0.50	0.48	0.48
ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)	0.90	0.76	0.60	0.43	0.45	0.59

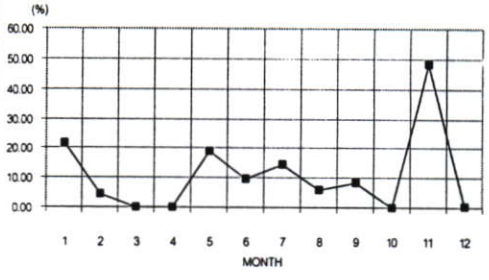
การคำนวนหาเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติในห้องเรียน

การหาค่าความส่องสว่างภายนอกเลือกระยะห่างจากหน้าต่าง 5.00 เมตร มีค่า Daylight Factor 0.45 % ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการหาค่าความส่องส่วางภายนอก ได้ 111,111 Lux และใช้ค่านี้เป็นเกณฑ์ในการหาเปอร์เซนต์ของความสว่างที่สามารถใช้ในห้องเรียนของโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง ได้ในช่วงเวลาใช้ห้องเรียนต่อปี

(500*100) / 0.45 = 111,111 Lux

ตารางที่ 6.2 แสดงเปอร์เซนต์สำหรับห้องเรียน รร.นวมินทราชินูทิศ หอวัง ที่สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

เดือน	จำนวนเวลาทั้งหมด (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ไม่ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเปอร์เซ็นต์ (%)	กราฟแสดงเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้งานได้ / เดือน
1	248	194	54	21.77	
2	224	214	10	4.46	
3	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	
5	128	104	24	18.75	
6	240	217	23	9.58	
7	248	212	36	14.52	
8	248	233	15	6.05	
9	240	220	20	8.33	
10	-	-	-	-	
11	240	124	116	48.33	
12	248	247	1	0.40	
1ปี	2,064	1,765	299	14.69	

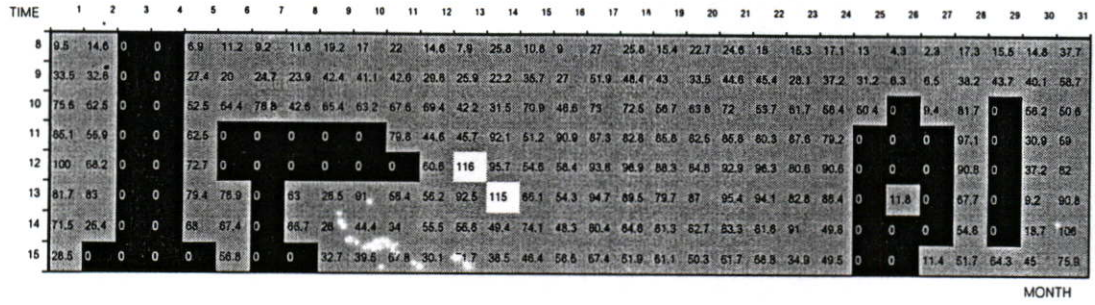


ภายใน 1 ปี สามารถใช้แสงธรรมชาติแถวในสุดจากขอบหน้าต่างห้องเรียนของโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวังได้เท่ากับ 14.69 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี หรือ 299 ชั่วโมงของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี ซึ่งเป็นเปอร์เซนต์ที่น้อยมากสำหรับการให้ความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติ ส่วน 85.31 % ที่เหลือต้องใช้แสงประดิษฐ์ กล่าวคือใน 1 วัน จำเป็นต้องใช้แสงประดิษฐ์ทั้งวันในห้องเรียน

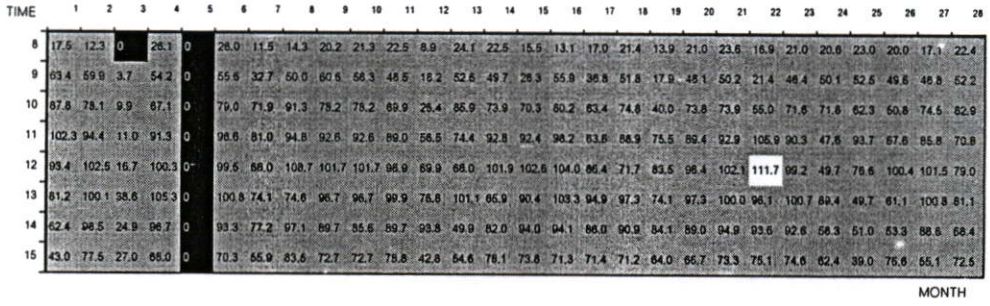
ดังนั้นจึงทำการศึกษาการนำแสงสว่างจากธรรมชาติให้แสงมีการกระจายเข้าไปได้ลึกถึงข้างในสุดของห้องโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยแสงประดิษฐ์ สำหรับงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ส่วนลึกสุดจากขอบหน้าต่างของห้องเรียนให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยวิธีการสะท้อนแสงของ Light Shelve

รูปที่ 6.2 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียน(รร.นวมินทราชินูทิศ หอวัง) ที่น้อยกว่า 111.111 Klux ในเดือนมกราคม - เมษายน

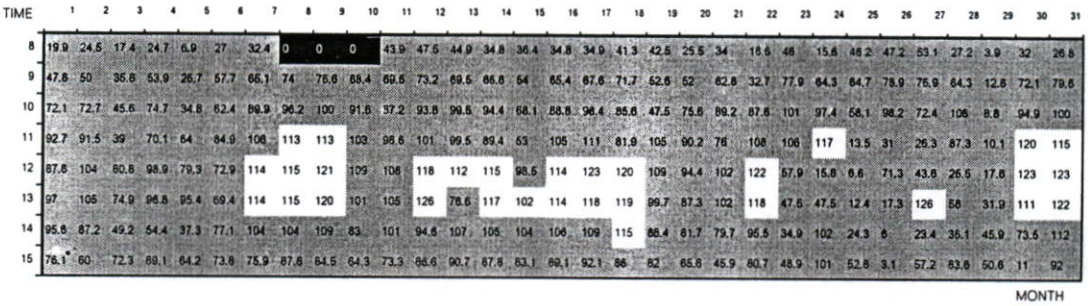
เดือนมกราคม



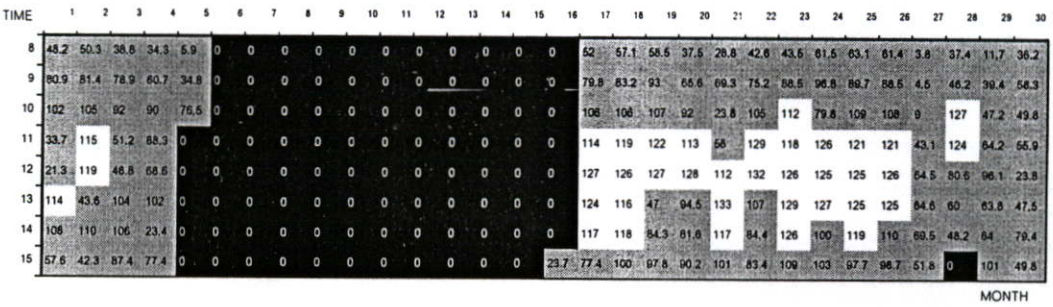
เดือนกุมภาพันธ์

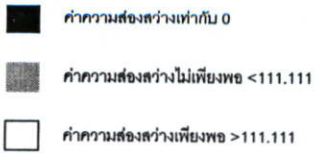


เดือนมีนาคม



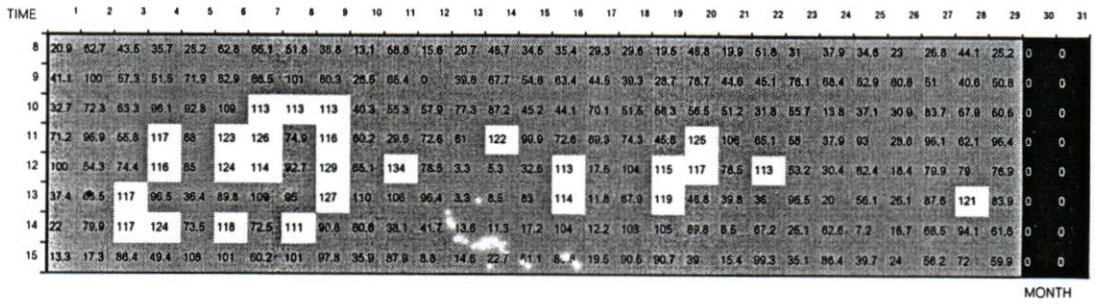
เดือนเมษายน



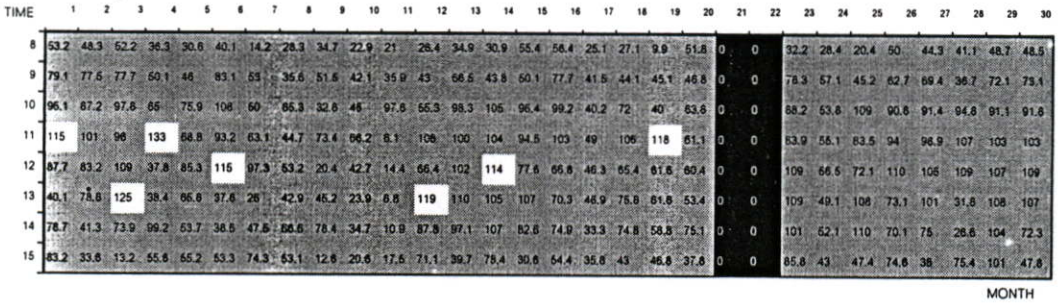


รูปที่ 6.2 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียน(รร.นวมินทราชินูทิศ หอวัง) ที่น้อยกว่า 111.111 Klux ในเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม (ต่อ)

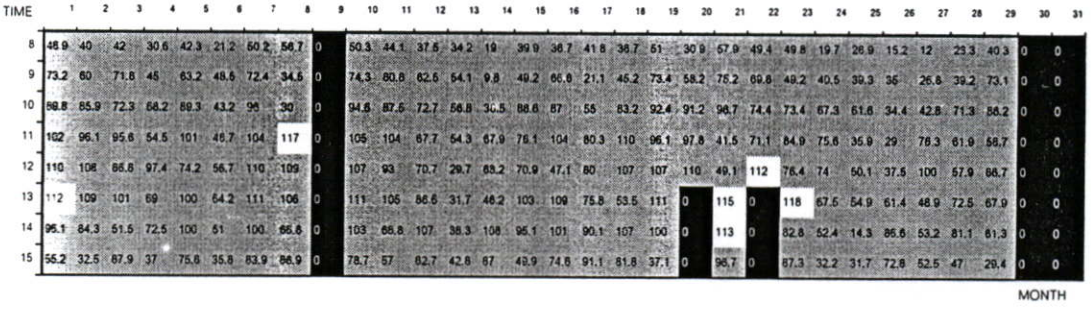
เดือนพฤษภาคม



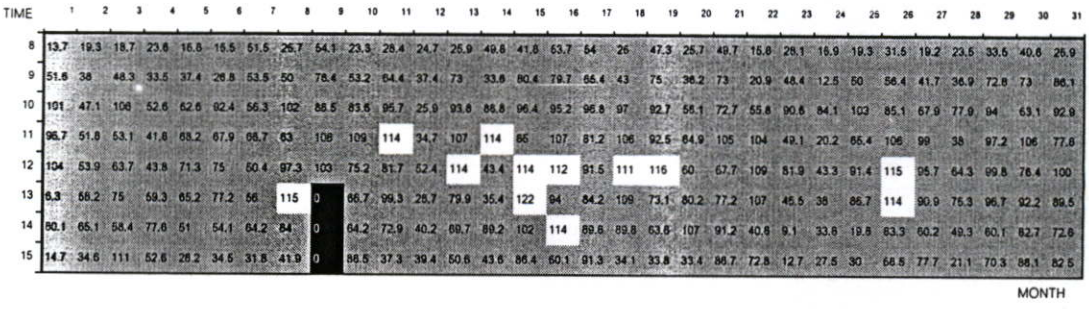
เดือนมิถุนายน

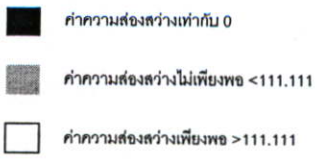


เดือนกรกฎาคม



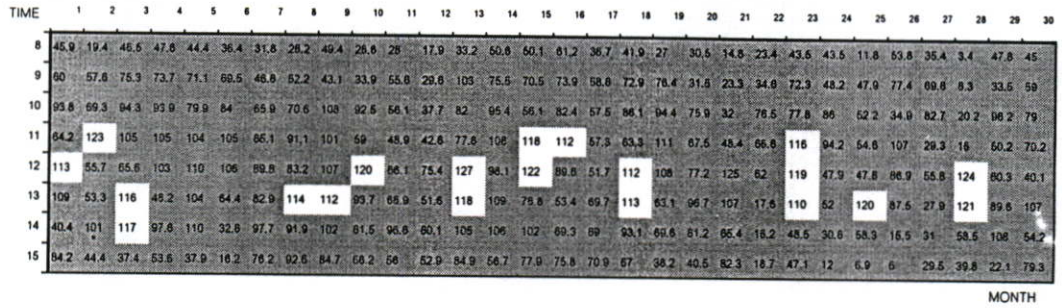
เดือนสิงหาคม



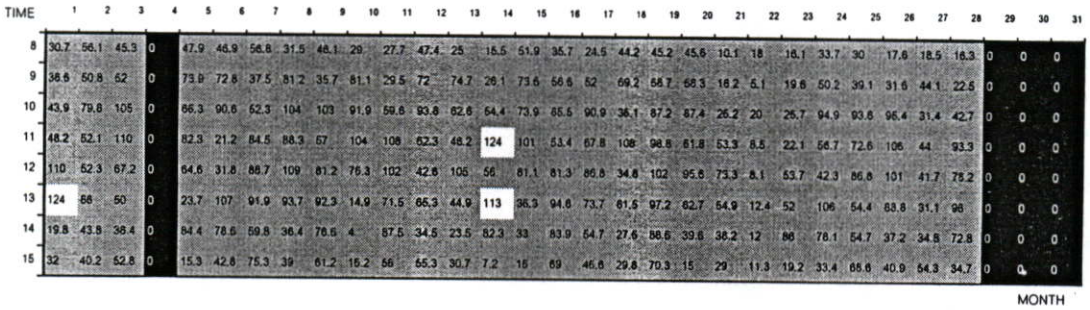


รูปที่ 6.2 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียน(รร.นวมินทราชินูทิศ หอวัง) ที่น้อยกว่า 111.111 Klux ในเดือนกันยายน - ธันวาคม (ต่อ)

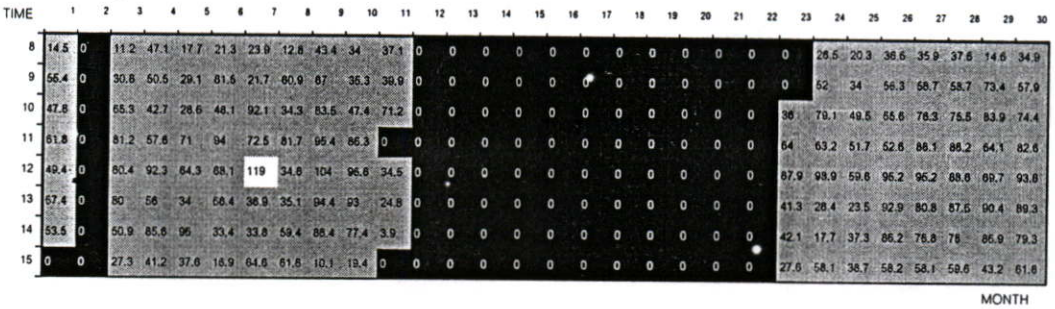
เดือนกันยายน



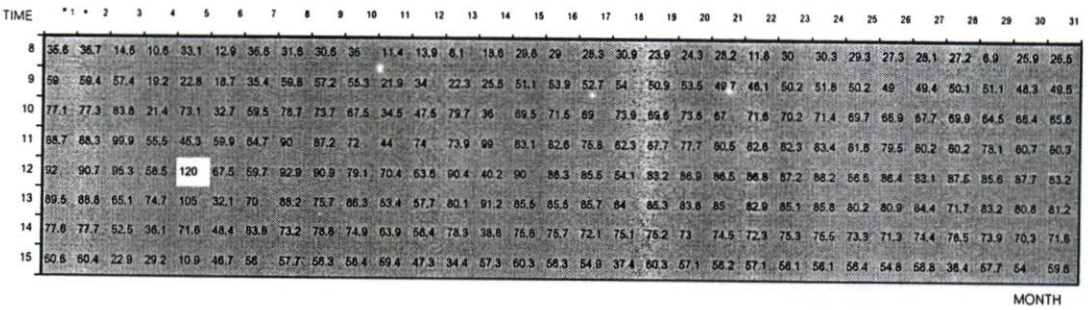
เดือนตุลาคม



เดือนพฤษจิกายน



เดือนธันวาคม



ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <111.111

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >111.111

6.1 การวิเคราะห์ปัจจัยกายภาพทั่วไปของ Light Shelve

โดยการศึกษาปัจจัยหรือตัวแปรกายภาพที่มีแนวโน้มว่าจะมีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารเรียนโดย Light Shelve รูปแบบต่างๆ โดยมีปัจจัยดังต่อไปนี้ในการวิเคราะห์

1 รูปแบบของ Light Shelve

2 ความลึกของ Light Shelve

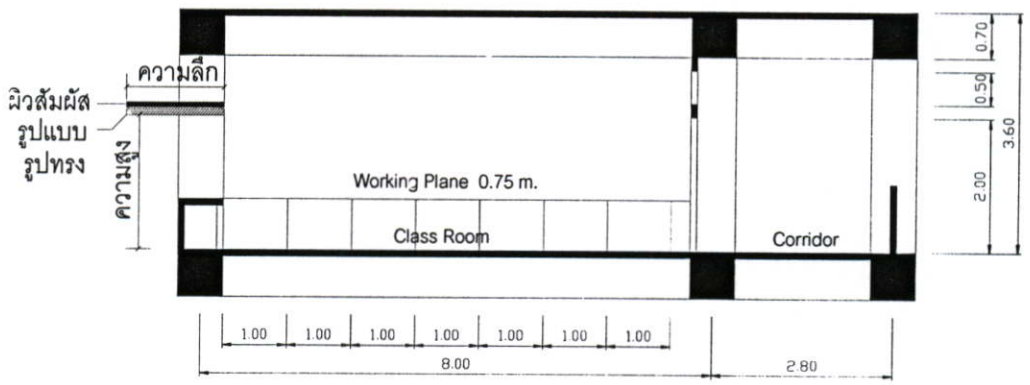
3 ระดับความสูงของ Light Shelve

4 รูปทรงของ Light Shelve

5 ลักษณะผิวสัมผัสและสีของ Light Shelve

ปัจจัยกายภาพข้างต้นถือเป็นตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยโดยการทดสอบแต่ละแบบจะใช้หุ่นจำลองเป็นเครื่องมือในการทดสอบกระบวนการนี้จะทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพื้นฐานทางกายภาพ กับค่าแสดงความส่องสว่างโดยได้ผลทดสอบเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์และแผนภูมิเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบในขั้นต้น

เกณฑ์มาตราฐานในการทดสอบเพื่อหาระดับประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ผ่านการสะท้อนของ Light Shelve จะพิจารณาจากปริมาณที่พอเพียง และคุณภาพที่ทำให้เกิดความสบายตาในการมอง โดยพิจารณาจากเกณฑ์มาตราฐานค่าการส่องสว่างจาก IES หรือ CFE เป็นหลัก

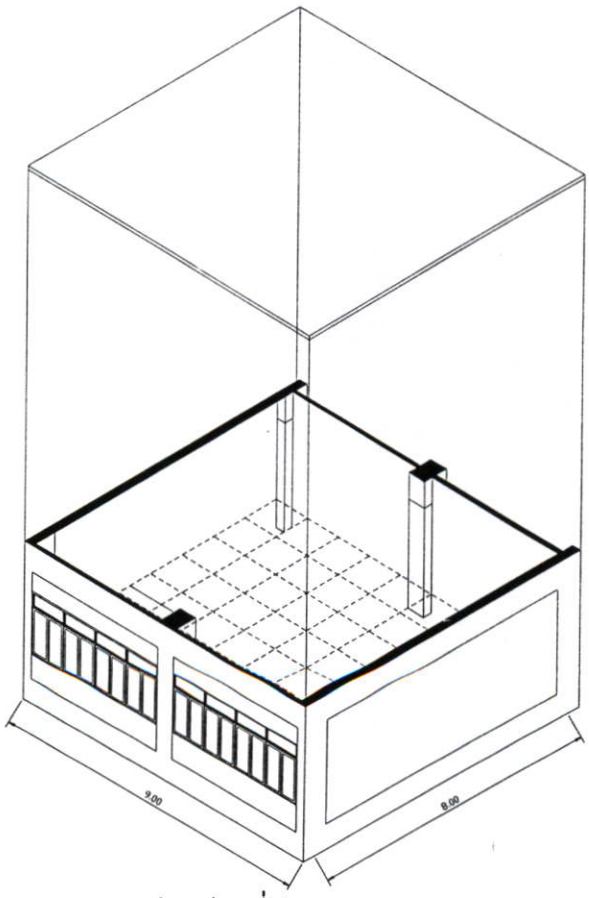


รูปที่ 6.3 แสดงปัจจัยกายภาพที่ใช้พิจารณาในการออกแบบ Light Shelve

6.2 การวิเคราะห์กำหนดตัวแปรควบคุมคงที่

การออกแบบ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสถานศึกษานี้มีการกำหนดขอบเขตของตัวแปรควบคุมคงที่เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ดังนี้

1. สภาพแวล้อมของห้องเรียนเป็นพื้นที่โล่งโดยรอบอาคาร
2. ประเภทอาคารเป็นอาคารเรียน ประเภทห้องเรียนทั่วไป มีการใช้งานตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น.
3. ขนาดห้องเรียน ผู้วิจัยได้ออกแบบหุ่นจำลองห้องเรียนขนาด 8.00 x 9.00 x 2.90 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 2.90 เมตร (ความสูงจากพื้นถึงพื้น 3.60 – คาน 0.70 = 2.90 เมตร)
4. รูปแบบช่องเปิดในด้านที่มีหน้าต่าง ขอบล่างของช่องเปิด (หน้าต่าง) อยู่ที่ระดับความสูงจากพื้น 0.75 เมตร
5. ขนาดของช่องแสง มีความกว้างของช่องแสงเท่ากับความกว้างของห้องเรียนเดิม
6. การวางตำแหน่งของช่องเปิดกำหนดช่องเปิดที่หันไปสู่ทิศเหนือ - ใต้ (วางตาม Orientation ของอาคาร)
7. ที่ตั้งของอาคาร กรุงเทพมหานคร พิกัดละติจูดที่ 14 องศาเหนือ
8. ทำการทดสอบวัดแสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky)



รูปที่ 6.4 แสดงรูปแบบและขนาดของห้องเรียนที่ใช้ในการวิจัย

6.3 การวิเคราะห์ออกแบบ Light Shelve ที่เหมาะสม

ทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียนและทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและสรุปผลว่ารูปแบบของ Light Shelve รูปแบบใดมีความเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาการออกแบบLight Shelve ดังนี้

ตารางที่ 6.3 แสดงคุณสมบัติต่างๆ เพื่อนำไปออกแบบ Light Shelve

ปัจจัยกายภาพของ Light Shelve	รายละเอียด
A รูปแบบของ Light Shelve	โดยการออกแบบทั้งแบบภายใน ภายนอก และแบบผสม
B ระดับความสูงของ Light Shelve	โดยคำนึงถึงระดับมุมมองทางด้านสายตา ดังนั้นการออกแบบจึงกำหนดให้อยู่ ระหว่าง 1.30 – 1.70 ม. ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เกิดการบังมุมมองของสายตา
C ความลึกของ Light Shelve	โดยการออกแบบที่คำนึงถึงค่ามุม Profile Angle ที่มีมุมที่ต่ำที่สุดที่สามารถป้องกันแสงแดดได้และยังคงมีประสิทธิภาพในการกระจายแสงได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด
D รูปทรงของ Light Shelve	โดยการออกแบบในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบตรง แบบเอียง แบบโค้ง เพื่อให้การนำแสงมาใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
E ลักษณะผิวสัมผัสและสีของ Light Shelve	โดยการออกแบบให้มีค่าการสะท้อนแสงที่ดีและเหมาะสมกับห้องเรียน

ดังนั้นการออกแบบทำการทดลองของ Light Shelve จึงแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักดังนี้

1. การวิเคราะห์เลือกรูปแบบของ Light Shelve ที่เหมาะสม
2. การวิเคราะห์เลือกลักษณะสีและผิวสัมผัสของ Light Shelve ที่เหมาะสม
3. การวิเคราะห์เลือกความลึกและสีของ Light Shelve ที่เหมาะสม
4. การวิเคราะห์เลือกรูปทรงของ Light Shelve ที่เหมาะสม
5. การวิเคราะห์ควบคุมแสงบาดตา (Glare)

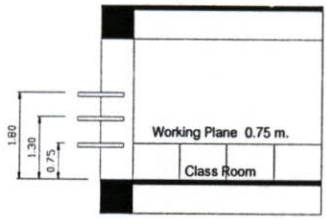
6.4 การวิเคราะห์เลือกรูปแบบของ Light Shelve ที่เหมาะสม

6.4.1 การวิเคราะห์ความสูงความลึกและรูปแบบของ Light Shelve

การวิเคราะห์ออกแบบ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียน โดยการออกแบบเพื่อหารูปแบบของ Light Shelve ในเบื้องต้นจะพิจารณาตัวแปรกายภาพ 3 ตัวแปร เพื่อนำมาวิเคราะห์ในเบื้องต้นเมื่อได้ผลการวิเคราะห์ของตัวแปรแล้วจึงนำตัวแปรกายภาพที่เหลืออีก 4 ตัวแปร มาทำการทดลองวิเคราห์ต่อไป การพิจารณาตัวแปรกายภายในเบื้องต้นมีดังนี้

A **ระดับความสูงของ** Light Shelve

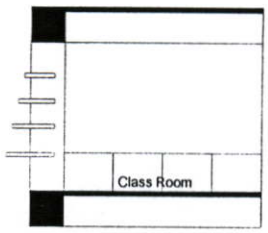
โดยคำนึงถึงสภาวะน่าสบายทางด้านสายตา โดยการออกแบบความสูงของระดับ Light Shelve กำหนดไม่ให้เกิดการบังระดับสายตาของครูและนักเรียนที่อยู่ในช่วงระหว่าง 1.30 – 1.80 เมตร และไม่ต่ำกว่าระดับ Working Plane คือ 0.75 ม.



รูปที่ 6.5 แสดงระดับความสูงของ Light Shelve ที่ไม่บังสายตา

B **ความลึกของ** Light Shelve

โดยการออกแบบความลึกที่แตกต่างกันและทำการทดลองว่าความลึกในรูปแบบใดมีการกระจายแสงที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยพิจารณาความลึกที่น้อยที่สุดแต่ยังคงมีประสิทธิภายในการกระจายแสงที่ดี



รูปที่ 6.6 แสดงความลึกของ Light Shelve

C **รูปแบบของ** Light Shelve

รูปแบบทั่วไปของ Light Shelve แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

1. Light Shelve ภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelve)
2. Light Shelve ภายในอาคาร (Interior Light Shelve)
3. Light Shelve แบบผสม (Combined Light Shelve)
4. Light Shelve แบบม่านสะท้อนแสง (Blind Liight Shelve)

6.4.2 การวิเคราะห์รูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve

การวิเคราะห์รูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve โดยการพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียต่างๆ ดังนี้

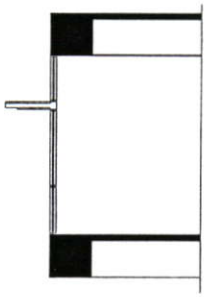
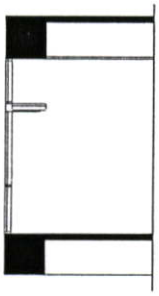
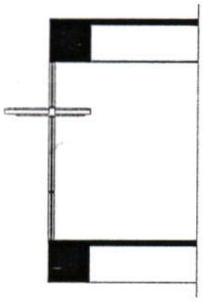
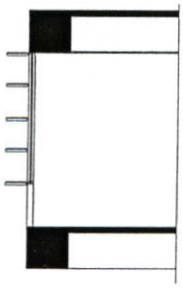
A สามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติ

B มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอ

C ลดแสงบาดตา

D มีมุมมองที่ดี

ตารางที่ 6.4 แสดงการวิเคราะห์รูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve

รูปแบบ Light Shelve	รายละเอียด	คุณลักษณะ			
		A	B	C	D
แบบที่ 1 แบบภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelve) 	**ข้อดี** สามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติ มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอลดแสงบาดตา ป้องกันแสงแดดตรง มีมุมมองที่ดี **ข้อเสีย** แสงสามารถกระจายได้น้อยกว่า แบบที่ 4	■	■	■	■
แบบที่ 2 แบบภายในอาคาร (Interior Light Shelve) 	**ข้อดี** เหมาะสำหรับภูมิอากาศเมืองหนาว **ข้อเสีย** การเพิ่มระยะความลึก ของแสงธรรมชาติได้เพียงเล็กน้อยการกระจายแสงสามารถผ่านการสะท้อนจาก Light Shelve เพียงเล็กน้อยเพราะอยู่ภายในอาคาร ไม่มีความสม่ำเสมอ ของแสง ไม่สามารถป้องกันแสงแดดตรง ได้				■
แบบที่ 3 แบบผสม (Combined Light Shelve) 	**ข้อดี** สามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติ มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอลดแสงบาดตา ป้องกันแสงแดดตรง ป้องกันฝนสาด มีมุมมองที่ดี **ข้อเสีย** แสงสามารถกระจายได้น้อยกว่า แบบที่ 4 ส่วน Light Shelve ที่อยู่ภายในไม่สามารถใช้ประโยชน์จากการสะท้อนแสงได้เลย	■	■	■	■
แบบที่ 4 แบบม่านสะท้อนแสง (Blind Liight Shelve) 	**ข้อดี** สามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติ มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอลดแสงบาดตา ป้องกันแสงแดดตรง มีมุมมองที่ดี	■	■	■	■

จากการวิเคราะห์รูปแบบของ Light Shelve จะพบว่าแบบที่ 2 คือแบบภายในอาคาร (Interior Light Shelve) และแบบที่ 3 คือแบบผสม (Combined Light Shelve) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาออกแบบใช้ในประเทศไทยเนื่องจากแสงที่สะท้อนเข้ามาที่ Light Shelve จะเกิดการสะสมความร้อนและคลายความร้อนเข้าสู่ห้องเรียน ส่วนแบบที่ 1 คือแบบภายนอกอาคาร (Exterior Light Shelve) มีคุณสมบัติครบทั้ง 4 ข้อ แต่จะมีการกระจายแสงได้น้อยกว่าแบบที่ 4 คือแบบม่านสะท้อนแสง (Blind Liight Shelve) เนื่องจากมี Light Shelve อยู่ทุกๆ ระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการบังสายตาจึงทำให้เกิดการกระจายแสงได้มากขึ้น

จากการวิเคราะห์ในเบื้องต้นสามารถเป็นตัวกำหนดการออกแบบรูปแบบ Light Shelve เพื่อทำการทดลองวัดการกระจายแสงและนำมาวิเคราะห์สรุปผลว่ารูปแบบใดมีการกระจายแสงได้ลึกและมีประสิทธิภายสูงสุดสำหรับห้องเรียน

6.4.3 ขั้นตอนในการทดสอบการกระจายแสงของห้องเรียนและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้

1. ทำการทดลองวัดการกระจายแสงและเก็บข้อมูลของ Light Shelve
2. นำข้อมูลการกระจายแสงที่ได้มาทำการหาค่า Daylight Factor

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

3. นำค่า Daylight Factor มาลบกับค่าของกระจกที่เลือกใช้ (Transmittance) และค่าการทำความสะอาด (Dirty Factor) เมื่อใช้กระกระใสหนา 6 มม. และทำความสะอาดทุกๆ 1 เดือน

Transmittance = 0.88

Dirty Factor = 0.90

4. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า Daylight Factor ของ Light Shelve แบบต่างๆ โดยค่ามาตราฐานของ Daylight Factor เท่ากับ 2 % หรือคิดเป็นค่าความสว่างภายใน 500 Lux ส่วนค่าความสว่างภายนอก 25,000 Lux เพื่อเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละแบบ

$$500 \times 100 / 2\ \% = 25{,}000\ \text{Lux}$$

เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า Daylight Factor 2% ไม่สามารถนำมาเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบได้เพราะว่าเป็นค่าเฉลี่ยที่น้อยไป จึงใช้ค่าเฉลี่ย 2.5 % เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์หาข้อสรุป

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าความสว่างภายนอกและค่า Daylight Factor

ค่าความสว่างภายนอก (Lux)	DF (%)	ค่าความสว่างภายนอก (Lux)	DF (%)	ค่าความสว่างภายนอก (Lux)	DF (%)
0	0.00	45,000	1.11	90,000	0.56
5,000	10.00	50,000	1.00	95,000	5.26
10,000	5.00	55,000	0.91	100,000	0.50
15,000	3.33	60,000	0.83	105,000	0.48
20,000	2.50	65,000	0.77	110,000	0.45
25,000	2.00	70,000	0.71	115,000	0.43
30,000	1.67	75,000	0.67	120,000	0.42
35,000	1.43	80,000	0.63	125,000	0.40
40,000	1.25	85,000	0.59	130,000	0.38

5. เมื่อได้แบบ Light Shelve ที่ทำการวิเคราะห์แล้วจึงทำการคำนวณหาเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้ได้ภายใน 1 ปี มีขั้นตอนดังนี้

A หาค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor แถวในสุดจากขอบหน้าต่างมาโดยการคำนวณหาค่าความส่องสว่างภายนอกจากสูตรดังนี้

500 × 100 / DF = **ค่าความส่องสว่างภายนอก** (Lux)

เมื่อ 500 คือ ค่ามาตราฐานความส่องสว่างภายใน (Lux)

DF คือ ค่า Daylight Factor (%)

B นำค่าความส่องสว่างภายนอกที่หาได้ มาทำการคำนวณหาเปอร์เซนต์โดยวิเคราะห์จากตารางของค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux) และสรุปผลว่าสามารถใช้ห้องเรียนจากแสงธรรมชาติโดยวิธี Light Shelve ได้กี่เปอร์เซนต์ของ 1 ปี และนำมาลบกับช่วงเวลาที่ปิดภาคเรียนดังนี้

- ช่วงปิดภาคเรียนที่หนึ่ง วันที่ 1 มีนาคม – 15 พฤษภาคม = 76 วัน
- ช่วงปิดภาคเรียนที่สอง วันที่ 1 ตุลาคม – 31 ตุลาคม = 31 วัน

รวมช่วงเวลาที่ปิดภาคเรียน = 107 วัน

ตารางที่ 6.6 แสดงจำนวนวันที่ใช้ห้องเรียนต่อเดือน

เดือน	จำนวนวนเวลาใช้ห้องเรียน (วัน)	จำนวนเวลาไม่ใช้ห้องเรียน (วัน)	เดือน	จำนวนวนเวลาใช้ห้องเรียน (วัน)	จำนวนเวลาไม่ใช้ห้องเรียน (วัน)
1. มกราคม	31	-	7. กรกฎาคม	31	-
2. กุมภาพันธ์	28	-	8. สิงหาคม	31	-
3. มีนาคม	-	31	9. กันยายน	30	-
4. เมษายน	-	30	10. ตุลาคม	-	31
5. พฤษภาคม	16	15	11. พฤษจิกายน	30	-
6. มิถุนายน	30	-	12. ธันวาคม	31	-

ดังนั้นภายใน 1 ปี ต้องใช้ห้องเรียนเป็นเวลา 258 วัน และไม่ได้ใช้ห้องเรียน 107 วัน

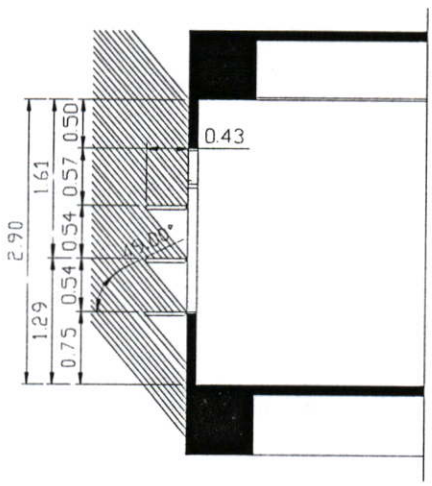
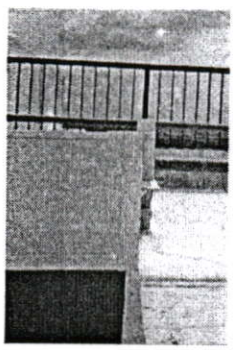
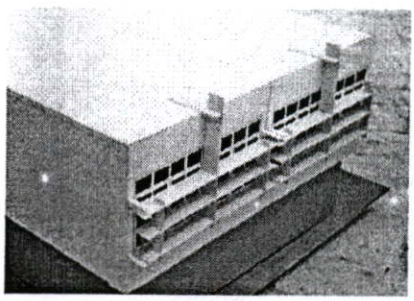
6. ทำการสรุปผลโดยเสนอรูปแบบกราฟทั้ง 12 เดือน ให้เห็นภาพรวมว่าแต่ละเดือนสามารถใช้แสงธรรมชาติจากการสะท้อนแสงของ Light Shelve ได้ในช่วงเวลาใด

6.4.4 การวิเคราะห์ออกแบบ Light Shelve แบบม่านสะท้อนแสง

การวิเคราะห์ออกแบบ Light Shelve แบบม่านสะท้อนแสงเพื่อทำการทดลอง โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- สามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติได้ประสิทธิภาพสูงสุด
- มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอ
- ประหยัดค่าใช้จ่าย โดยมีความกว้างของ Light Shelve น้อยที่สุด

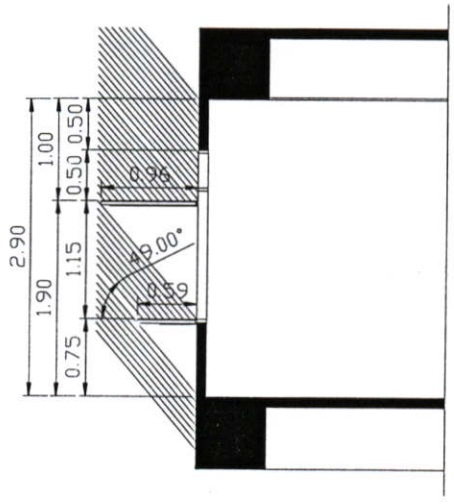
ตารางที่ 6.7 แสดงรูปแบบของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดลอบการกระจายแสง

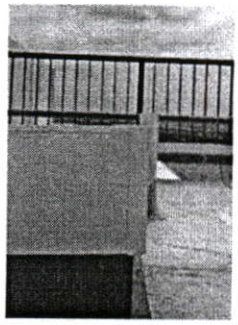
รูปแบบ Light Shelve แบบ A แบบ 3 ชั้น ความยาว 1.29 เมตร	
	 

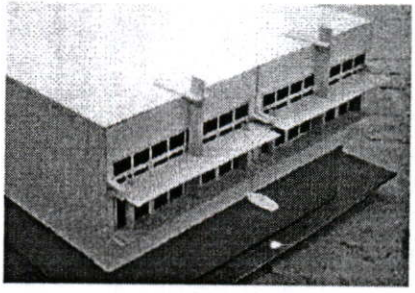
ตารางที่ 6.7 แสดงรูปแบบของ Light Shelve แบบ B และ C ที่ใช้ในการทดลองบกากระจายแสง (ต่อ)

รูปแบบ Light Shelve แบบ B

แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.55 เมตร

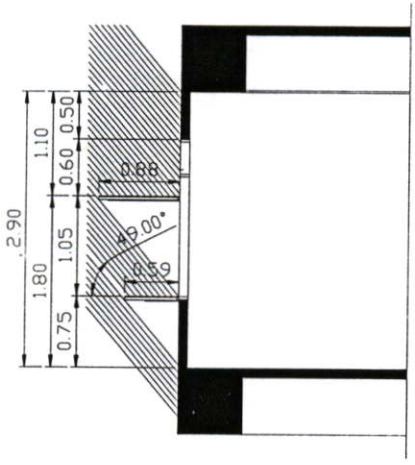


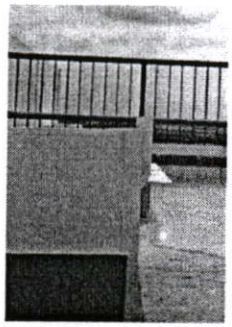


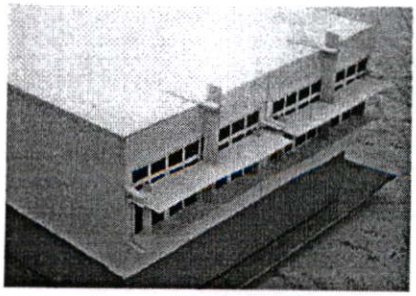


รูปแบบ Light Shelve แบบ C

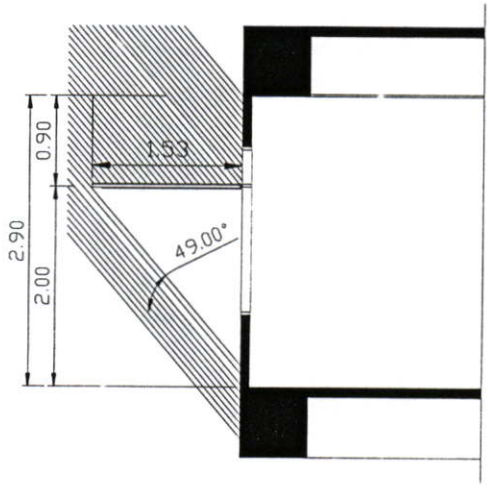
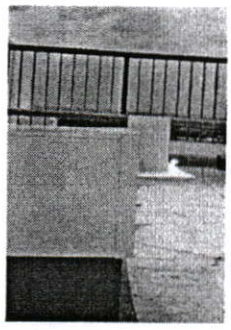
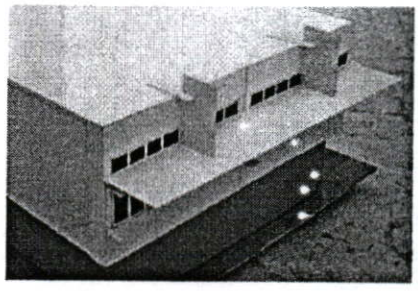
แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.45 เมตร







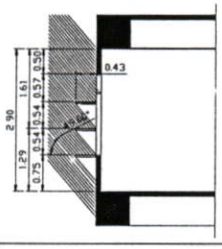
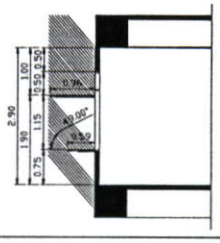
ตารางที่ 6.7 แสดงรูปแบบของ Light Shelve แบบ D ที่ใช้ในการทดลอบการกระจายแสง (ต่อ)

รูปแบบ Light Shelve แบบ D แบบ 1 ชั้น ความยาว 1.53 เมตร	
	 

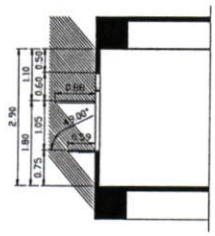
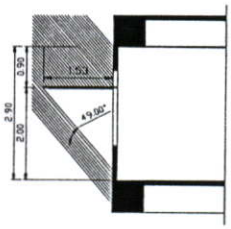
6.4.5 การวิเคราะห์และทดลองวัดการกระจายแสงของรูปแบบ Light Shelve

จากผลการทดลองวัดการกระจายแสงของรูปแบบ Light Shelve ทั้ง 4 รูปแบบ ในห้องเรียนของวันที่ 21 – 23 มิถุนายน พ.ศ.2545 เวลา 13.00 น. ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) ซึ่งจะทำการทดลองตามข้อที่ 6.4.3 ในหัวข้อที่ 1 – 3 แล้วจึงวิเคราะห์ออกมาเป็นค่า Daylight Factor ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อนี้

ตารางที่ 6.8 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปแบบ Light Shelve แบบ A และ B

	รูปแบบ Light Shelve แบบ A แบบ 3 ชั้น ความยาว 1.29 เมตร	รูปแบบ Light Shelve แบบ B แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.55 เมตร
เวลา 13.00 น.		
วันที่ 21 มิถุนายน 2545	4.00 2.68 2.57 1.92 1.86 1.53 4.00 2.66 2.47 1.88 1.81 1.48 3.99 2.64 2.32 1.82 1.59 1.43 3.54 2.61 2.29 1.81 1.62 1.41 3.53 2.45 2.37 1.75 1.71 1.35 3.95 2.67 2.29 1.70 1.61 1.30 4.10 2.67 2.22 1.65 1.39 1.22 3.77 2.55 2.14 1.64 1.38 1.21	4.46 3.05 2.84 2.13 2.05 1.65 4.54 3.03 2.74 2.08 1.96 1.59 4.54 2.92 2.54 1.97 1.70 1.48 3.98 2.93 2.52 1.94 1.73 1.45 4.29 3.07 2.83 2.83 2.00 1.60 4.89 3.29 2.76 2.76 1.88 1.54 5.17 3.35 2.64 2.64 1.64 1.41 4.95 3.15 2.56 2.56 1.64 1.39
วันที่ 22 มิถุนายน 2545	4.02 3.04 2.57 2.08 1.92 1.62 3.76 2.90 2.34 1.96 1.75 1.53 3.75 2.74 2.20 1.84 1.60 1.43 3.18 2.74 2.16 1.83 1.57 1.42 3.36 2.74 2.45 1.90 1.88 1.53 3.68 2.84 2.29 1.84 1.65 1.45 3.91 2.84 2.22 1.76 1.51 1.33 3.77 2.82 2.09 1.75 1.45 1.31	4.53 3.34 2.93 2.29 2.03 1.74 4.34 3.28 2.67 2.18 1.89 1.68 4.32 3.14 2.55 2.07 1.83 1.64 3.62 3.12 2.47 2.05 1.80 1.62 4.68 3.56 2.81 2.23 2.00 1.71 5.06 3.70 2.68 2.18 1.85 1.65 5.30 3.72 2.71 2.15 1.79 1.58 4.91 3.70 2.57 2.14 1.75 1.57
วันที่ 23 มิถุนายน 2545	3.85 2.81 2.40 1.93 1.72 1.51 3.85 2.82 2.30 1.92 1.66 1.51 3.99 2.79 2.32 1.92 1.65 1.50 3.42 2.66 2.36 1.87 1.68 1.46 4.35 3.17 2.59 2.03 1.83 1.56 4.86 3.51 2.57 2.07 1.76 1.55 5.33 3.62 2.61 2.03 1.72 1.49 5.09 3.23 2.44 1.83 1.66 1.37	4.83 3.36 2.76 2.16 1.89 1.59 4.91 3.42 2.66 2.17 1.78 1.59 5.02 3.43 2.66 2.20 1.77 1.61 4.30 3.23 2.68 2.11 1.78 1.54 4.71 3.51 2.85 2.22 2.00 1.69 5.23 3.82 2.82 2.26 1.90 1.67 5.76 3.95 2.91 2.28 1.84 1.63 5.52 3.52 2.73 2.05 1.76 1.48

ตารางที่ 6.8 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปแบบ Light Shelve แบบ C และ D (ต่อ)

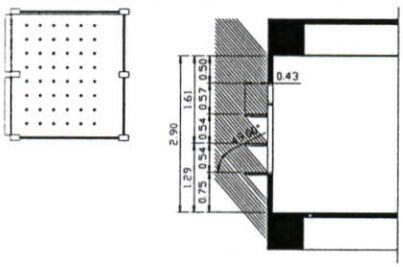
	รูปแบบ Light Shelve แบบ C แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.45 เมตร	**รูปแบบ Light Shelve แบบ D** แบบ 1 ชั้น ความยาว 1.53 เมตร
เวลา 13.00 น.		
วันที่ 21 มิถุนายน 2545	5.03 3.77 2.82 2.15 2.08 1.71 5.06 3.77 2.72 2.11 2.03 1.68 5.02 3.68 2.60 2.04 1.85 1.60 4.37 3.65 2.56 2.01 1.88 1.59 4.40 3.43 2.93 2.20 2.08 1.65 5.09 3.72 2.90 2.17 1.92 1.59 5.32 3.80 2.84 2.13 1.72 1.47 4.94 3.68 2.73 1.96 1.69 1.28	5.30 4.41 3.48 2.76 2.35 1.96 5.18 4.39 3.34 2.68 2.24 1.92 5.32 4.33 3.24 2.60 2.06 1.85 4.64 4.30 3.22 2.59 2.07 1.82 5.07 4.00 3.25 2.41 2.25 1.85 5.49 4.33 3.23 2.43 2.12 1.81 5.77 4.47 3.26 2.44 1.98 1.73 5.05 4.40 3.14 2.28 1.97 1.72
วันที่ 22 มิถุนายน 2545	5.14 3.77 2.83 2.28 2.06 1.75 5.01 3.76 2.62 2.19 1.92 1.67 5.02 3.62 2.54 2.12 1.80 1.59 4.30 3.61 2.50 2.03 1.78 1.57 4.87 3.73 2.87 2.22 2.09 1.76 5.30 3.94 2.73 2.18 1.95 1.69 5.64 4.01 2.76 2.16 1.85 1.59 5.21 4.00 2.63 2.13 1.81 1.57	5.34 4.09 3.25 2.54 2.15 1.86 5.19 4.06 3.02 2.46 2.04 1.80 5.29 4.01 2.89 2.34 1.97 1.75 4.72 3.99 2.83 2.32 1.97 1.71 5.33 4.21 3.22 2.58 2.22 1.83 5.74 4.48 3.08 2.50 2.03 1.76 6.06 4.53 3.11 2.48 1.89 1.66 5.84 4.51 2.96 2.47 1.84 1.64
วันที่ 23 มิถุนายน 2545	5.16 3.54 2.82 2.13 2.02 1.61 5.30 3.62 2.74 2.13 1.96 1.60 5.15 3.58 2.55 2.07 1.69 1.55 4.45 3.40 2.60 2.00 1.75 1.52 4.80 3.48 3.10 2.30 2.28 1.78 5.41 3.95 3.16 2.36 2.16 1.77 6.07 4.18 3.06 2.32 1.89 1.66 5.83 3.70 2.90 2.08 1.82 1.52	5.40 3.91 3.31 2.52 2.24 1.86 5.30 3.94 3.10 2.46 2.20 1.84 5.27 3.92 2.84 2.37 1.94 1.79 4.64 3.80 2.86 2.26 2.00 1.73 4.99 3.90 3.56 2.69 2.47 1.97 5.50 4.39 3.60 2.72 2.37 1.95 5.90 4.66 3.46 2.66 2.07 1.81 5.97 4.17 3.25 2.38 1.99 1.66

จากการทดสอบวัดการกระจายแสงของ Light Shelve ทั้ง 4 รูปแบบ ได้ทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ในแต่ละแบบเพื่อหาข้อสรุปว่ารูปแบบใดมีประสิทธิภาพสูงสุดคือสามารถกระจายแสงได้ลึกที่สุดและยังคงความสม่ำเสมอของแสงสว่างได้ โดยใช้ค่าเฉลี่ย Daylight Factor 2.5% (ค่าความส่องสว่างภายนอก = 20,000 Lux) เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

ตารางที่ 6.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 2.5 % ของรูปแบบ Light Shelve แบบ A,B,C, และ D ของวันที่ 26 มิย 45

รูปแบบ A

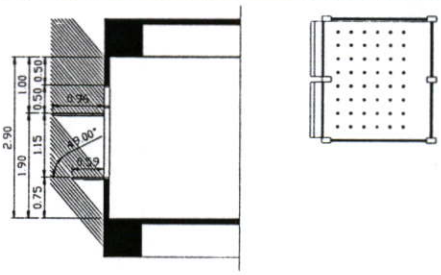
แบบ 3 ชั้น ความยาว 1.29 เมตร



ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง		ค่า Daylight Factor (%)					
A	B	C	D	E	F			A	B	C	D	E	F
4.02	3.04	2.57	2.08	1.92	1.62	1		4.53	3.34	2.93	2.29	2.03	1.74
3.76	2.90	2.34	1.96	1.75	1.53	2		4.34	3.28	2.67	2.18	1.89	1.68
3.75	2.74	2.20	1.84	1.60	1.43	3		4.32	3.14	2.55	2.07	1.83	1.64
3.18	2.74	2.16	1.83	1.57	1.42	4		3.62	3.12	2.47	2.05	1.80	1.62
3.36	2.74	2.45	1.90	1.88	1.53	5		4.68	3.56	2.81	2.23	2.00	1.71
3.68	2.84	2.29	1.84	1.65	1.45	6		5.06	3.70	2.68	2.18	1.85	1.65
3.91	2.84	2.22	1.76	1.51	1.33	7		5.30	3.72	2.71	2.15	1.79	1.58
3.77	2.82	2.09	1.75	1.45	1.31	8		4.91	3.70	2.57	2.14	1.75	1.57
3.68	2.83	2.29	1.87	1.67	1.45	ค่าเฉลี่ย / แถว		4.59	3.45	2.67	2.16	1.87	1.65
2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)		2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
8	8	1	0	0	0	17	ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 22	8	7	7	0	0	0

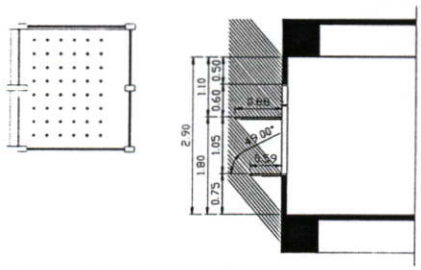
รูปแบบ B

แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.55 เมตร



รูปแบบ C

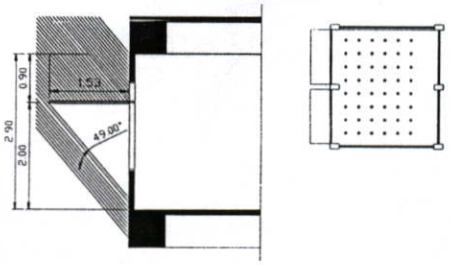
แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.45 เมตร



ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง		ค่า Daylight Factor (%)					
A	B	C	D	E	F			A	B	C	D	E	F
5.14	3.77	2.83	2.28	2.06	1.75	1		5.34	4.09	3.25	2.54	2.15	1.86
5.01	3.76	2.62	2.19	1.92	1.67	2		5.19	4.06	3.02	2.46	2.04	1.80
5.02	3.62	2.54	2.12	1.80	1.59	3		5.29	4.01	2.89	2.34	1.97	1.75
4.30	3.61	2.50	2.03	1.78	1.57	4		4.72	3.99	2.83	2.32	1.97	1.71
4.87	3.73	2.87	2.22	2.09	1.76	5		5.33	4.21	3.22	2.58	2.22	1.83
5.30	3.94	2.73	2.18	1.95	1.69	6		5.74	4.48	3.08	2.50	2.03	1.76
5.64	4.01	2.76	2.16	1.85	1.59	7		6.06	4.53	3.11	2.48	1.89	1.66
5.21	4.00	2.63	2.13	1.81	1.57	8		5.84	4.51	2.96	2.47	1.84	1.64
5.06	3.81	2.68	2.16	1.91	1.65	ค่าเฉลี่ย / แถว		5.44	4.23	3.05	2.46	2.01	1.74
2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)		2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
8	8	8	0	0	0	24	ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 27	8	8	8	0	0	0

รูปแบบ D

แบบ 1 ชั้น ความยาว 1.53 เมตร



ตารางที่ 6.10 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของรูปแบบ Light Shelve แบบ A,B,C,D เข้าสู่หุ่นจำลอง

Light Shelve	ระยะจากหน้าต่าง (เมตร)						รวม
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	
รูปแบบ A แบบ 3 ชั้น ความยาว 1.29 เมตร	8	8	1	0	0	0	17
รูปแบบ B แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.55 เมตร	8	7	7	0	0	0	22
รูปแบบ C แบบ 2 ชั้น ความยาว 1.45 เมตร	8	8	8	0	0	0	24
รูปแบบ D แบบ 1 ชั้น ความยาว 1.53 เมตร	8	8	8	3	0	0	27

จากตารางด้านบนจะพบว่าการกระจายแสงธรรมชาติของรูปแบบ Light Shelve ทั้ง 4 รูปแบบ การกระจายแสงธรรมชาติในช่วง 1.00 เมตร แรก มีการกระจายแสงค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในส่วนที่ลึกเข้ามามีการกระจายแสงได้น้อย **แต่ Light Shelve แบบ D มีการกระจายแสงได้มากกว่ารูปแบบอื่นๆ** และรูปแบบ B กับ C การกระจายแสงใกล้เคียงกัน ส่วนรูปแบบที่ A มีการกระจายแสงได้น้อยที่สุด **ดังนั้นจึงเลือกรูปแบบ Light Shelve แบบที่ D มาใช้เพื่อทำการทดสอบและพัฒนาต่อไป**

6.4.6 การวิเคราะห์สรุปผลรูปแบบ Light Shelve แบบ D ขนาด 1.53 เมตร

การคำนวนหาเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้รูปแบบ Light Shelve แบบ D ขนาด 1.53 เมตร ได้ต่อปีโดยนำมาลบกับจำนวนช่วงเวลาที่ปิดภาคเรียนดังนี้

- ช่วงปิดภาคเรียนที่หนึ่ง วันที่ 1 มีนาคม – 15 พฤษภาคม = 76 วัน
- ช่วงปิดภาคเรียนที่สอง วันที่ 1 ตุลาคม – 31 ตุลาคม = 31 วัน

รวมช่วงเวลาที่ปิดภาคเรียน = 107 วัน

การใช้แสงสว่างธรรมชาติในห้องเรียนทั่วไปเริ่มตั้งแต่เวลา 8.00 – 15.00 น.

ใน 1 วัน ต้องใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ = 8 ชั่วโมง

ใน 1 ปี (365 วัน)ต้องใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ = 2,920 ชั่วโมง

นำมาลบกับช่วงเวลาที่ปิดภาคเรียน 856 ชั่วโมง = 2,064 ชั่วโมง

(107 วัน × 8 ชั่วโมง = 749 ชั่วโมง)

จากตารางปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยรายวัน ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) พบว่ามีความไม่สมบูรณ์ในการเก็บข้อมูลของค่าปริมาณแสงสว่างภายนอกเป็นจำนวนมากในบางเดือน ซึ่งแสดงออกมาเป็นจำนวนตัวเลขศูนย์ และจากการวิเคราะห์ค่าความสว่างภายนอกเฉลี่ยเวลา 08.00 – 15.00 น. พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียนได้โดยผ่านการสะท้อนจาก Light Shelve คือมากกว่าเกณฑ์มาตราฐานกำหนดของการส่องสว่างภายในห้องเรียนคือ 500 Lux หรือค่าความส่องสว่างภายนอก 22,728 Lux

DF 2.20 * 22,728 / 100 = 500 Lux **(เกณฑ์มาตราฐานกำหนด)**

ดังนั้นจึงทำการประมวลผลโดยพิจารณาข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์เป็นค่าระดับที่มากกว่า 22,728 Lux และทำการวิเคราะห์สรุปผลหาเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้แสงธรรมชาติโดยการสะท้อนผ่าน Light Shelve พิจารณาว่าใช้ได้กี่เปอร์เซนต์ภายใน 1 ปี

ตารางที่ 6.11 แสดงจำนวนข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ที่แสดงออกมาเป็นเลขศูนย์ของปริมาณแสงสว่างภายนอกในเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time)

เดือน	จำนวนเลขศูนย์	เดือน	จำนวนเลขศูนย์
1 มกราคม	52	7 กรกฎาคม	30
2 กุมภาพันธ์	9	8 สิงหาคม	3
3 มีนาคม	3	9 กันยายน	0
4 เมษายน	93	10 ตุลาคม	32
5 พฤษภาคม	16	11 พฤษจิกายน	115
6 มิถุนายน	16	12 ธันวาคม	0

ทำการวิเคราะห์สรุปผลหาค่าความส่องสว่างภายนอกและหาเปอร์เซนต์ของรูปแบบ Light Shelve แบบ D ที่สามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี โดยเลือกแถวในสุด คือระยะห่างจากขอบหน้าต่าง 6.00 เมตร เป็นเกณฑ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

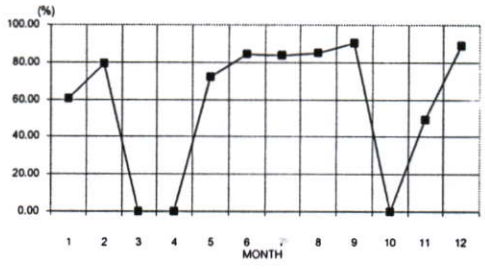
มีค่า Daylight Factor = **1.74 %**

มีค่าความส่องสว่างภายนอก = **28,735 Lux**

(500*100) / 1.74 = 28,735 Lux

ตารางที่ 6.12 แสดงเปอร์เซนต์ของรูปแบบ Light Shelve แบบ D ขนาด 1.53 เมตร ที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

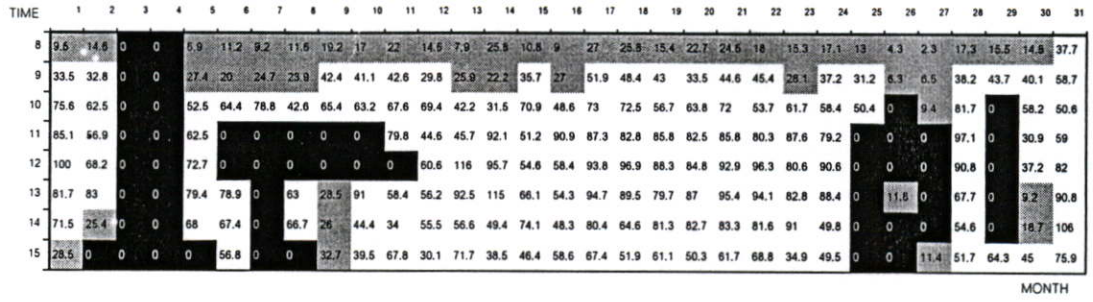
เดือน	จำนวนเวลาทั้งหมด (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ไม่ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเปอร์เซ็นต์ (%)	กราฟแสดงเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้งานได้ / เดือน
1	248	47	201	81.05	
2	224	37	187	83.48	
3	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	
5	128	20	108	84.38	
6	240	22	218	90.83	
7	248	10	238	95.97	
8	248	34	214	86.29	
9	240	24	216	90.00	
10	-	-	-	-	
11	240	7	233	97.08	
12	248	27	221	89.11	
1ปี	2,064	228	1,836	88.69	



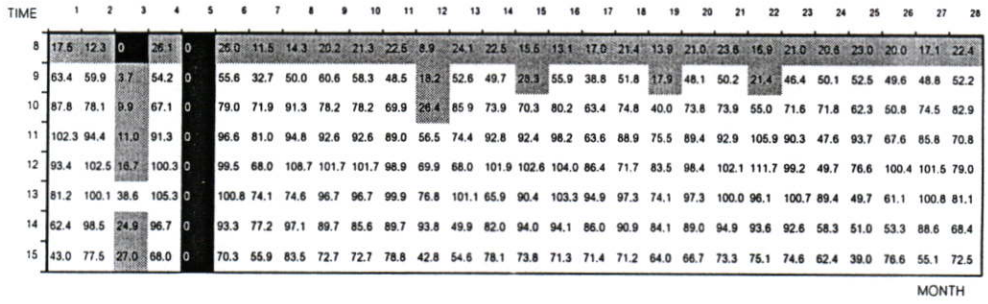
จากการวิเคราะห์และคำนวณผลโดยเปรียบเทียบกับสถิติปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ยรายวัน ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) พบว่าภายใน 1 ปี สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติโดยวิธีการสะท้อนแสงจากรูปแบบ Light Shelve แบบ D ขนาด 1.53 เมตร ได้ 88.69 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี หรือ 1,836 ชั่วโมงของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

รูปที่ 6.7 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปแบบ Light Shelve ขนาด1.53 ม. ที่น้อยกว่า 28.735 Klux ในเดือนมกราคม - เมษายน

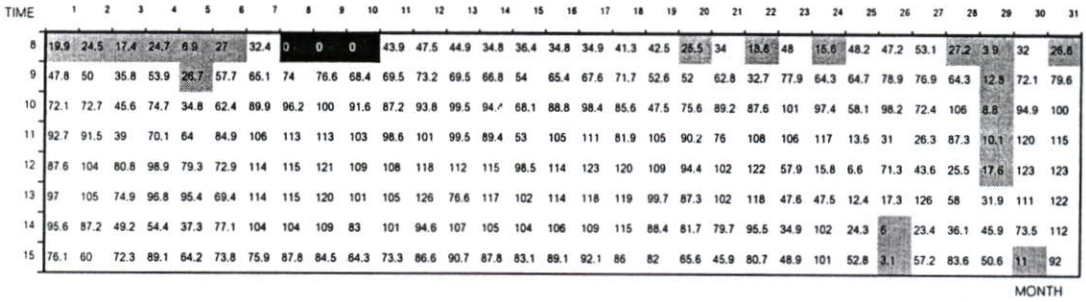
เดือนมกราคม



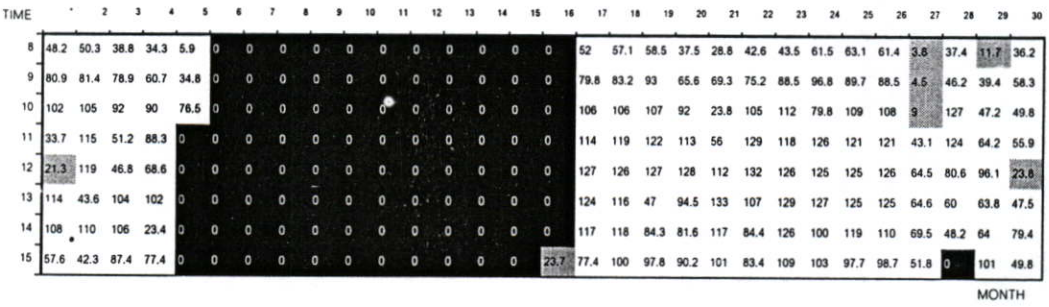
เดือนกุมภาพันธ์

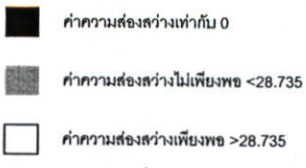


เดือนมีนาคม



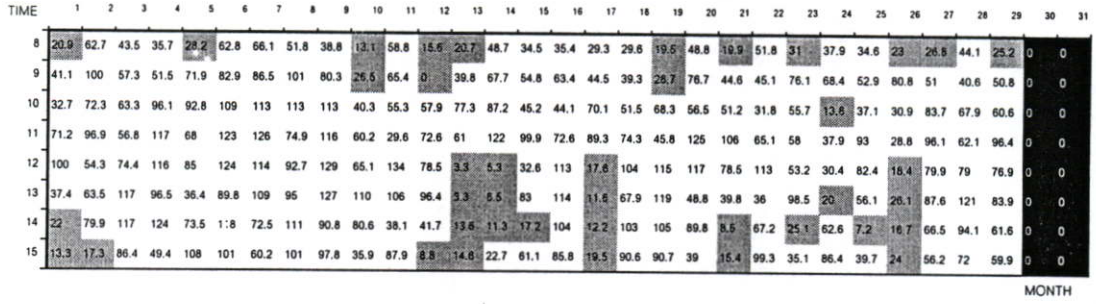
เดือนเมษายน



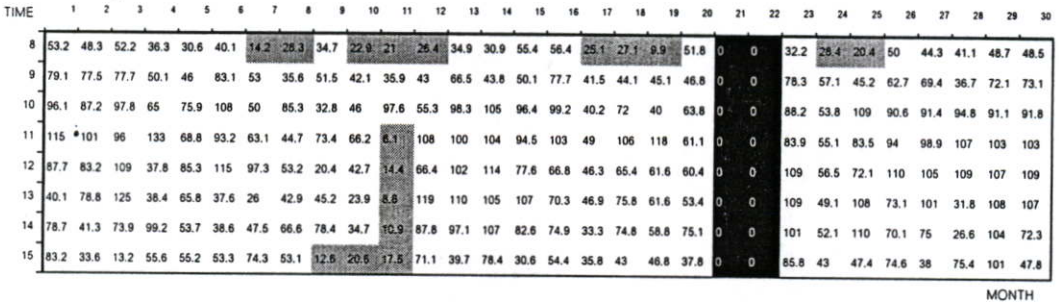


รูปที่ 6.7 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปแบบ Light Shelve ขนาด 1.53 ม. ที่น้อยกว่า 28.735 Klux ในเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม (ต่อ)

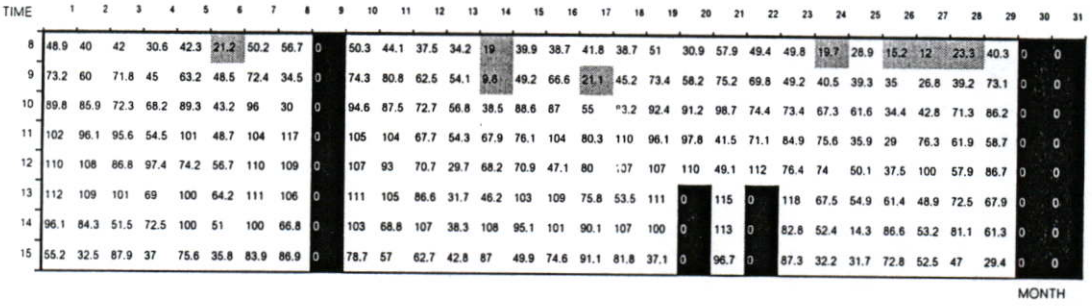
เดือนพฤษภาคม



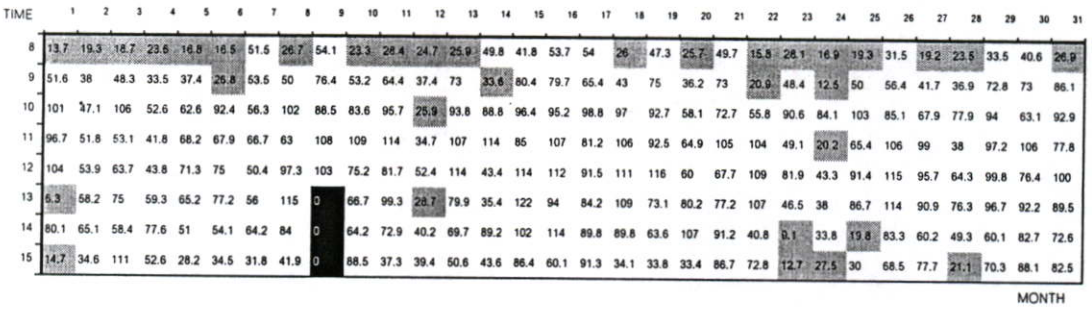
เดือนมิถุนายน

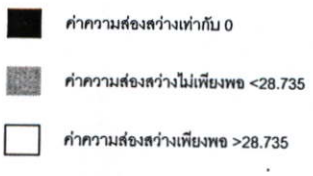


เดือนกรกฎาคม



เดือนสิงหาคม





รูปที่ 6.7 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปแบบ Light Shelve ขนาด 1.53 ม. ที่น้อยกว่า 28.735 Klux ในเดือนกันยายน - ธันวาคม (ต่อ)

เดือนกันยายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.4	42.5	43.5	11.8	53.8	35.4	3.4	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	8.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.5	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	6.9	6	29.5	39.8	22.1	79.3

MONTH

เดือนตุลาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	28.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.6	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	6.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

MONTH

เดือนพฤษจิกายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	14.5	0	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.8	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.8	34.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

MONTH

เดือนธันวาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	14.6	10.5	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	11.4	13.9	8.1	16.6	29.8	29	26.3	30.9	23.9	24.3	26.2	11.5	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	6.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <28.735

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >28.735

6.5 การวิเคราะห์เลือกลักษณะสีและผิวสัมผัสของของวัสดุที่เหมาะสม

โดยนำรูปแบบ B (ความยาว 1.53 เมตร) ที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา ทำการศึกษาและทดลองเพื่อหาลักษณะผิวสัมผัสและสีของ Light Shelve ดูได้จากตารางที่ 3.7 ที่แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ และทำการศึกษาหาลักษณะสีและผิวสัมผัสที่มีการกระจายแสงได้มากกว่าผิวสัมผัสเดิมแล้วทำการทดลองเปรียบเทียบวัสดุชนิดต่างๆ กัน

การเปรียบเทียบค่าการกระจายแสงของวัสดุ

ตารางที่ 6.13 แสดงค่าตัวประกอบการสะท้อนแสงของสีและวัสดุ

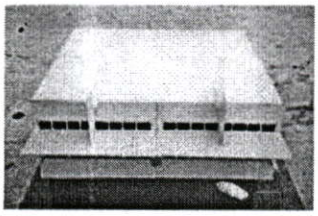
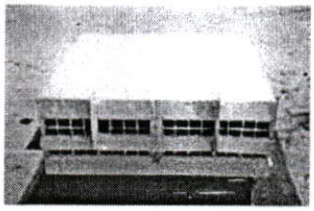
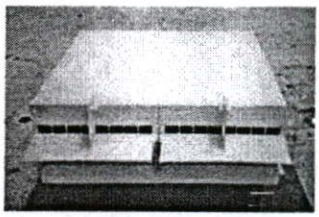
Material	Reflectance (%)		Material	Reflectance (%)	
1 สีขาวขานอ้อย	65		20 สีเงินด้าน+พื้นผิวลายตารางนูนเว้า (pp 8008)	67	■ ■
2 สีขาวธรรมดา	75		21 สีเงินด้าน+พื้นผิวลายตารางเว้า (pp 8010)	60	■ ■
3 สีขาวเคลือบเงา	85		22 สีเงินด้าน+พื้นผิวลายตารางนูน (pp 8009)	70	■ ■
4 Alucobond (สีขาว)	76		23 สีเงินด้าน+พื้นผิวลายจุดนูนห่างกัน (pp 8000)	68	■
5 Alucobond (สีเงินสะท้อนแสง)	50				
6 Aluminium (สีธรรมดา)	48		24 สีเงินด้าน+พื้นผิวเจาะรู (pp 8013)	50	
7 Aluminium (สีเทา)	45				
8 Stainless (Miror)	36		25 สีเงินด้าน+พื้นผิวลายจุดนูนถี่ (pp 8011)	62	
9 Stainless (Hairline)	46				
10 Metal Sheet (แผ่นเรียบ)	53		26 สีเงินด้าน+พื้นผิวลายวงรีนูน (pp 8012)	49	
11 สีเงินเรียบ (pp 8002)	68	■	27 สีเงินสะท้อนแสง (pp 8003)	92	■
12 สีเงินเรียบมัน (6253T-G Alu Silver)	67	□			
13 สีเงินขัดเป็นเส้น(pp 8951 MB)	72	■			
13 สีเงินด้านมีลายเล็ก (S6501)	46	□	28 สีทองขัดเป็นเส้น (pp 8952 MB)	64	■
14 สีเงินวาวลายวงกลมเล็ก (pp 8005)	61	■	29 สีทองด้าน (6254)	46	□
15 สีเงินวาวลายเส้น (pp 8006)	70	■			
16 สีเงินวาวลายวงกลมใหญ่ (pp 8007	77	■	30 สีทองสะท้อนแสง (pp 8004)	87	■
17 สีทองแดงสะท้อนแสง (6285)	60	□	31 สีแดงอ่อนเรียบมัน (6254T-G Alu Rosen)	60	□ □
18 สีทองทองแดงสะท้อนแสง + พื้นผิวลายขรุขระ (6287)	53	□	32 สีแดงอ่อนเรียบ (6254T-S Satin Alu Rosen)	73	□ □
19 สีทองแดงด้าน (6284)	52	□	33 สีเขียวอ่อนเรียบมัน (6255T-G Alu Turkis)	62	
			34 สีเขียวอ่อนเรียบ (6255T-S Satin Alu Turkis)	69	

■ = Perstorp Surface Materials

□ = Wilsonart Laminate

วัสดุที่ใช้ทำการทดลองที่ผ่านมาคือ วัสดุสีขาว (กระดาษชานอ้อย) มีค่า Daylight Factor เท่ากับ 65 % ซึ่งสามารถสะท้อนแสงโดยวิธี Light Shelve เข้ามาในห้องเรียนได้เพียง 4.00 เมตร แต่ความต้องการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ต้องการให้สะท้อนเข้ามาในส่วนลึกที่สุดคือ 6.00 เมตร ดังนั้นจึงเลือกสีและวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้น โดยนำค่าจากตารางที่ 6.13 ที่ได้ทำการทดลองวัดการสะท้อนแสง และพบว่าค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่มากที่สุดได้แก่ สีเงินสะท้อนแสง รองลงมาคือสีทองสะท้อนแสง และสีขาวเคลือบเงา ซึ่งมีค่าการสะท้อนเท่ากับ 92% , 87% , และ 85% ตามลำดับ **ดังนั้นจึงเลือกวัสดุสีเงินสะท้อนแสงและสีขาวเคลือบเงามาใช้เพื่อทำการทดลองต่อไป**

ตารางที่ 6.14 แสดงการเปรียบเทียบสีของ Light Shelve

สีขาวชานอ้อย Reflectance : 65 %	**สีเงินสะท้อนแสง** Reflectance : 92 %	**สีขาวเคลือบเงา** Reflectance : 85 %
		

6.6 การวิเคราะห์ขนาดความลึกและสีของ Light Shelve ที่เหมาะสม

โดยนำรูปแบบ B ที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา ทำการศึกษาและทดลองเพื่อหาความลึกและรูปทรงต่อไป โดยขั้นแรกทำการศึกษาหาขนาดความลึกของ Light Shelve และทำการวิเคราะห์ว่าขนาดความลึกแบบใดมีการกระจายแสงได้ลึกที่สุด หากความลึกที่ได้มีแสงสะท้อนเข้ามาในห้องเรียนไม่เพียงพอจึงทำการทดลองขั้นต่อไป โดยนำขนาดความลึกที่วิเคราะห์ได้มาทำกาทดลองหารูปทรงของ Light Shelve ต่อไป

6.6.1 การวิเคราะห์ออกแบบความลึกและสีของ Light Shelve

การวิเคราะห์ออกแบบขนาดความลึกและสีของ Light Shelve เพื่อทำการทดลอง โดยคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- สามารถเพิ่มระยะความลึกของแสงธรรมชาติได้ลึกถึงข้างในสุดของห้องเรียน
- มีขนาดความลึกของ Light Shelve น้อยที่สุดแต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการกระจายแสง
- มีความแข็งแรงทนทานและมีอายุการใช้งานได้นาน
- กันน้ำและกันความชื้นได้ดี
- หาซื้อได้ง่าย และราคาประหยัด
- ค่าบำรุงรักษาต่ำ

ทำการทดลองเพื่อนำมาเปรียบเทียบขนาดความลึกและสีเงินสะท้อนแสงกับสีขาวเคลือบเงา ว่าแบบใดเหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากความลึกที่น้อยที่สุดแต่มีการกระจายแสงได้ดีที่สุด เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายซึ่งทำการทดลองขนาดความลึกแบบต่างๆ ดังนี้

A ความลึกของ Light Shelve แบบแรก (สีเงินสะท้อนแสง) = 1.53 เมตร

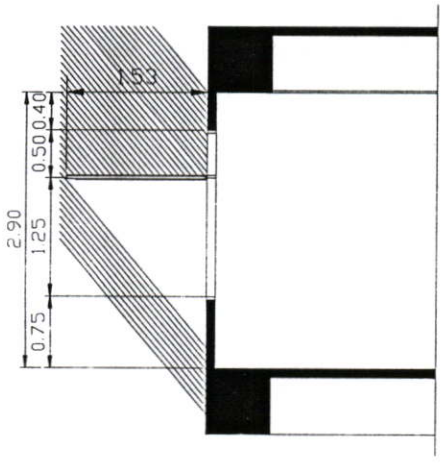
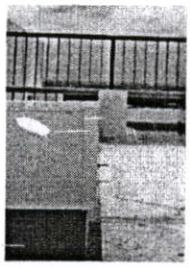
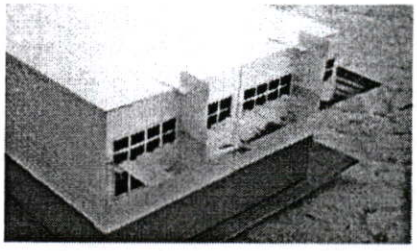
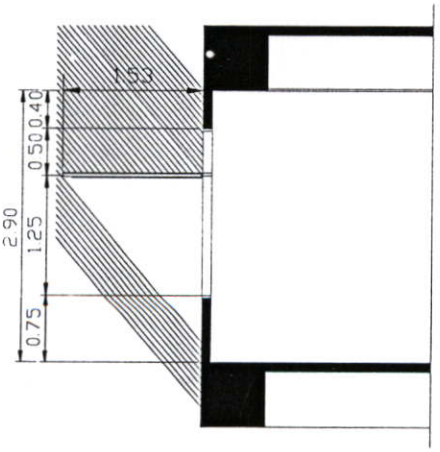
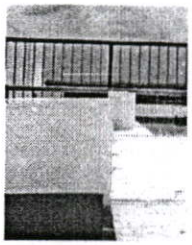
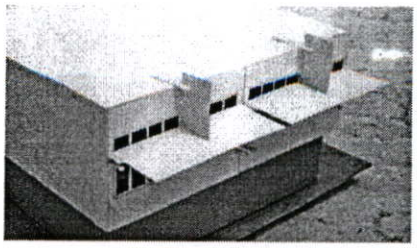
B ความลึกของ Light Shelve แบบแรก (สีขาวเคลือบเงา) = 1.53 เมตร

C ความลึกของ Light Shelve สั้นกว่าแบบแรก 11/14 (สีขาวเคลือบเงา)= 1.20 เมตร

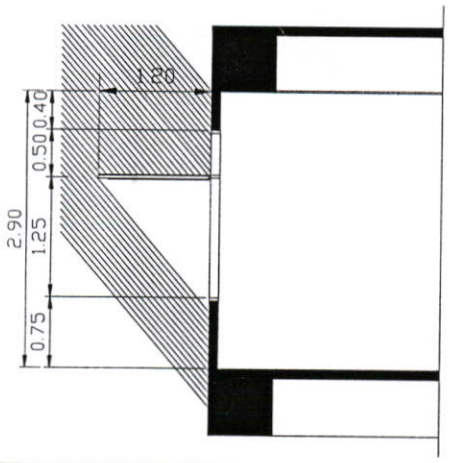
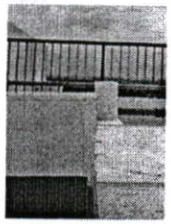
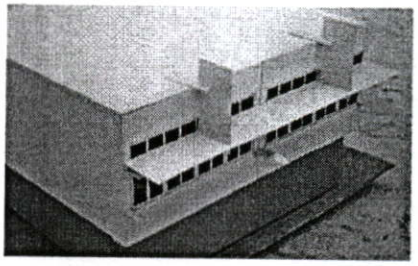
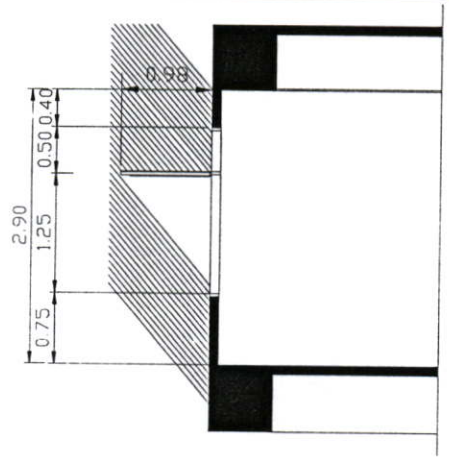
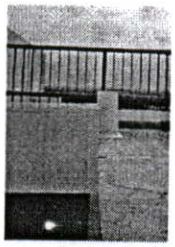
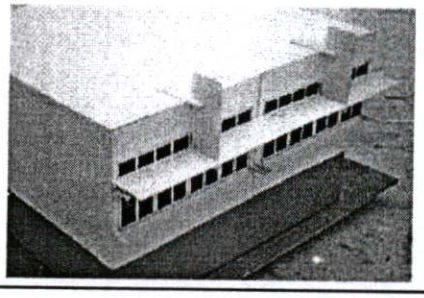
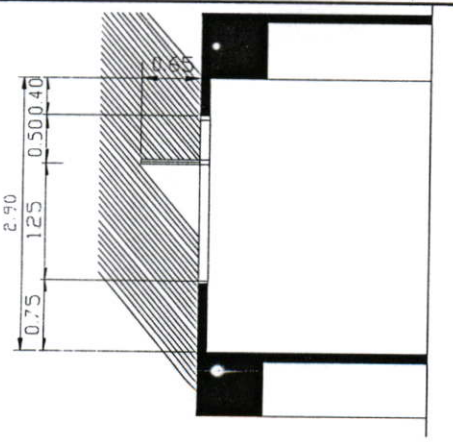
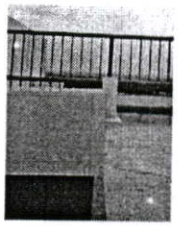
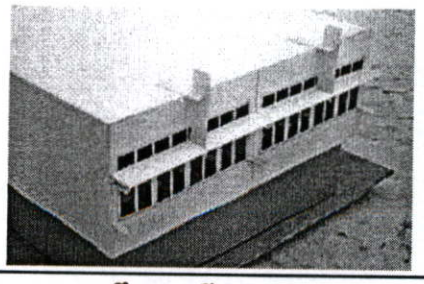
D ความลึกของ Light Shelve สั้นกว่าแบบแรก 9/14 (สีขาวเคลือบเงา) = 0.98 เมตร

E ความลึกของ Light Shelve สั้นกว่าแบบแรก 6/14 (สีขาวเคลือบเงา) = 0.65 เมตร

ตารางที่ 6.15 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง

ความลึกของ Light Shelve แบบ A **ขนาด 1.53 เมตร (สีเงินสะท้อนแสง)**	
	 
ความลึกของ Light Shelve แบบ B **ขนาด 1.53 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 

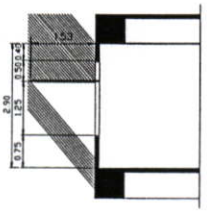
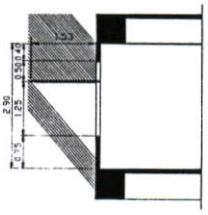
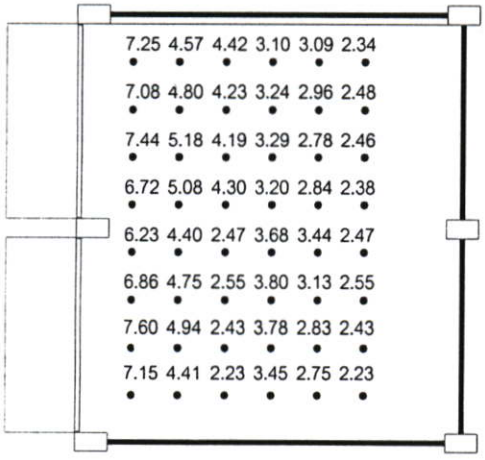
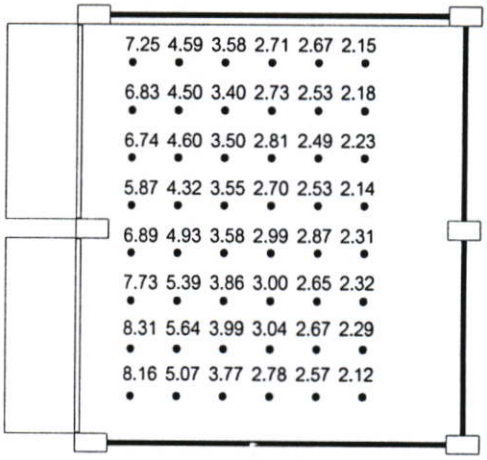
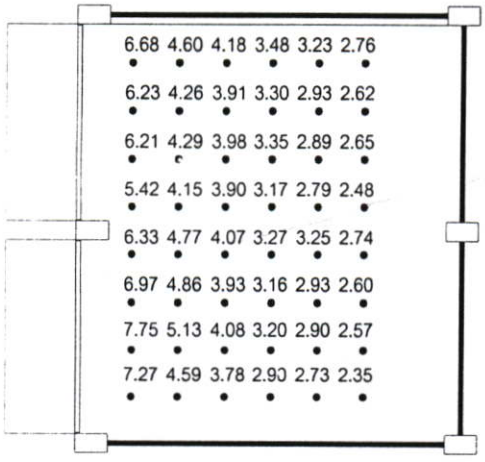
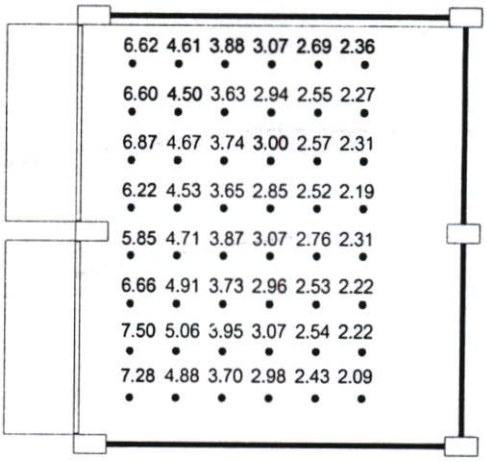
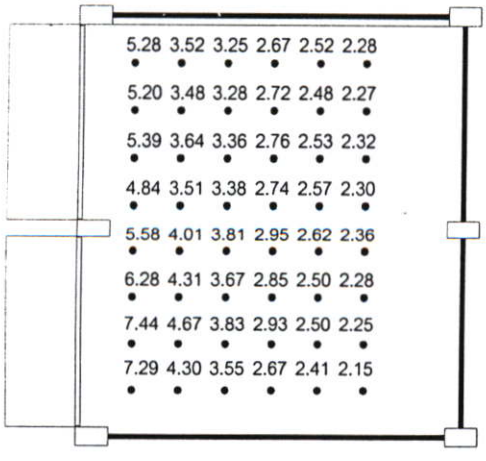
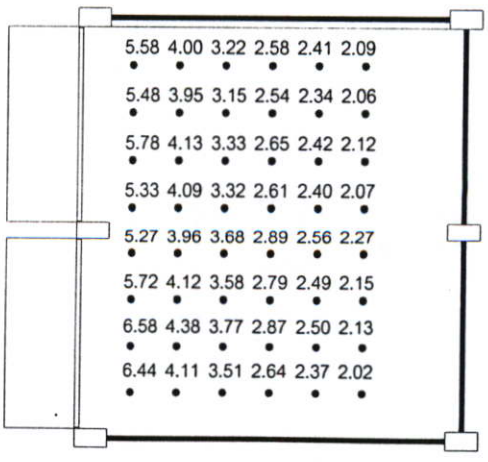
ตารางที่ 6.15 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง (ต่อ)

ความลึกของ Light Shelve แบบ C **ขนาด 1.20 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 
ความลึกของ Light Shelve แบบ D **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 
ความลึกของ Light Shelve แบบ E **ขนาด 0.65 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 

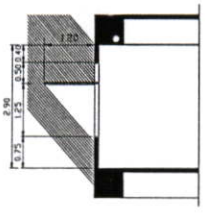
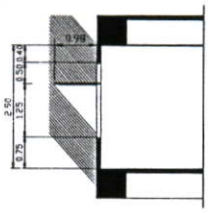
6.6.2 **การวิเคราะห์และทดลองวัดการกระจายแสงของความลึกและสีของ Light Shelve**

จากผลการทดลองวัดการกระจายและทำการหักลบกับค่าTransmittance และค่าDirty Factor ทั้ง 5 แบบ ในห้องเรียนของวันที่ ที่ 25 – 27 กรกฎาคม 2545 เวลา 10.00 น. มีดังนี้

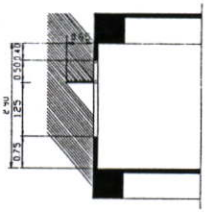
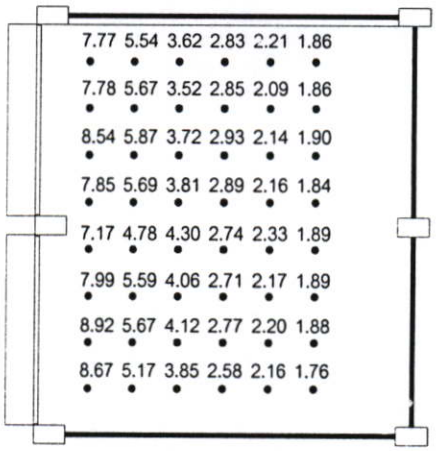
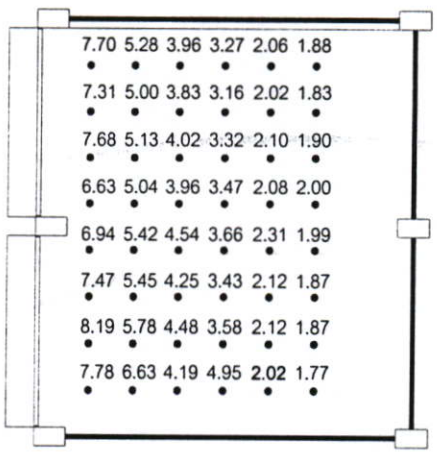
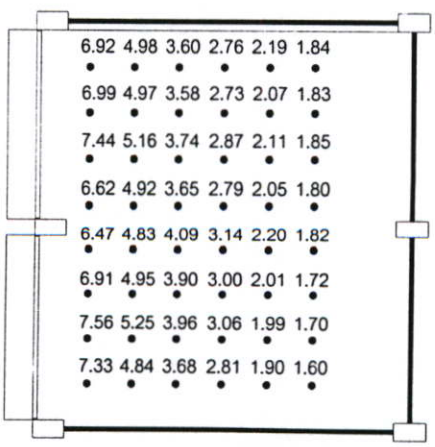
ตารางที่ 6.16 แสดงค่า Daylight Factor ของความลึกและสีของ Light Shelve แบบ A และ B

	ความลึกของ Light Shelve แบบ A ขนาด 1.53 เมตร (สีเงินสะท้อนแสง)	ความลึกของ Light Shelve แบบ B ขนาด 1.53 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.		
วันที่ 25 กรกฎาคม 2545		
วันที่ 26 กรกฎาคม 2545		
วันที่ 27 กรกฎาคม 2545		

ตารางที่ 6.16 แสดงค่า Daylight Factor ของความลึกและสีของ Light Shelve แบบ C และ D (ต่อ)

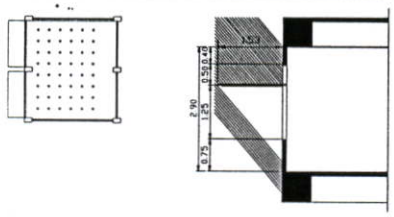
	ความลึกของ Light Shelve แบบ C ขนาด 1.20 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	ความลึกของ Light Shelve แบบ D ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.		
วันที่ 25 กรกฎาคม 2545	7.19 4.73 3.58 2.75 2.61 2.13 7.34 4.83 3.48 2.80 2.48 2.17 7.70 5.04 3.68 2.90 2.48 2.20 6.77 4.82 3.77 2.83 2.51 2.13 6.96 4.98 3.68 2.95 2.75 2.24 7.71 5.47 3.91 2.98 2.64 2.27 8.49 5.69 4.02 2.98 2.66 2.24 8.15 5.09 3.78 2.72 2.62 2.09	7.69 4.94 3.85 2.89 2.51 2.05 7.66 5.04 3.67 2.93 2.37 2.07 8.05 5.30 3.82 3.02 2.41 2.12 7.15 5.08 3.86 2.93 2.42 2.05 7.02 5.09 3.84 2.83 2.64 2.19 7.82 5.59 4.00 2.85 2.53 2.21 8.76 5.94 4.04 2.80 2.57 2.20 8.60 5.47 3.83 2.67 2.50 2.07
วันที่ 26 กรกฎาคม 2545	6.51 5.01 3.83 3.10 2.56 2.26 6.57 4.88 3.63 2.99 2.42 2.19 7.23 5.14 3.83 3.11 2.53 2.24 6.43 5.12 3.80 3.17 2.49 2.24 6.35 5.07 4.03 3.26 2.66 2.25 6.86 5.13 3.81 3.08 2.44 2.16 7.53 5.42 3.96 3.13 2.47 2.16 7.23 5.17 3.65 2.98 2.35 2.06	7.18 5.34 3.93 3.19 2.44 2.13 7.10 5.13 3.76 3.09 2.33 2.06 7.65 5.16 3.98 3.20 2.43 2.14 6.64 5.08 3.89 3.32 2.38 2.20 6.27 5.27 4.30 3.37 2.52 2.17 7.03 5.33 4.14 3.20 2.32 2.06 7.81 5.65 4.35 3.33 2.37 2.07 7.57 5.53 4.03 3.09 2.24 2.02
วันที่ 27 กรกฎาคม 2545	5.57 3.85 3.31 2.69 2.31 2.05 5.51 3.86 3.26 2.66 2.27 2.03 5.93 4.02 3.44 2.76 2.36 2.06 5.49 3.95 3.46 2.76 2.35 2.03 5.75 4.20 3.73 2.84 2.48 2.19 6.20 4.39 3.63 2.87 2.39 2.07 7.00 4.61 3.83 3.04 2.39 2.06 6.75 4.24 3.52 2.71 2.27 1.92	5.93 4.49 3.41 2.66 2.24 1.88 6.05 4.48 3.37 2.60 2.16 1.84 6.74 4.76 3.56 2.77 2.23 1.92 5.89 4.75 3.53 2.74 2.18 1.87 5.87 4.43 3.82 3.01 2.31 1.91 6.29 4.70 3.73 2.89 2.08 1.80 6.96 4.95 3.95 2.99 2.04 1.74 6.79 4.52 3.64 2.76 1.99 1.68

ตารางที่ 6.16 แสดงค่า Daylight Factor ของความลึกและสีของ Light Shelve แบบ C และ D (ต่อ)

	ความลึกของ Light Shelve แบบ E ขนาด 0.65 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.	
วันที่ 25 กรกฎาคม 2545	
วันที่ 26 กรกฎาคม 2545	
วันที่ 27 กรกฎาคม 2545	

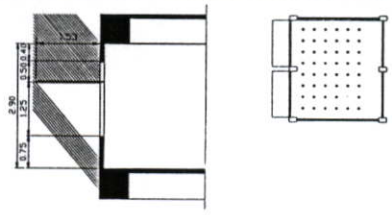
ตารางที่ 6.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 2.5 % ของความลึกกับสีของ Light Shelve แบบ A,B,C,D และ E ของวันที่ 25 กค. 45

ความลึกแบบ A ขนาด 1.53 เมตร (สีเงินสะท้อนแสง)

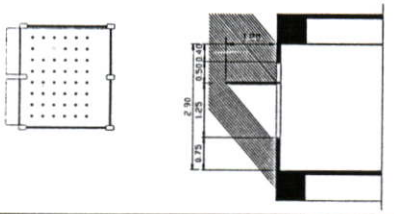


ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง	ค่า Daylight Factor (%)					
A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
7.25	4.57	4.42	3.10	3.09	2.34	1	7.25	4.59	3.58	2.71	2.67	2.15
7.08	4.80	4.23	3.24	2.96	2.48	2	6.83	4.50	3.40	2.73	2.53	2.18
7.44	5.18	4.19	3.29	2.78	2.46	3	6.74	4.60	3.50	2.81	2.49	2.23
6.72	5.08	4.30	3.20	2.84	2.38	4	5.87	4.32	3.55	2.70	2.53	2.14
6.23	4.40	2.47	3.68	3.44	2.47	5	6.89	4.93	3.58	2.99	2.87	2.31
6.86	4.75	2.55	3.80	3.13	2.55	6	7.73	5.39	3.86	3.00	2.65	2.32
7.60	4.94	2.43	3.78	2.83	2.43	7	8.31	5.64	3.99	3.04	2.67	2.29
7.15	4.41	2.23	3.45	2.75	2.23	8	8.16	5.07	3.77	2.78	2.57	2.12
7.04	4.77	3.35	3.44	2.98	2.42	ค่าเฉลี่ย / แถว	7.22	4.88	3.65	2.85	2.62	2.22
2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
8	8	8	8	8	0	40 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000(Lux) / 40	8	8	8	8	8	0

ความลึกแบบ B ขนาด 1.53 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)

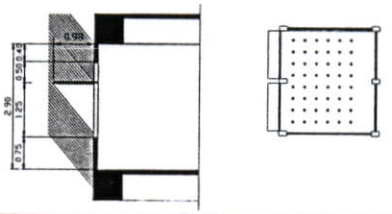


ความลึกแบบ C ขนาด 1.20 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)

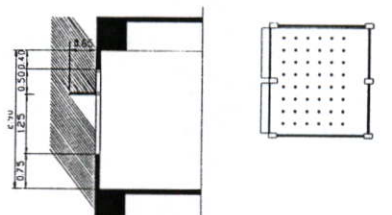


ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง	ค่า Daylight Factor (%)					
A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
7.19	4.73	3.58	2.75	2.61	2.13	1	7.69	4.94	3.85	2.89	2.51	2.05
7.34	4.83	3.48	2.80	2.48	2.17	2	7.66	5.04	3.67	2.93	2.37	2.07
7.70	5.04	3.68	2.90	2.48	2.20	3	8.05	5.30	3.82	3.02	2.41	2.12
6.77	4.82	3.77	2.83	2.51	2.13	4	7.15	5.08	3.86	2.93	2.42	2.05
6.96	4.98	3.68	2.95	2.75	2.24	5	7.02	5.09	3.84	2.83	2.64	2.19
7.71	5.47	3.91	2.98	2.64	2.27	6	7.82	5.59	4.00	2.85	2.53	2.21
8.49	5.69	4.02	2.98	2.66	2.24	7	8.76	5.94	4.04	2.80	2.57	2.20
8.15	5.09	3.78	2.72	2.62	2.09	8	8.60	5.47	3.83	2.67	2.50	2.07
7.54	5.08	3.74	2.86	2.59	2.18	ค่าเฉลี่ย / แถว	7.84	5.30	3.86	2.87	2.49	2.12
2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
8	8	8	8	6	0	38 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 37	8	8	8	8	0	0

ความลึกแบบ D ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



ความลึกแบบ E ขนาด 0.65 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



ตำแหน่ง	ค่า Daylight Factor (%)					
	A	B	C	D	E	F
1	7.77	5.54	3.62	2.83	2.21	1.86
2	7.78	5.67	3.52	2.85	2.09	1.86
3	8.54	5.87	3.72	2.93	2.14	1.90
4	7.85	5.69	3.81	2.89	2.16	1.84
5	7.17	4.78	4.30	2.74	2.33	1.89
6	7.99	5.59	4.06	2.71	2.17	1.89
7	8.92	5.67	4.12	2.77	2.20	1.88
8	8.67	5.17	3.85	2.58	2.16	1.76
ค่าเฉลี่ย / แถว	8.09	5.50	3.88	2.79	2.18	1.86
ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 32	8	8	8	8	0	0

ตารางที่ 6.18 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของความลึกกับสีของ Light Shelve แบบ A,B,C,D และ E เข้าสู่หุ่นจำลอง

Light Shelve	ระยะจากหน้าต่าง (เมตร)						รวม
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	
ความลึกแบบ A ขนาด 1.53 เมตร (สีเงินสะท้อนแสง)	8	8	8	8	8	0	40
ความลึกแบบ B ขนาด 1.53 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	8	0	40
ความลึกแบบ C ขนาด 1.20 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	6	0	38
ความลึกแบบ D ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	5	0	37
ความลึกแบบ E ขนาด 0.65 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	0	0	32

จากตารางที่ 6.12 การกระจายแสงธรรมชาติของความลึกกับสีของ Light Shelve ทั้ง 5 แบบพบว่าแบบที่กระจายแสงเข้ามาได้มากและลึกที่สุด คือความลึกแบบ A ขนาด 1.53 เมตร (ผิวสะท้อนแสง) รองลงมาคือแบบ B , D , และ E ตามลำดับ จากค่ามาตราฐานของ Daylight Factor ที่ใช้ในห้องเรียนคือ 2 % จากการทดลองพบว่าแสงที่สามารถกระจายได้ลึกถึงข้างในสุดของห้องเรียนคือ 6.00 เมตร ได้แก่ความลึกของ Light Shelve ทุกแบบยกเว้นแบบ E ที่กระจายแสงเฉลี่ยในความลึกที่ 6.00 เมตร จากขอบหน้าต่างได้เพียง 1.86 % **ดังนั้นจึงเลือกความลึกแบบ D ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) มาใช้ทำการทดลองต่อไปเนื่องจากมีขนาดที่สั้นที่สุดแต่มีการกระจายแสงได้ตามมาตราฐานที่กำหนด**

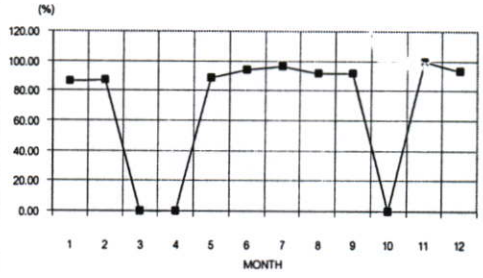
6.6.3 การวิเคราะห์สรุปผลขนาดความลึกของ Light Shelve แบบ D ขนาด 0.98 เมตร

ทำการวิเคราะห์สรุปผลหาค่าความส่องสว่างภายนอก และหาเปอร์เซนต์ขนาดความลึกของ Light Shelve แบบ D ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา ที่สามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี โดยเลือกแถวในสุดคือระยะห่างจากขอบหน้าต่าง 6.00 เมตร เป็นเกณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้

มีค่า Daylight Factor	=	2.12 %
มีค่าความส่องสว่างภายนอก	=	23,585 Lux
(500*100) / 2.12	=	23,585 Lux

ตารางที่ 6.19 แสดงเปอร์เซนต์ขนาดความลึกของ Light Shelve แบบ D ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา ที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

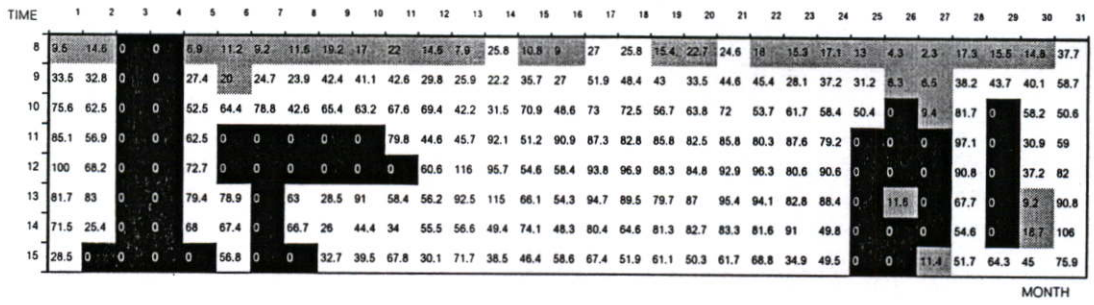
เดือน	จำนวนเวลาทั้งหมด (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ไม่ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเปอร์เซ็นต์ (%)	กราฟแสดงเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้งานได้ / เดือน
1	248	33	215	86.69	
2	224	29	195	87.05	
3	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	
5	128	14	114	89.06	
6	240	14	226	94.17	
7	248	9	239	96.37	
8	248	20	228	91.94	
9	240	19	221	92.08	
10	-	-	-	-	
11	240	0	240	100.00	
12	248	17	231	93.15	
1ปี	2,064	155	1909	92.28	



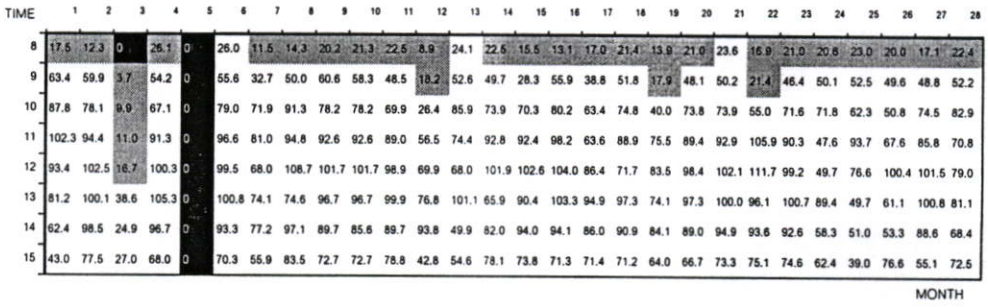
จากการวิเคราะห์และคำนวณผลโดยเปรียบเทียบกับสถิติปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ยรายวัน ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) พบว่าภายใน 1 ปี สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติโดยวิธีการสะท้อนแสงจากขนาดความลึกของ Light Shelve แบบ D ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา ได้ 92.28 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี หรือ 1,909 ชั่วโมงของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

รูปที่ 6.8 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของความลึก Light Shelve ขนาด0.98 ม. ที่น้อยกว่า 23.585 Klux ในเดือนมกราคม - เมษายน

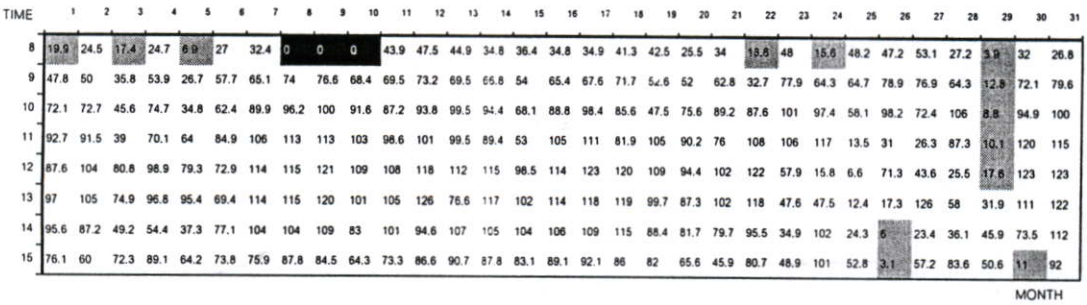
เดือนมกราคม



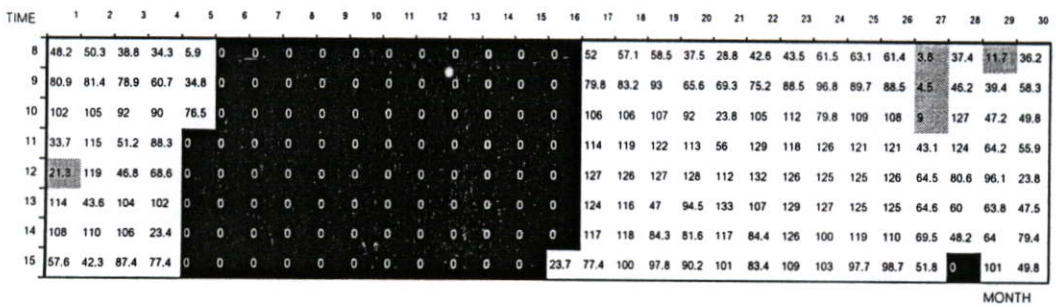
เดือนกุมภาพันธ์

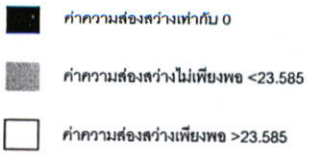


เดือนมีนาคม



เดือนเมษายน





รูปที่ 6.8 แสดงปริมาณสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของความลึก Light Shelve (0.98 ม.) ที่น้อยกว่า 23.585 Klux ในเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม (ต่อ)

เดือนพฤษภาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	12.1	58.8	15.5	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.6	37.1	30.9	83.7	67.9	60.6	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.8	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.6	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

MONTH

เดือนมิถุนายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	8.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	66.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.8	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

MONTH

เดือนกรกฎาคม

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

MONTH

เดือนสิงหาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.3	16.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.9	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.5	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <23.585

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >23.585

รูปที่ 6.8 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของความลึก Light Shelve ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 23.585 Klux ในเดือนกันยายน - ธันวาคม (ต่อ)

เดือนกันยายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.5	23.4	43.5	43.5	11.8	53.8	35.4	3.4	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	8.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	18	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.5	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	6.9	6	29.5	39.8	22.1	79.3

MONTH

เดือนตุลาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	6.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

MONTH

เดือนพฤษจิกายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	14.5	0	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.6	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

MONTH

เดือนธันวาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	14.6	10.6	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	11.4	13.9	8.1	18.6	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.5	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	6.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <23.585

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >23.585

6.7 การวิเคราะห์รูปทรงของ Light Shelve ที่เหมาะสม

โดยนำความลึกของ Light Shelve แบบ D ที่มีขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) ที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา ทำการศึกษาและทดลองเพื่อหารูปทรงต่อไป

6.7.1 การวิเคราะห์ออกแบบรูปทรงของ Light Shelve

การวิเคราะห์ออกแบบรูปทรงของ Light Shelve เพื่อทำการทดลองโดยพิจารณาถึงความเอียงของมุมองศาที่แตกต่างกันและทำการทดลองว่ามุมขององศาใดมีประสิทธิภาพในการกระจายแสงได้ดีที่สุด

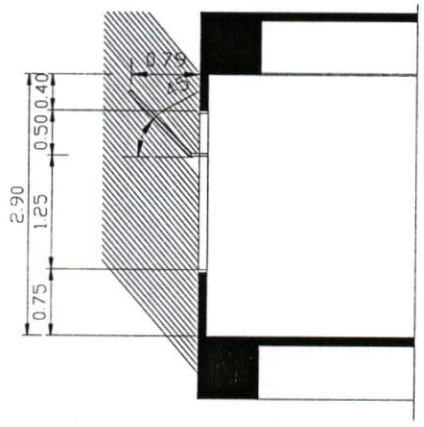
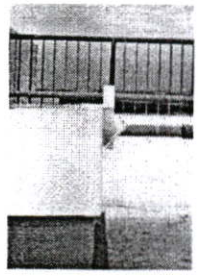
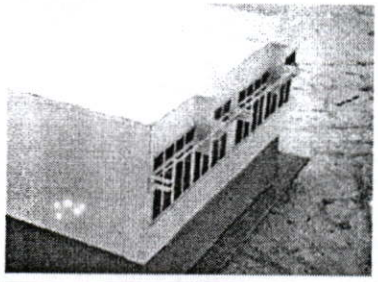
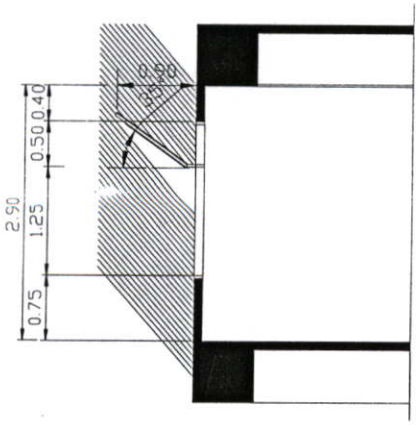
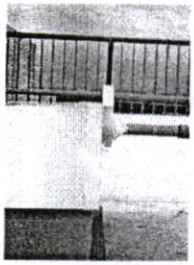
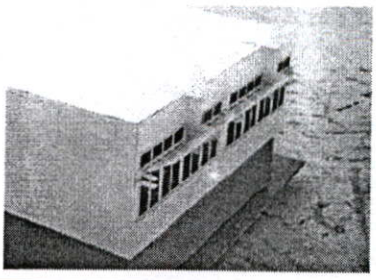
A รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 45 องศา

B รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 35 องศา

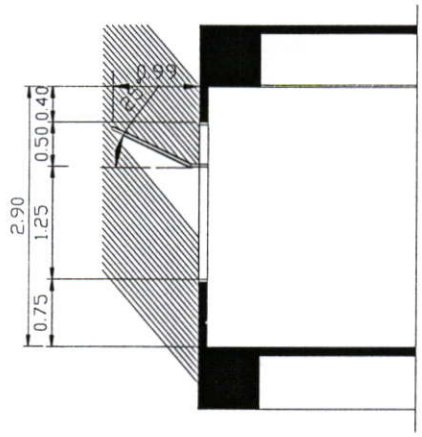
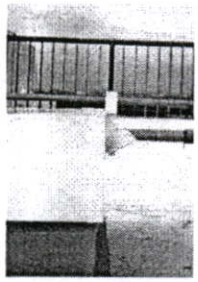
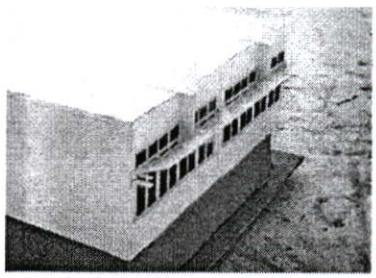
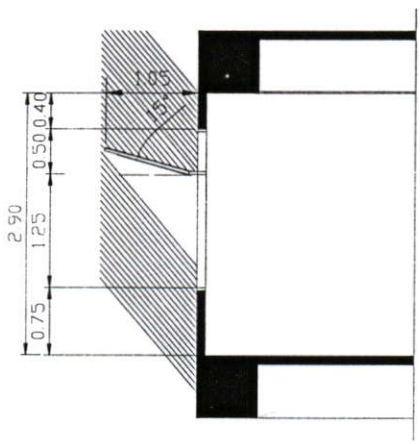
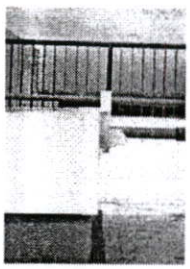
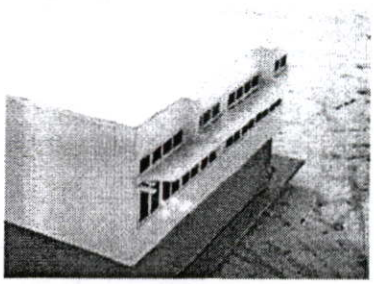
C รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 25 องศา

D รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 15 องศา

ตารางที่ 6.20 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง

แบบ A รูปทรง Light Shelve มุม 45 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 
แบบ B รูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 

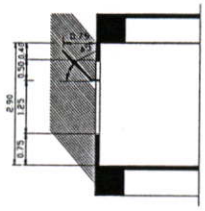
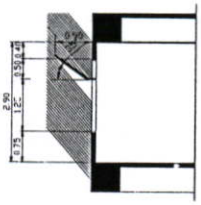
ตารางที่ 6.20 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง (ต่อ)

แบบ C รูปทรง Light Shelve มุม 25 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 
แบบ D รูปทรง Light Shelve มุม 15 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 

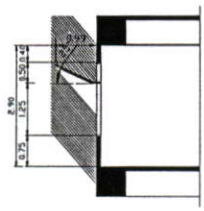
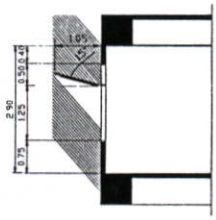
6.7.2 การวิเคราะห์และทดลองวัดการกระจายแสงของรูปทรงของ Light Shelve

จากผลการทดลองวัดการกระจายและทำการหักลบกับค่า Transmittance และค่า Dirty Factor ทั้ง 4 แบบ ในห้องเรียนของวันที่ ที่ 9 – 11 สิงหาคม 2545 เวลา 10.00 น. มีรายละเอียดดังต่อนี้

ตารางที่ 6.21 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve แบบ A และ B

	แบบ A รูปทรง Light Shelve มุม 45 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	แบบ B รูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.		
วันที่ 9 สิงหาคม 2545	8.55 6.19 4.53 3.44 3.00 2.44 8.42 6.05 4.39 3.39 2.92 2.39 8.34 6.17 4.28 3.41 2.69 2.31 9.35 6.02 4.37 3.44 2.80 2.37 8.68 6.47 4.81 3.61 3.07 2.52 10.41 7.19 4.92 3.57 2.93 2.43 11.57 7.43 4.70 3.53 2.63 2.35 10.90 6.72 4.47 3.36 2.60 2.29	9.04 6.08 4.96 3.67 3.04 2.52 8.88 6.08 4.73 3.58 2.94 2.47 8.91 6.21 4.51 3.50 2.61 2.33 7.92 6.17 4.53 3.50 2.67 2.41 9.75 6.93 5.12 3.81 3.20 2.60 11.08 7.50 5.15 3.74 3.07 2.50 12.32 7.67 4.91 3.58 2.73 2.38 11.69 6.97 4.66 3.40 2.72 2.37
วันที่ 10 สิงหาคม 2545	9.70 5.51 4.57 3.57 2.99 2.51 9.61 5.62 4.45 3.60 2.82 2.51 9.77 5.91 4.71 3.70 2.88 2.56 9.70 5.67 4.81 3.66 2.91 2.48 8.60 5.74 5.07 3.99 3.08 2.50 9.59 6.70 5.07 3.95 2.87 2.50 10.47 6.80 4.92 4.04 2.91 2.49 10.39 6.20 4.90 3.76 2.86 2.33	9.30 5.98 4.65 3.59 3.12 2.54 9.26 6.09 4.43 3.63 2.95 2.57 9.74 6.41 4.74 3.75 2.99 2.63 9.60 6.14 4.79 3.64 3.00 2.55 8.87 6.43 5.28 4.15 3.13 2.60 9.88 7.06 5.49 4.17 3.00 2.62 10.52 7.50 5.54 3.96 3.04 2.61 10.65 6.91 5.26 3.92 2.86 2.45
วันที่ 11 สิงหาคม 2545	9.50 5.32 4.35 3.35 2.79 2.31 9.41 5.42 4.23 3.38 2.63 2.32 9.57 5.71 4.49 3.48 2.69 2.37 9.50 5.47 4.59 3.44 2.72 2.39 8.60 5.74 4.82 3.75 2.89 2.30 9.59 6.70 4.83 3.71 2.67 2.30 9.64 6.80 4.68 3.80 2.71 2.29 9.69 6.20 4.65 3.52 2.66 2.13	9.09 5.76 4.43 3.37 2.92 2.34 9.05 5.88 4.21 3.41 2.75 2.37 9.52 6.19 4.51 3.53 2.78 2.43 9.39 5.93 4.57 3.41 2.80 2.35 8.65 6.21 5.02 3.89 2.92 2.39 9.66 6.84 5.24 3.91 2.79 2.41 9.76 7.07 5.29 3.71 2.83 2.40 9.78 6.47 5.00 3.66 2.65 2.24

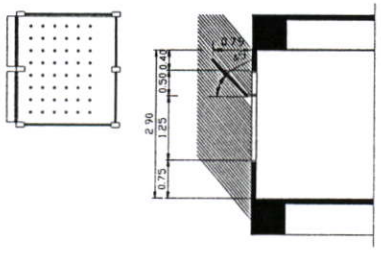
ตารางที่ 6.21 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปทรงLight Shelve แบบ C และ D (ต่อ)

	แบบ C รูปทรง Light Shelve มุม 25 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	แบบ D รูปทรง Light Shelve มุม 15 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.		
วันที่ 9 สิงหาคม 2545	9.36 6.07 4.72 3.60 3.07 2.79 9.06 6.12 4.65 3.57 3.04 2.78 9.12 6.20 4.48 3.51 2.98 2.91 7.64 6.17 4.61 3.57 2.88 2.76 10.07 6.93 5.32 3.87 3.36 2.86 11.07 7.42 5.20 3.75 3.27 2.88 12.24 7.56 4.79 3.51 2.90 2.83 11.78 6.95 4.52 3.35 2.95 2.85	9.76 6.09 4.54 3.51 3.04 2.65 9.50 6.02 4.49 3.49 2.98 2.60 9.37 6.10 4.42 3.51 2.75 2.64 7.97 5.98 4.59 3.58 2.84 2.60 10.40 6.72 5.19 3.77 3.39 2.75 11.29 7.20 5.00 3.67 3.21 2.61 12.45 7.30 4.75 3.50 2.91 2.59 11.81 6.72 4.50 3.33 2.90 2.60
วันที่ 10 สิงหาคม 2545	9.52 6.11 4.54 3.49 3.33 2.76 9.49 6.24 4.42 3.56 3.16 2.80 9.06 6.51 4.67 3.67 3.17 2.81 8.76 6.23 4.78 3.59 3.21 2.72 9.17 6.56 5.18 4.27 3.37 2.74 10.16 7.20 5.49 4.30 3.23 2.78 11.19 7.49 5.65 4.31 3.26 2.75 10.73 6.71 5.32 3.94 3.22 2.57	9.94 6.29 4.46 3.38 3.21 2.59 9.67 6.17 4.24 3.40 3.05 2.63 9.55 6.30 4.35 3.50 2.99 2.68 9.10 5.93 4.42 3.36 3.05 2.58 9.24 6.41 5.00 4.18 3.28 2.64 10.37 7.02 5.39 4.19 3.03 2.65 11.16 7.36 5.57 4.24 3.05 2.62 10.95 6.60 5.27 3.88 2.94 2.42
วันที่ 11 สิงหาคม 2545	9.30 5.89 4.33 3.28 3.11 2.54 9.27 6.02 4.21 3.35 2.94 2.58 9.96 6.29 4.46 3.47 2.95 2.59 8.53 6.00 4.58 3.39 2.99 2.50 8.96 6.35 4.94 4.03 3.16 2.53 9.96 7.00 5.25 4.06 3.02 2.57 9.94 7.29 5.42 4.07 3.05 2.64 10.01 6.51 5.08 3.70 3.01 2.46	9.73 6.08 4.27 3.19 3.01 2.39 9.46 6.07 4.05 3.22 2.85 2.43 9.34 6.09 4.16 3.31 2.79 2.48 8.78 5.72 4.23 3.18 2.85 2.37 9.03 6.21 4.77 3.96 3.10 2.45 10.06 6.82 5.17 3.96 2.84 2.46 10.13 7.16 5.34 4.02 2.86 2.43 10.13 6.39 5.04 3.65 2.75 2.23

จากการทดสอบวัดการกระจายแสงของรูปทรง Light Shelve ทั้ง 4 รูปทรง ได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ในแต่ละแบบเพื่อหาข้อสรุปว่ารูปแบบใดมีประสิทธิภาพสูงสุด คือสามารถกระจายแสงได้ลึกที่สุดและยังคงความสม่ำเสมอของแสงสว่างได้ โดยใช้ค่าเฉลี่ย Daylight Factor 2.5% (ค่าความส่องสว่างภายนอก = 20,000 Lux) เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

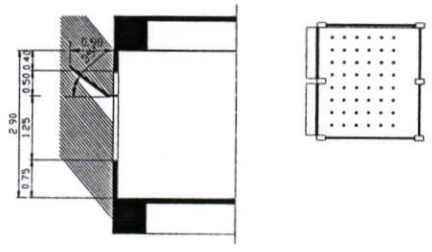
ตารางที่ 6.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จาก 2.5 % ของรูปทรง Light Shelve แบบ A,B,C,D ของวันที่ 10 สค. 45

แบบ A รูปทรง Light Shelve มุม 45 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)

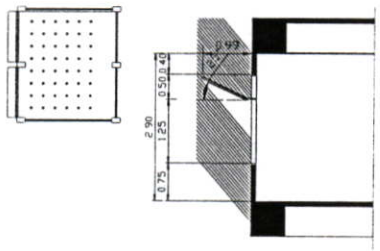


ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง	ค่า Daylight Factor (%)					
A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
9.94	6.29	4.46	3.38	3.21	2.59	1	9.52	6.11	4.54	3.49	3.33	2.76
9.67	6.17	4.24	3.40	3.05	2.63	2	9.49	6.24	4.42	3.56	3.16	2.80
9.55	6.30	4.35	3.50	2.99	2.68	3	9.06	6.51	4.67	3.67	3.17	2.81
9.10	5.93	4.42	3.36	3.05	2.58	4	8.76	6.23	4.78	3.59	3.21	2.72
9.24	6.41	5.00	4.18	3.28	2.64	5	9.17	6.56	5.18	4.27	3.37	2.74
10.37	7.02	5.39	4.19	3.03	2.65	6	10.16	7.20	5.49	4.30	3.23	2.78
11.16	7.36	5.57	4.24	3.05	2.62	7	11.19	7.49	5.65	4.31	3.26	2.75
10.95	6.60	5.27	3.88	2.94	2.42	8	10.73	6.71	5.32	3.94	3.22	2.57
10.00	6.51	4.84	3.77	3.08	2.60	ค่าเฉลี่ย / แถว	9.76	6.63	5.01	3.89	3.24	2.74
2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
8	8	8	8	8	7	47 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 48	8	8	8	8	8	8

แบบ B รูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)

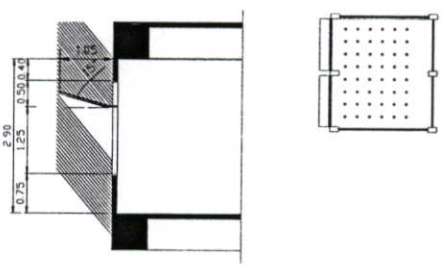


แบบ C รูปทรง Light Shelve มุม 25 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง	ค่า Daylight Factor (%)					
A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
9.30	5.98	4.65	3.59	3.12	2.54	1	9.70	5.51	4.57	3.57	2.99	2.51
9.26	6.09	4.43	3.63	2.95	2.57	2	9.61	5.62	4.45	3.60	2.82	2.51
9.74	6.41	4.74	3.75	2.99	2.63	3	9.77	5.91	4.71	3.70	2.88	2.56
9.60	6.14	4.79	3.64	3.00	2.55	4	9.70	5.67	4.81	3.66	2.91	2.48
8.87	6.43	5.28	4.15	3.13	2.60	5	8.60	5.74	5.07	3.99	3.08	2.50
9.88	7.06	5.49	4.17	3.00	2.62	6	9.59	6.70	5.07	3.95	2.87	2.50
10.52	7.50	5.54	3.96	3.04	2.61	7	10.47	6.80	4.92	4.04	2.91	2.49
10.65	6.91	5.26	3.92	2.86	2.45	8	10.39	6.20	4.90	3.76	2.86	2.33
9.73	6.56	5.02	3.85	3.01	2.57	ค่าเฉลี่ย / แถว	9.73	6.02	4.81	3.79	2.92	2.48
2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
8	8	8	8	8	5	47 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 45	8	8	8	8	8	5

แบบ D รูปทรง Light Shelve มุม 15 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



ตารางที่ 6.23 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของความลึกกับสีของ Light Shelve แบบ A,B,C,D และ E เข้าสู่หุ่นจำลอง

Light Shelve	ระยะจากหน้าต่าง (เมตร)						รวม
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	
แบบ A รูปทรง มุม 45 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	8	7	47
แบบ B รูปทรง มุม 35 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	8	8	48
แบบ C รูปทรง มุม 25 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	8	7	47
แบบ D รูปทรง มุม 15 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	8	5	45

การกระจายแสงธรรมชาติของรูปทรง Light Shelve ทั้ง 4 รูปทรงพบว่ารูปทรงที่กระจายแสงเข้ามาได้มากและลึกที่สุด คือรูปทรงแบบ B รองลงมาคือแบบ A , C , และ D ตามลำดับ **ดังนั้นจึงเลือกรูปทรงแบบ B ซึ่งมีมุม 35 องศา มีขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) มาใช้ทำการทดลองต่อไป**

6.7.3 การวิเคราะห์สรุปผลของรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา

ทำการวิเคราะห์สรุปผลหาค่าความส่องสว่างภายนอก และหาเปอร์เซนต์ของรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา ที่สามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี โดยเลือกแถวในสุดคือระยะห่างจากขอบหน้าต่าง 6.00 เมตร เป็นเกณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้

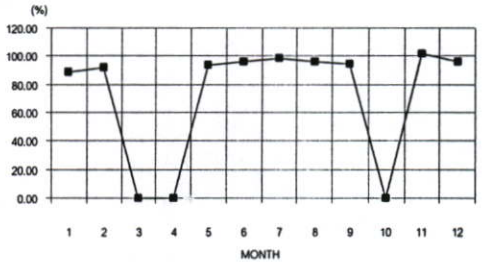
มีค่า Daylight Factor = 2.74 %

มีค่าความส่องสว่างภายนอก = 18,248 Lux

(500*100) / 2.74 = 18,248 Lux

ตารางที่ 6.24 แสดงเปอร์เซนต์ของ รูปทรง Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา ที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

เดือน	จำนวนเวลาทั้งหมด (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ไม่ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเปอร์เซ็นต์ (%)	กราฟแสดงเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้งานได้ / เดือน
1	248	27	221	89.11	
2	224	17	207	92.41	
3	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	
5	128	8	120	93.75	
6	240	9	231	96.25	
7	248	4	244	98.39	
8	248	10	238	95.97	
9	240	13	227	94.58	
10	-	-	-	-	
11	240	5	245	102.08	
12	248	9	239	96.37	
1ปี	2,064	92	1,972	95.44	



จากการวิเคราะห์และคำนวณผลโดยเปรียบเทียบกับสถิติปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ยรายวัน ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) พบว่าภายใน 1 ปี สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติโดยวิธีการสะท้อนแสงจากรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงาได้ 95.44 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี หรือ 1,972 ชั่วโมงของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

รูปที่ 6.9 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 18.248 Klux ในเดือนมกราคม - เมษายน

เดือนมกราคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	6.5	14.6	0	0	6.9	11.2	9.2	11.6	19.2	17	22	14.5	7.9	25.8	10.8	9	27	25.8	15.4	22.7	24.6	18	15.3	17.1	13	4.3	2.3	17.3	15.5	14.8	37.7
9	33.5	32.8	0	0	27.4	20	24.7	23.9	42.4	41.1	42.6	29.8	25.9	22.2	35.7	27	51.9	48.4	43	33.5	44.6	45.4	28.1	37.2	31.2	6.3	6.5	38.2	43.7	40.1	58.7
10	75.6	62.5	0	0	52.5	64.4	78.8	42.6	65.4	63.2	67.6	69.4	42.2	31.5	70.9	48.6	73	72.5	56.7	63.8	72	53.7	61.7	58.4	50.4	0	9.4	81.7	0	58.2	50.6
11	85.1	56.9	0	0	62.5	0	0	0	0	0	79.8	44.6	45.7	92.1	51.2	90.9	87.3	82.8	85.8	82.5	85.8	80.3	87.6	79.2	0	0	0	97.1	0	30.9	59
12	100	68.2	0	0	72.7	0	0	0	0	0	0	60.6	116	95.7	54.6	58.4	93.8	96.9	88.3	84.8	92.9	96.3	80.6	90.6	0	0	0	90.8	0	37.2	82
13	81.7	83	0	0	79.4	78.9	0	63	28.5	91	58.4	56.2	92.5	115	66.1	54.3	94.7	89.5	79.7	87	95.4	94.1	82.8	88.4	0	11.6	0	67.7	0	9.2	90.8
14	71.5	25.4	0	0	68	67.4	0	66.7	26	44.4	34	55.5	56.6	49.4	74.1	48.3	80.4	64.6	81.3	82.7	83.3	81.6	91	49.8	0	0	0	54.6	0	18.7	106
15	28.5	0	0	0	0	56.8	0	0	32.7	39.5	67.8	30.1	71.7	38.5	46.4	58.6	67.4	51.9	61.1	50.3	61.7	68.8	34.9	49.5	0	0	11.4	51.7	64.3	45	75.9

MONTH

เดือนกุมภาพันธ์

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
8	17.5	12.3	0	26.1	0	26.0	11.5	14.3	20.2	21.3	22.5	8.9	24.1	22.5	15.5	13.1	17.0	21.4	13.9	21.0	23.6	16.9	21.0	20.6	23.0	20.0	17.1	22.4
9	63.4	59.9	3.7	54.2	0	55.6	32.7	50.0	60.6	58.3	48.5	18.2	52.6	49.7	28.3	55.9	38.8	51.8	17.9	48.1	50.2	21.4	46.4	50.1	52.5	49.6	48.8	52.2
10	87.8	78.1	9.9	67.1	0	79.0	71.9	91.3	78.2	78.2	69.9	26.4	85.9	73.9	70.3	80.2	63.4	74.8	40.0	73.8	73.9	55.0	71.6	71.8	62.3	50.8	74.5	85.9
11	102.8	94.4	11.0	91.3	0	96.6	81.0	94.8	92.6	92.6	89.0	56.5	74.4	92.8	92.4	98.2	63.6	88.9	75.5	89.4	92.9	105.9	90.3	47.6	93.7	67.6	85.8	70.8
12	93.4	102.5	16.7	100.3	0	99.5	68.0	108.7	101.7	101.7	98.9	69.9	68.0	101.9	102.6	104.0	86.4	71.7	83.5	98.4	102.1	111.7	99.2	49.7	76.6	100.4	101.5	79.0
13	81.2	100.1	38.6	105.3	0	100.8	74.1	74.6	96.7	96.7	99.9	76.8	101.1	65.9	90.4	103.3	94.9	97.3	74.1	97.3	100.0	96.1	100.7	89.4	49.7	61.1	100.8	81.1
14	62.4	98.5	24.9	96.7	0	93.3	77.2	97.1	89.7	85.6	89.7	93.8	49.9	82.0	94.0	94.1	86.0	90.9	84.1	89.0	94.9	93.6	92.6	58.3	51.0	53.3	88.6	68.4
15	43.0	77.5	27.0	68.0	0	70.3	55.9	83.5	72.7	72.7	78.8	42.8	54.6	78.1	73.8	71.3	71.4	71.2	64.0	66.7	73.3	75.1	74.6	62.4	39.0	76.6	55.1	72.5

MONTH

เดือนมีนาคม

TIME (Ho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	19.9	24.5	17.4	24.7	6.9	27	32.4	0	0	0	43.9	47.5	44.9	34.8	36.4	34.8	34.9	41.3	42.5	25.5	34	18.6	48	15.6	48.2	47.2	53.1	27.2	3.9	32	26.8
9	47.8	50	35.8	53.9	26.7	57.7	65.1	74	76.6	68.4	69.5	73.2	69.5	66.8	54	65.4	67.6	71.7	52.6	52	62.8	32.7	77.9	64.3	64.7	78.9	76.9	64.3	12.8	72.1	79.6
10	72.1	72.7	45.6	74.7	34.8	62.4	89.9	96.2	100	91.6	87.2	93.8	99.5	94.4	68.1	88.8	98.4	85.6	47.5	75.6	89.2	87.6	101	97.4	58.1	98.2	72.4	106	8.8	94.9	100
11	92.7	91.5	39	70.1	64	84.9	106	113	113	103	98.6	101	99.5	89.4	53	105	111	81.9	105	90.2	76	108	106	117	13.5	31	26.3	87.3	10.1	120	115
12	87.6	104	80.8	98.9	79.3	72.9	114	115	121	109	108	118	112	115	98.5	114	123	120	109	94.4	102	122	57.9	15.8	6.6	71.3	43.6	25.5	17.6	123	123
13	97	105	74.9	96.8	95.4	69.4	114	115	120	101	105	126	76.6	117	102	114	118	119	99.7	87.3	102	118	47.6	47.5	12.4	17.3	126	58	31.9	111	122
14	95.6	87.2	49.2	54.4	37.3	77.1	104	104	109	83	101	94.6	107	105	104	106	109	115	88.4	81.7	79.7	95.5	34.9	102	24.3	6	23.4	36.1	45.9	73.5	112
15	76.1	60	72.3	89.1	64.2	73.8	75.9	87.8	84.5	64.3	73.3	86.6	90.7	87.8	83.1	89.1	92.1	86	82	65.6	45.9	80.7	48.9	101	52.8	3.1	57.2	83.6	50.6	11	92

MONTH

เดือนเมษายน

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

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <18.248

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >18.248

รูปที่ 6.9 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 18.248 Klux ในเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม (ต่อ)

เดือนพฤษภาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.8	37.1	30.9	83.7	67.9	60.6	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.6	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.6	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	16.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

MONTH

เดือนมิถุนายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	24.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	6.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	66.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.6	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

MONTH

เดือนกรกฎาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	16.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.6	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	58.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	106	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

MONTH

เดือนสิงหาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.5	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.5	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	100	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <18.248

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >18.248

รูปที่ 6.9 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 18.248 Klux ในเดือนกันยายน - ธันวาคม (ต่อ)

เดือนกันยายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.4	43.5	43.5	11.8	53.8	35.4	3.4	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	8.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	99.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.6	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	21.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	8.9	8	29.5	39.8	22.1	79.3

MONTH

เดือนตุลาคม

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

MONTH

เดือนพฤษจิกายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	14.5	0	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.8	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

MONTH

เดือนธันวาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	14.6	10.6	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	11.4	13.9	8.1	18.6	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.8	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	6.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <18.248

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >18.248

6.8 การวิเคราะห์รูปทรงของ Light Shelve ในเดือนธันวาคม

โดยทดสอบการกระจายแสงของรูปทรง Light Shelve ทั้ง 4 รูปแบบ และทดสอบในเดือนธันวาคม โดยการปรับมุมของหุ่นจำลองให้เอียงไปตามตารางนาฬิกาแดดของเดือนธันวาคม ในเวลา 10.00 น.

6.8.1 การวิเคราะห์ออกแบบรูปทรงของ Light Shelve ในเดือนธันวาคม

ทำการทดลองว่ามุมขององศาใดมีประสิทธิภาพในการกระจายแสงได้ดีที่สุดในเดือนธันวาคม

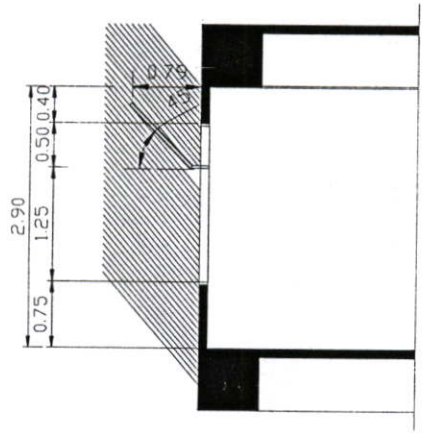
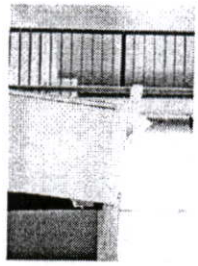
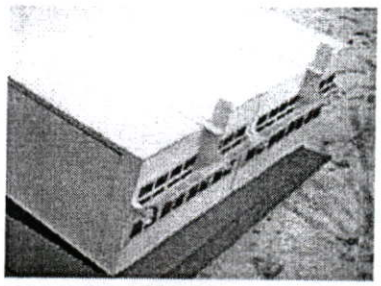
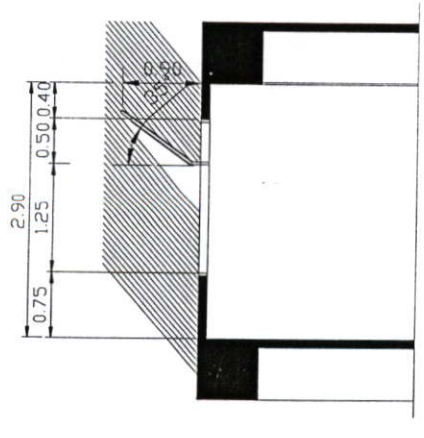
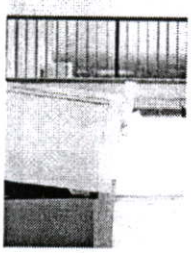
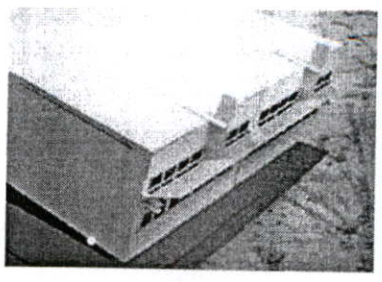
A รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 45 องศา

B รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 35 องศา

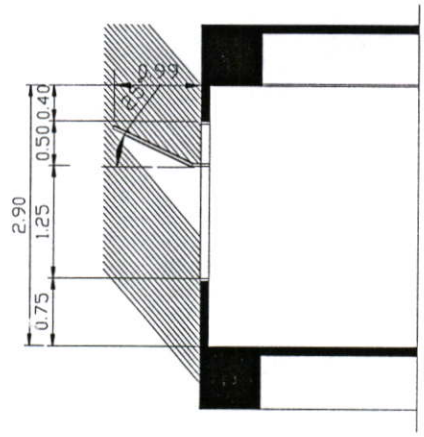
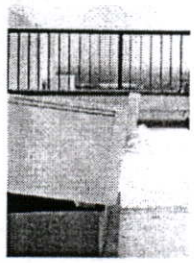
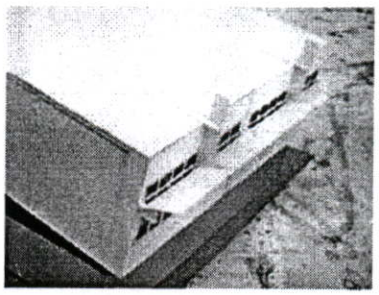
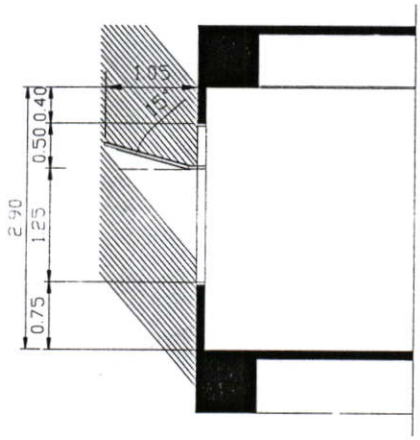
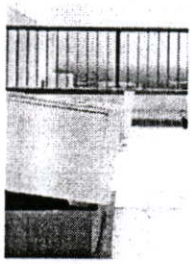
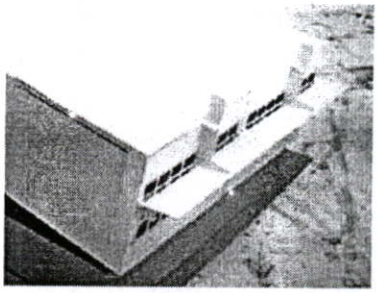
C รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 25 องศา

D รูปทรงของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) = มุม 15 องศา

ตารางที่ 6.25 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง

แบบ A รูปทรง Light Shelve มุม 45 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 
แบบ B รูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)**	
	 

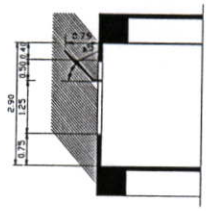
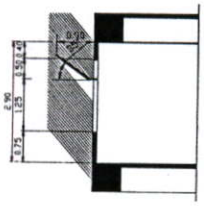
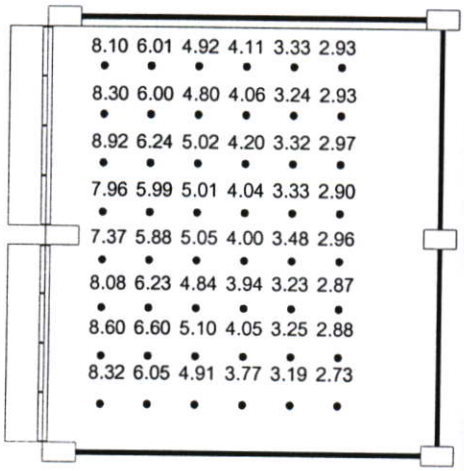
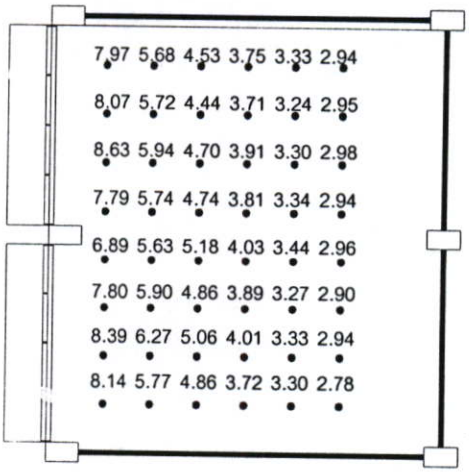
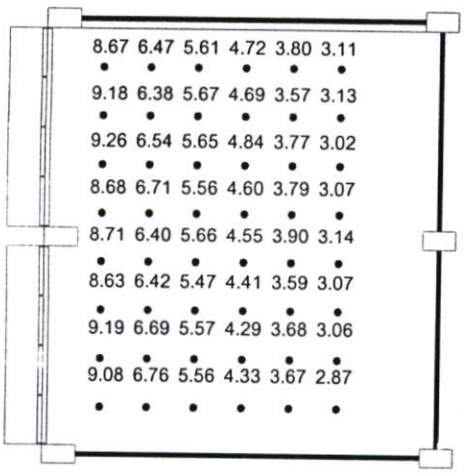
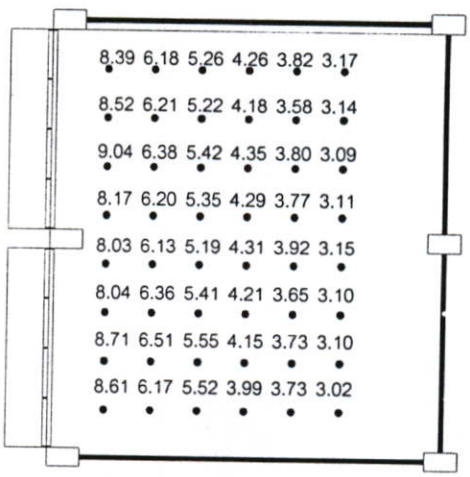
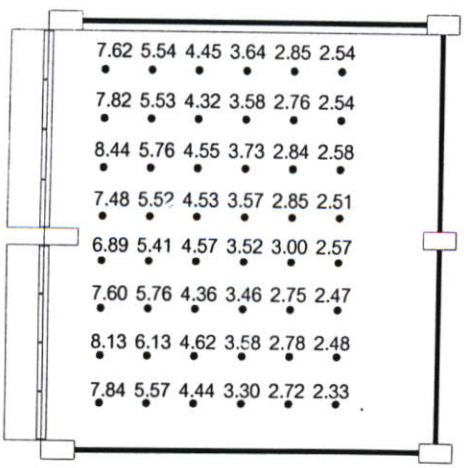
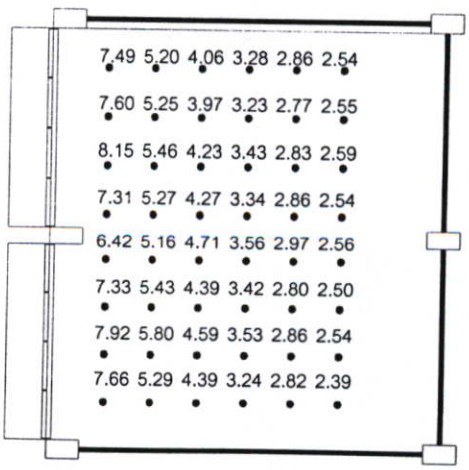
ตารางที่ 6.25 แสดงรูปแบบต่างๆ ของ Light Shelve ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายแสง (ต่อ)

แบบ C รูปทรง Light Shelve มุม 25 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)** 	 
แบบ D รูปทรง Light Shelve มุม 15 องศา **ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)** 	 

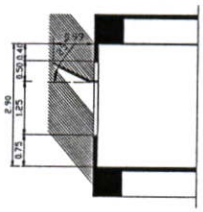
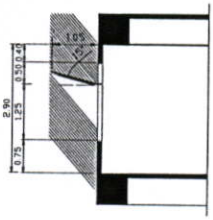
6.8.2 การวิเคราะห์และทดลองวัดการกระจายแสงของรูปทรงของ Light Shelveในเดือนธันวาคม

จากผลการทดลองวัดการกระจายและทำการหักลบกับค่า Transmittance และค่า Dirty Factor ทั้ง 4 แบบ ในห้องเรียนของวันที่ 23 – 25 สิงหาคม 2545 เวลา 10.00 น. มีรายละเอียดดังต่อนี้

ตารางที่ 6.26 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve แบบ A และ B

	แบบ A รูปทรง Light Shelve มุม 45 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	แบบ B รูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.		
วันที่ 23 สิงหาคม 2545		
วันที่ 24 สิงหาคม 2545		
วันที่ 25 สิงหาคม 2545		

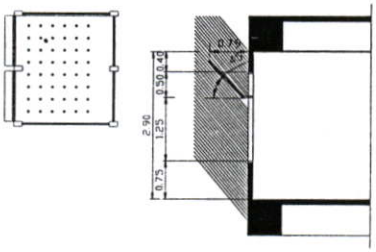
ตารางที่ 6.26 แสดงค่า Daylight Factor ของรูปทรงLight Shelve แบบ C และ D (ต่อ)

	แบบ C รูปทรง Light Shelve มุม 25 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)	แบบ D รูปทรง Light Shelve มุม 15 องศา ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.		
วันที่ 23 สิงหาคม 2545	7.25 5.64 4.52 3.66 2.99 2.60 7.04 5.47 4.37 3.59 2.92 2.57 7.35 5.53 4.53 3.70 3.00 2.65 6.48 5.23 4.50 3.57 3.04 2.60 7.20 5.65 4.82 3.86 3.24 2.75 7.94 6.06 4.73 3.83 3.07 2.70 8.56 6.41 5.10 4.02 3.15 2.72 8.30 5.88 5.04 3.80 3.15 2.61	7.29 5.31 3.94 3.16 2.89 2.54 7.19 5.28 3.86 3.14 2.85 2.54 7.62 5.45 4.01 3.27 2.90 2.58 6.57 5.18 4.05 3.19 2.92 2.52 7.41 5.67 4.59 3.56 3.03 2.57 8.39 6.12 4.45 3.46 2.87 2.51 9.41 6.61 4.63 3.55 2.91 2.54 9.44 6.17 4.45 3.35 2.87 2.43
วันที่ 24 สิงหาคม 2545	7.86 5.64 4.96 4.13 3.54 2.63 7.91 5.47 4.77 4.07 3.23 2.85 7.99 5.53 4.95 4.18 3.30 2.89 7.27 5.23 4.81 4.06 3.36 2.81 7.73 5.65 5.21 4.35 3.53 2.99 8.54 6.06 5.13 4.27 3.44 2.98 8.64 6.41 5.65 4.10 3.50 3.00 8.33 5.88 5.44 3.91 3.51 2.69	8.02 5.44 4.51 3.66 3.45 2.60 7.96 5.39 4.49 3.70 3.04 2.79 7.57 5.47 4.57 3.77 3.21 2.85 7.39 5.22 4.65 3.68 3.22 2.70 7.93 5.65 5.16 4.10 3.40 2.92 8.63 6.18 5.05 3.99 3.31 2.81 8.84 6.37 5.22 3.96 3.48 2.83 9.25 5.79 5.00 3.90 3.40 2.60
วันที่ 25 สิงหาคม 2545	6.77 5.17 4.05 3.18 2.51 2.20 6.56 4.99 3.90 3.11 2.44 2.18 6.88 5.06 4.06 3.23 2.52 2.25 6.00 4.76 4.02 3.10 2.56 2.21 6.72 5.18 4.34 3.38 2.76 2.36 7.46 5.58 4.26 3.36 2.59 2.30 8.08 5.93 4.62 3.55 2.68 2.33 7.83 5.40 4.57 3.32 2.67 2.22	6.81 4.84 3.46 2.69 2.41 2.14 6.71 4.81 3.38 2.67 2.38 2.15 7.15 4.98 3.54 2.79 2.42 2.18 6.09 4.71 3.58 2.71 2.44 2.12 6.94 5.19 4.12 3.09 2.56 2.18 7.91 5.65 3.97 2.99 2.39 2.11 8.93 6.14 4.16 3.07 2.43 2.15 8.96 5.70 3.98 2.87 2.40 2.03

จากการทดสอบวัดการกระจายแสงของรูปทรง Light Shelve ทั้ง 4 รูปทรง ในเดือนธันวาคม ได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ในแต่ละแบบเพื่อหาข้อสรุปว่ารูปแบบใดมีประสิทธิภาพสูงสุด คือสามารถกระจายแสงได้ลึกที่สุดและยังคงความสม่ำเสมอของแสงสว่างได้ โดยใช้ค่าเฉลี่ย Daylight Factor 2.5% (ค่าความส่องสว่างภายนอก = 20,000 Lux) เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

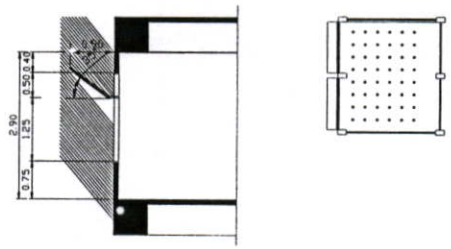
ตารางที่ 6.27 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ 2.5% ของรูปทรง Light Shelve แบบ A,B,C,D ของวันที่ 10 สค. 45

แบบ A รูปทรง Light Shelve มุม 45 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



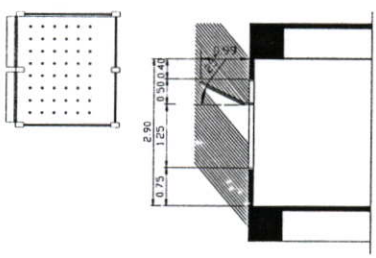
ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง
A	B	C	D	E	F	
8.10	6.01	4.92	4.11	3.33	2.93	1
8.30	6.00	4.80	4.06	3.24	2.93	2
8.92	6.24	5.02	4.20	3.32	2.97	3
7.96	5.99	5.01	4.04	3.33	2.90	4
7.37	5.88	5.05	4.00	3.48	2.96	5
8.08	6.23	4.84	3.94	3.23	2.87	6
8.60	6.60	5.10	4.05	3.25	2.88	7
8.32	6.05	4.91	3.77	3.19	2.73	8
8.20	6.13	4.96	4.02	3.30	2.90	ค่าเฉลี่ย / แถว
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)
8	8	8	8	8	0	40 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 40

แบบ B รูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



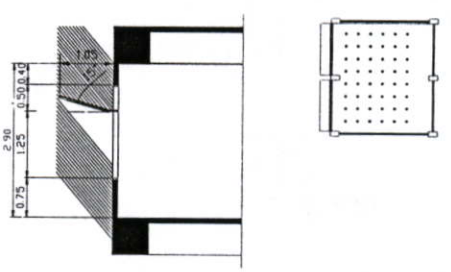
ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง
A	B	C	D	E	F	
7.97	5.68	4.53	3.75	3.33	2.94	1
8.07	5.72	4.44	3.71	3.24	2.95	2
8.63	5.94	4.70	3.91	3.30	2.98	3
7.79	5.74	4.74	3.81	3.34	2.94	4
6.89	5.63	5.18	4.03	3.44	2.96	5
7.80	5.90	4.86	3.89	3.27	2.90	6
8.39	6.27	5.06	4.01	3.33	2.94	7
8.14	5.77	4.86	3.72	3.30	2.78	8
7.96	5.83	4.80	3.85	3.32	2.92	ค่าเฉลี่ย / แถว
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)
8	8	8	8	8	0	40 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 40

แบบ C รูปทรง Light Shelve มุม 25 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง
A	B	C	D	E	F	
7.25	5.64	4.52	3.66	2.99	2.60	1
7.04	5.47	4.37	3.59	2.92	2.57	2
7.35	5.53	4.53	3.70	3.00	2.65	3
6.48	5.23	4.50	3.57	3.04	2.60	4
7.20	5.65	4.82	3.86	3.24	2.75	5
7.94	6.06	4.73	3.83	3.07	2.70	6
8.56	6.41	5.10	4.02	3.15	2.72	7
8.30	5.88	5.04	3.80	3.15	2.61	8
7.51	5.73	4.70	3.75	3.07	2.65	ค่าเฉลี่ย / แถว
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)
8	8	8	8	6	0	38 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 33

แบบ D รูปทรง Light Shelve มุม 15 องศา
ขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



ค่า Daylight Factor (%)						ตำแหน่ง
A	B	C	D	E	F	
7.29	5.31	3.94	3.16	2.89	2.54	1
7.19	5.28	3.86	3.14	2.85	2.54	2
7.62	5.45	4.01	3.27	2.90	2.58	3
6.57	5.18	4.05	3.19	2.92	2.52	4
7.41	5.67	4.59	3.56	3.03	2.57	5
8.39	6.12	4.45	3.46	2.87	2.51	6
9.41	6.61	4.63	3.55	2.91	2.54	7
9.44	6.17	4.45	3.35	2.87	2.43	8
7.91	5.73	4.25	3.34	2.90	2.53	ค่าเฉลี่ย / แถว
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)
8	8	8	8	1	0	38 ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 33

ตารางที่ 6.28 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายแสงธรรมชาติของความลึกกับสีของ Light Shelve แบบ A,B,C,D และ E เข้าสู่หุ่นจำลอง

Light Shelve	ระยะจากหน้าต่าง (เมตร)						รวม
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	
แบบ A รูปทรง มุม 45 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	8	0	40
แบบ B รูปทรง มุม 35 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	8	0	40
แบบ C รูปทรง มุม 25 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	6	0	38
แบบ D รูปทรง มุม 15 องศา (ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา)	8	8	8	8	1	0	33

การกระจายแสงธรรมชาติของรูปทรง Light Shelve ทั้ง 4 รูปทรง ในเดือนธันวาคมพบว่ารูปทรงที่กระจายแสงเข้ามาได้มากและลึกที่สุด คือรูปทรงแบบ B รองลงมาคือแบบ A , C , และ D ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับเดือนสิงหาคมที่ได้ทำการทดลองแต่การกระจายแสงจะน้อยกว่าใน 2 เมตรแรกจากขอบหน้าต่ .: **ดังนั้นจึงเลือกรูปทรงแบบ B ซึ่งมีมุม 35 องศา มีขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) มาใช้ในการออกแบบ** Light Shelve

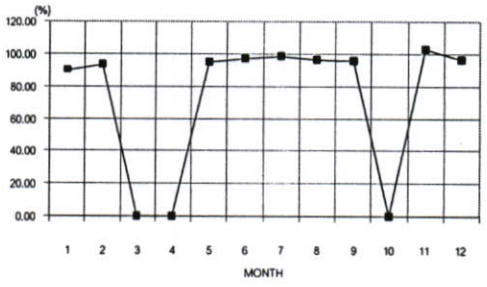
6.8.3 การวิเคราะห์สรุปผลของรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงาในเดือนธันวาคม

ทำการวิเคราะห์สรุปผลหาค่าความส่องสว่างภายนอกและหาเปอร์เซนต์ขของรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา ที่สามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี โดยเลือกแถวในสุดคือระยะห่างจากขอบหน้าต่าง 6.00 เมตร เป็นเกณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้

มีค่า Daylight Factor	=	2.92 %
มีค่าความส่องสว่างภายนอก	=	17,123 Lux
(500*100) / 2.92	=	17,123 Lux

ตารางที่ 6.29 แสดงเปอร์เซนต์ของ รูปทรง Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงาของเดือนธันวาคม ที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

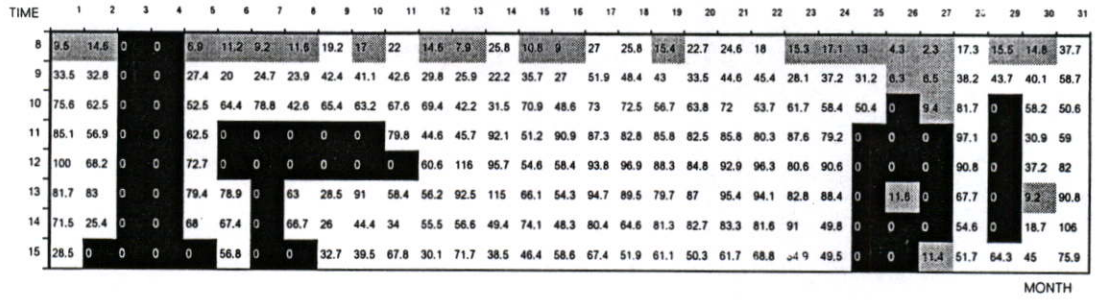
เดือน	จำนวนเวลาทั้งหมด (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ไม่ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเปอร์เซ็นต์ (%)	กราฟแสดงเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้งานได้ / เดือน
1	248	25	223	89.92	
2	224	14	210	93.75	
3	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	
5	128	7	121	94.53	
6	240	8	232	96.67	
7	248	4	244	98.39	
8	248	10	238	95.97	
9	240	11	229	95.42	
10	-	-	-	-	
11	240	7	247	102.92	
12	248	9	239	96.37	
1ปี	2,064	81	1,983	95.99	



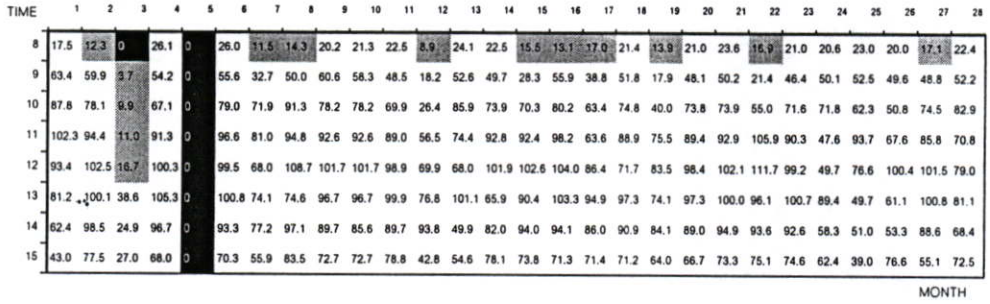
จากการวิเคราะห์และคำนวณผลโดยเปรียบเทียบกับสถิติปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ยรายวัน ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) พบว่าภายใน 1 ปี สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติโดยวิธีการสะท้อนแสงจากรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา สำหรับเดือนธันวาคม ได้ 95.99 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี หรือ 1,983 ชั่วโมงของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี ซึ่งมีเปอร์เซนต์มากกว่าเดือนสิงหาคม

รูปที่ 6.10 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 17.123 Klux ในเดือนมกราคม - เมษายน

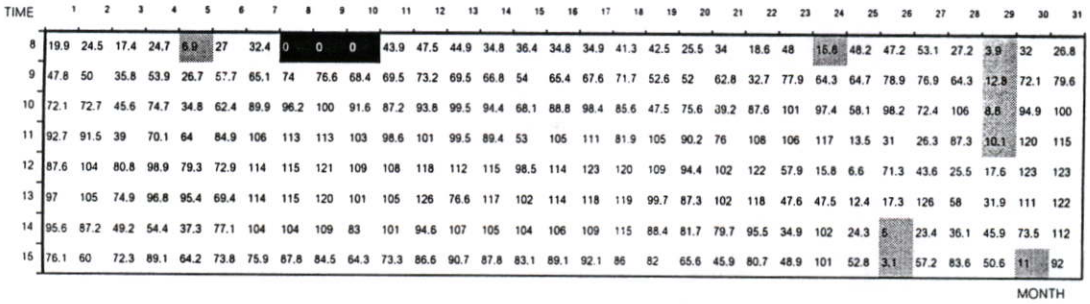
เดือนมกราคม



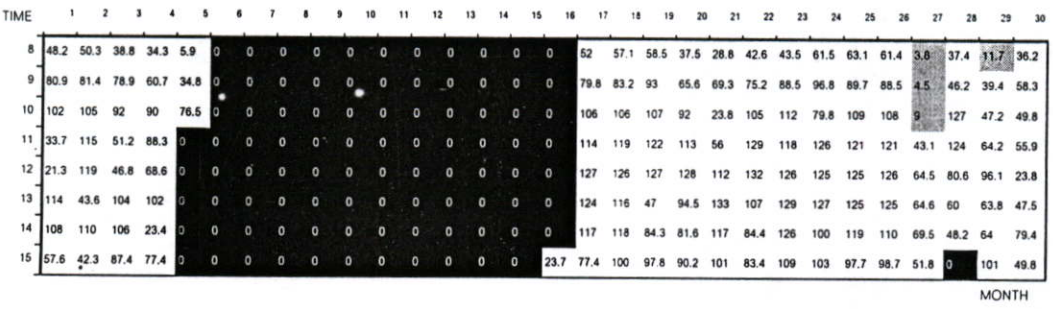
เดือนกุมภาพันธ์



เดือนมีนาคม



เดือนเมษายน



ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <17.123

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >17.123

รูปที่ 6.10 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 17.123 Klux ในเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม (ต่อ)

เดือนพฤษภาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.6	37.1	30.9	83.7	67.9	60.6	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	6.5	83	114	11.8	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	15.8	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.8	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.6	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	2	56.2	72	59.9	0	0

MONTH

เดือนมิถุนายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	8.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	66.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.5	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.5	20.6	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

MONTH

เดือนกรกฎาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	16.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.8	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

MONTH

เดือนสิงหาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.6	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.5	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <17.123

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >17.123

รูปที่ 6.10 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกสำหรับห้องเรียนของรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศา ขนาด 0.98 ม. ที่น้อยกว่า 17.123 Klux ในเดือนกันยายน - ธันวาคม (ต่อ)

เดือนกันยายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.6	23.4	43.5	43.5	11.8	53.8	35.4	3.4	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	8.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.5	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	6.9	6	29.5	39.8	22.1	79.3

MONTH

เดือนตุลาคม

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

MONTH

เดือนพฤษจิกายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	14.5	0	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.8	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

MONTH

เดือนธันวาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	14.5	10.5	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	31.4	13.9	8.1	18.6	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.5	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	6.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <17.123

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >17.123

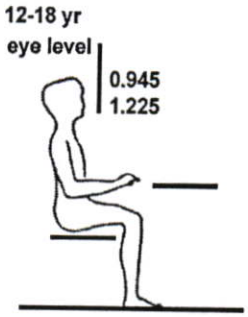
6.9 การวิเคราะห์ควบคุมแสงจ้า (Glare)

แสงจ้านับเป็นปัญหาสำคัญของช่องเปิดทางด้านข้าง กล่าวโดยสรุปแสงบาดตาจะรุนแรงหรือไม่เกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

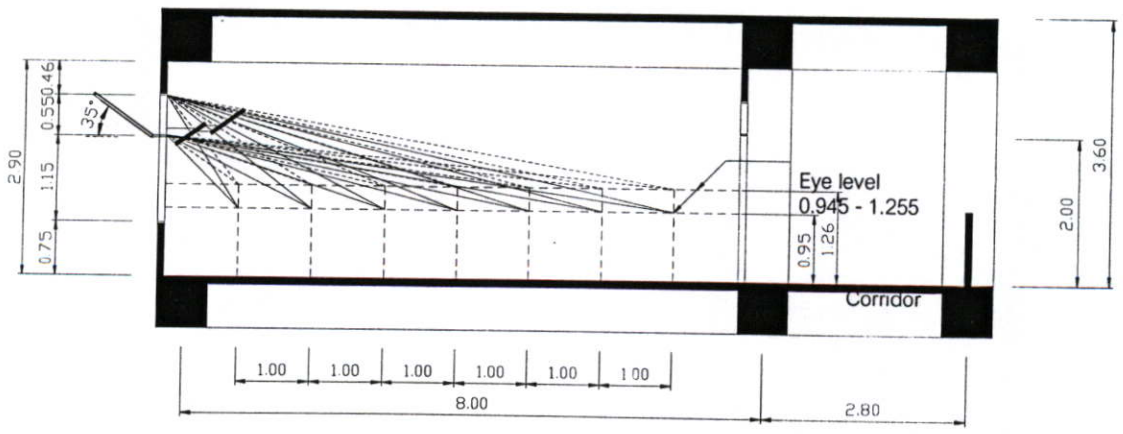
- ความแตกต่างของความจ้าระหว่างแหล่งกำเนิดกับสภาพทั่วไป
- ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง
- ตำแหน่งของวัตถุในขอบเขตมุมมอง
- ความสามารถในการปรับสายตาของผู้มอง

6.9.1 การวิเคราะห์ออกแบบแผงควบคุมแสงจ้า (Glare)

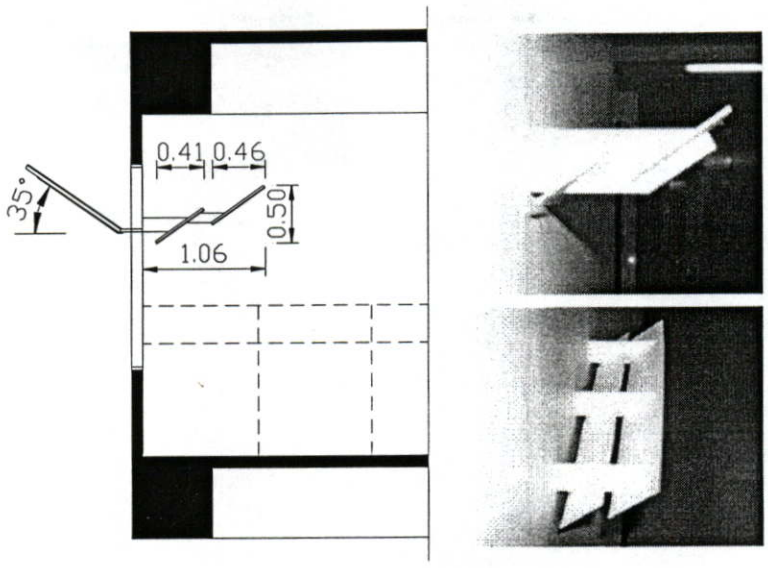
การออกแบบป้องกันการสะท้อนแสงจาก Light Shelve เข้าสู่ช่องแสงด้านบนไปในห้องเรียน โดยพิจารณาการป้องกันแสงจ้า (Glare) ระดับสายตา (Eye level) ของนักเรียนขณะที่นั่ง ซึ่งเป็นนักเรียนระดับมัธยมที่ 1 – 6 มีอายุระหว่าง 12 – 18 ปี ดังนั้นระดับสายตาขณะที่นั่งเรียนอยู่ที่ระดับ 0.945 –1.255 เมตร



รูปที่ 6.11 **แสดงระดับสายตาของนักเรียนอายุระหว่าง 12-18 ปี**
ที่มา : Neufert Architect's Data (1980 : 132)



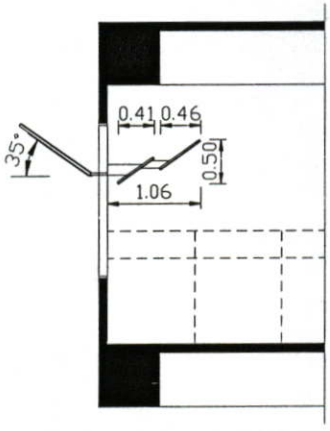
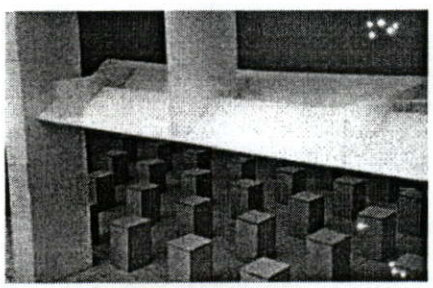
รูปที่ 6.12 แสดงการออกแบบป้องกันแสงจ้า (Glare)



รูปที่ 6.13 แสดงขนาดสัดส่วนของรูปแบบการป้องกันแสงจ้า (Glare)

ทำการทดลองวัดการกระจายแสงของแผงควบคุมแสงจ้า (Glare) และพิจารณาว่าแสงที่ผ่านการสะท้อนจาก Light Shelve เข้าสู่อาคารเรียนโดยมีแผงป้องกันแสงจ้าแต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการกระจายแสงได้หรือไม่

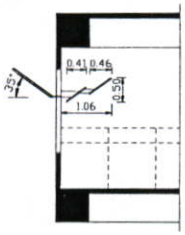
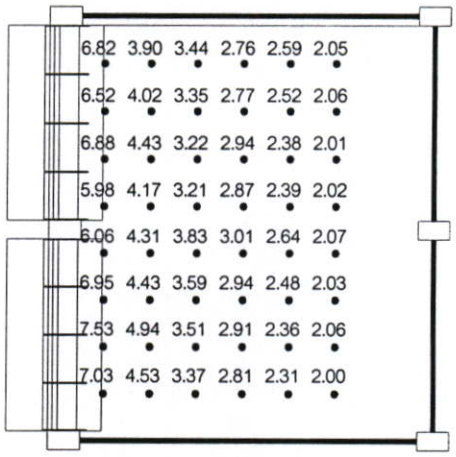
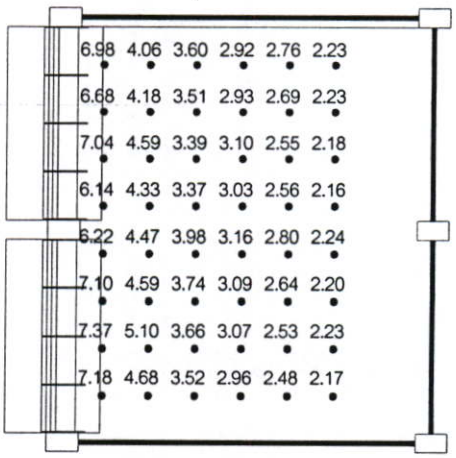
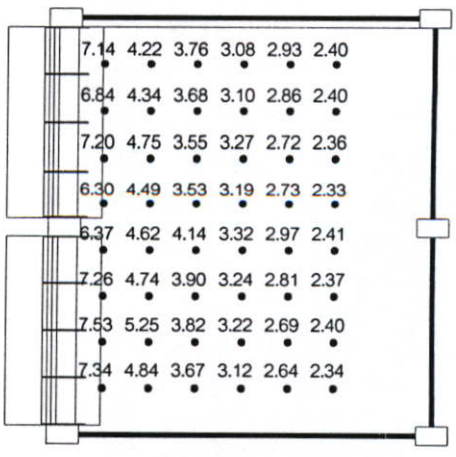
ตารางที่ 6.30 แสดงแผงป้องกันแสงจ้า (Glare)

แผงป้องกันแสงจ้า (Glare)	
	

6.9.2 การวิเคราะห์และทดลองวัดการกระจายแสงขอแผงควบคุมแสงจ้า (Glare) กับรูปทรงของLight Shelve

จากผลการทดลองวัดการกระจายและทำการหักลบกับค่า Transmittance และค่า Dirty Factor ในห้องเรียนของวันที่ 29 – 31 สิงหาคม 2545 เวลา 10.00 น. มีดังนี้

ตารางที่ 6.31 แสดงค่า Daylight Factor ของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare)

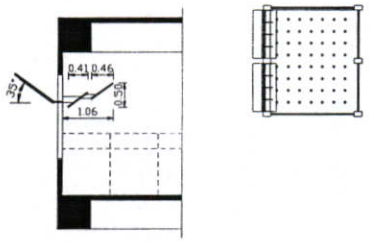
	แผงป้องกันแสงจ้า (Glare) และรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศาขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)
เวลา 10.00 น.	
วันที่ 29 สิงหาคม 2545	
วันที่ 30 สิงหาคม 2545	
วันที่ 31 สิงหาคม 2545	

จากการทดสอบวัดการกระจายแสงของแผงควบคุมแสงจ้า (Glare) และรูปทรงของ Light Shelve มุม 35 องศาขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) ได้ทำการวิเคราะห์ค่า Daylight Factor เพื่อหาข้อสรุปว่าแสงที่กระจายเข้ามาในห้องเรียนยังคงมีประสิทธิภาพในการกระจายแสงหรือไม่ โดยใช้ค่าเฉลี่ย Daylight Factor 2.5% (ค่าความส่องสว่างภายนอก = 20,000 Lux) เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

ตารางที่ 6.32 แสดงค่า Daylight Factor จากเกณ์ 2.5 % ของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) ของวัน ที่ 30 สค. 45

แผงป้องกันแสงจ้า (Glare)

และรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศาขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)



ตำแหน่ง	ค่า Daylight Factor (%)					
	A	B	C	D	E	F
1	6.98	4.06	3.60	2.92	2.76	2.23
2	6.68	4.18	3.51	2.93	2.69	2.23
3	7.04	4.59	3.39	3.10	2.55	2.18
4	6.14	4.33	3.37	3.03	2.56	2.16
5	6.22	4.47	3.98	3.16	2.80	2.24
6	7.10	4.59	3.74	3.09	2.64	2.20
7	7.37	5.10	3.66	3.07	2.53	2.23
8	7.18	4.68	3.52	2.96	2.48	2.17
ค่าเฉลี่ย / แถว	6.84	4.50	3.60	3.03	2.63	2.20
ค่าเฉลี่ย Daylight Factor (%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
ค่าความส่องสว่างภายนอก (Lux) / 20,000 39	8	8	8	8	7	0

การกระจายแสงธรรมชาติโดยมีแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) และรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศาขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) พบว่าการกระจายในแถว A น้อยกว่ารูปแบบที่ไม่มีแผงป้องกันแสงบาดตาส่วนการกระจายแสงแถวลึกที่สุดจากช่องหน้าต่างมีค่าเฉลี่ย Daylight Factor 2.20 % ดังนั้นจะพบว่าการกระจายแสงในห้องเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่มากกว่ามาตราฐานกำหนดคือ 2 %

6.9.3 การวิเคราะห์แผงควบคุมแสงจ้า (Glare) จากค่าเฉลี่ยของแสงสว่างรวม

โดยนำค่า Daylight Factor จากการทดลองวัดการกระจายแสงที่ได้จากตารางที่ 6.32 มาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองออกมาเป็นลักซ์ (Lux) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง (Asian institute of technology) โดยพิจารณาเวลา 08.00 น. ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 6.33 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux) ปี พ.ศ.2542-2543

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

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	48.93	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	66.30
15	42.47	57.07	62.31	75.03	52.45	50.39	55.42	47.65	51.97	44.22	41.35	47.42
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

ที่มา : Chirarattananon and Chaiwiwatwatworakul (2001 : P.A-1)

ตารางที่ 6.34 แสดงปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเดือนมกราคม – ธันวาคม (Klux)

ช่วง เวลา 08.00 น.

เดือน	ปริมาณแสงสว่าง (Lux) เวลา 08.00 น.	เดือน	ปริมาณแสงสว่าง (Lux) เวลา 08.00 น.
1 มกราคม	24,800	7 กรกฎาคม	44,830
2 กุมภาพันธ์	30,510	8 สิงหาคม	39,480
3 มีนาคม	44,570	9 กันยายน	42,160
4 เมษายน	48,930	10 ตุลาคม	33,260
5 พฤษภาคม	39,710	11 พฤษจิกายน	28,300
6 มิถุนายน	41,790	12 ธันวาคม	28,470

ทำการแปลงค่า Daylight Factor จากตารางที่ 6.32 โดยนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณแสงสว่างของเดือนที่น้อยที่สุดได้แก่เดือนมกราคมซึ่งมีปริมาณแสงสว่าง 24,800 Lux ในช่วงเวลา 08.00 น. และช่วงเลิกเรียนคือ 15.00 น. จากตารางด้านบนนี้เพื่อแปลงค่าออกมาเป็นจำนวนลักซ์ (Lux) โดยหาได้จากสูตรดังนี้

$$\frac{\text{Daylight Factor(\%)} \times \text{ค่าความสว่างภายนอก(Lux)}}{100} = \text{จำนวนลักซ์ (Lux)}$$

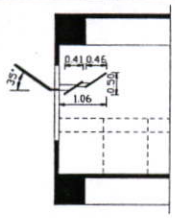
ตารางที่ 6.35 แสดงจำนวนลักซ์ (Lux) ของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare)

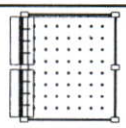
แผงป้องกันแสงจ้า (Glare)

และรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศาขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา)

เดือนมกราคม เวลา 08.00 น.

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายนอก 22,728 Lux





ตำแหน่ง	ค่า Daylight Factor (%)					
	A	B	C	D	E	F
1	1731	1006	892	724	684	552
2	1657	1036	872	728	667	552
3	1745	1139	839	770	632	542
4	1523	1074	836	752	635	536
5	1541	1108	988	784	695	556
6	1762	1138	928	766	656	546
7	1829	1264	908	761	627	553
8	1782	1162	873	735	614	537
ค่าเฉลี่ย / แถว	1696	1116	892	753	651	547

การกระจายแสงธรรมชาติโดยมีแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) และรูปทรง Light Shelve มุม 35 องศาขนาด 0.98 เมตร (สีขาวเคลือบเงา) โดยนำมาหาจำนวนลักซ์ (Lux) และทำการเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรวมของท้องฟ้าทุก 1 ชั่วโมง(Klux) ปี พ.ศ. 2542-2543 โดยใช้เกณฑ์มาตราฐานกำหนดค่าความสว่างภายในเป็น 500 Lux และอ้างอิงค่าเฉลี่ยของการกระจายแสงแถวลึกสุดของห้องเรียนได้ค่า Daylight Factor 2.20 % จึงทำการพิจารณาหาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายนอกที่สามารถใช้ได้ตลอดทั้งปีพบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายนอกที่น้อยกว่า 22,728 Lux ไม่สามารถใช้แสงสว่างจากการสะท้อนแสงของ Light Shelve ได้เพียงพอ

DF 2.20 * 22,728 / 100 = 500 Lux (เกณฑ์มาตราฐานกำหนด)

ในช่วงเดือนมกราคม เวลา 08.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดือนที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายนอกน้อยที่สุด พบว่าการกระจายแสงในส่วนลึกที่สุดของห้องเรียน มีการกระจายแสงมากกว่าเกณฑ์มาตราฐานกำหนด มีค่าเฉลี่ย 547 Lux แต่มาตราฐานที่กำหนดคือ 500 Lux ดูจากตารางด้านบน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ารูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา และใช้แผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียน ที่มีการเรียนการสอนตั้งแต่เวลา 08.00 – 15.00 น. มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายนอกมากกว่า 22,728 Lux สามารถใช้แสงธรรมชาติผ่านการสะท้อนแสงจาก Light Shelve ได้ตลอดทั้งปีโดยไม่ต้องอาศัยแสงประดิษฐ์นอกจากวันที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าหรือวันที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายนอกน้อยกว่า 22,728 Lux

ตารางที่ 6.36 แสดงช่วงเวลาที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้ (22,728)

เวลา / เดือน	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
08.00	24800	30510	44570	48930	39710	41790	44830	39480	42160	33260	28300	28470
09.00	50630	56490	69300	73460	62660	63680	61050	61580	60650	50960	51140	49110
10.00	67830	77970	81380	87760	70950	81410	75070	78930	75600	68190	64100	66850
11.00	74780	84770	88620	96430	82010	85560	82810	83520	80660	72190	77650	78860
12.00	81010	92070	92420	100900	79380	78520	83650	81710	85840	75670	77100	81660
13.00	69460	86520	85580	104690	70410	70930	82380	74360	83130	67750	66760	78020
14.00	60640	75100	77580	91820	64440	64760	74750	62500	69770	58820	60680	66300
15.00	42470	57070	62310	75030	52450	50390	55420	47650	51970	44220	41350	47420

☐ สามารถใช้แสงธรรมชาติได้ ▩ ไม่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้

6.9.4 การวิเคราะห์สรุปผลของแผงป้องกันแสงจ้า (Glare)

ทำการวิเคราะห์สรุปผลหาค่าความส่องสว่างภายนอกและหาเปอร์เซนต์ขของรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงา และใช้แผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียน ที่สามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี โดยเลือกแถวในสุดคือระยะห่างจากขอบหน้าต่าง 6.00 เมตร เป็นเกณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้

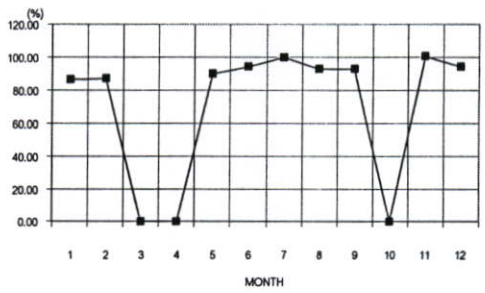
มีค่า Daylight Factor = 2.20 %

มีค่าความส่องสว่างภายนอก = 22,727 Lux

(500*100) / 2.20 = 22,727 Lux

ตารางที่ 6.37 แสดงเปอร์เซนต์ของรูปทรง Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงาร่วมกับแผงป้องกันแสงจ้า ที่สามารถนำมาใช้ได้ต่อช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

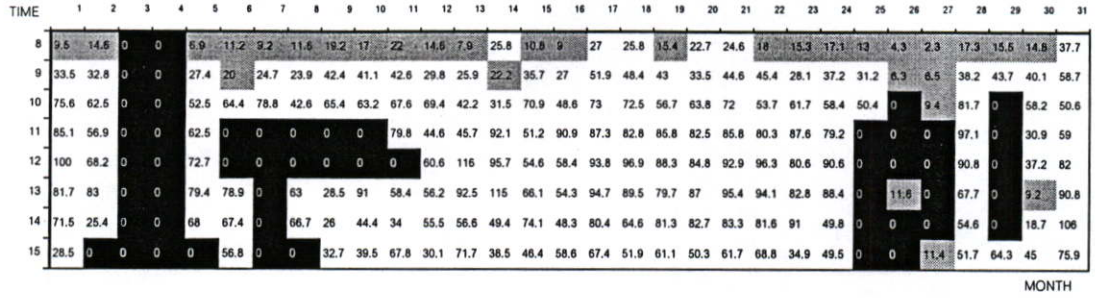
เดือน	จำนวนเวลาทั้งหมด (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ไม่ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเวลาที่ใช้ได้ (ชั่วโมง)	จำนวนเปอร์เซ็นต์ (%)	กราฟแสดงเปอร์เซนต์ที่สามารถใช้งานได้ / เดือน
1	248	33	215	86.69	
2	224	28	196	87.50	
3	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	
5	128	13	115	89.84	
6	240	13	227	94.58	
7	248	0	248	100.00	
8	248	18	230	92.74	
9	240	17	223	92.92	
10	-	-	-	-	
11	240	1	241	100.42	
12	248	15	233	93.95	
1ปี	2,064	136	1,928	93.18	



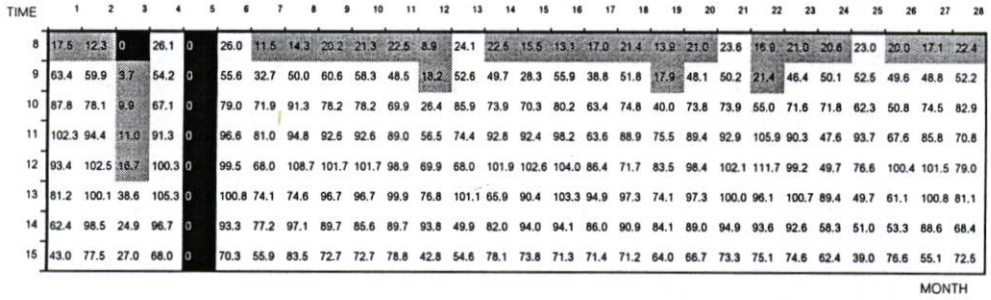
จากการวิเคราะห์และคำนวณผลโดยเปรียบเทียบกับสถิติปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครเฉลี่ยรายวันปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) พบว่าภายใน 1 ปี สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติโดยวิธีการสะท้อนแสงจากรูปทรงของ Light Shelve แบบ B มุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตรสีขาวเคลือบเงา และใช้แผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียนได้ 93.18 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี หรือ 1,928 ชั่วโมงของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี

รูปที่ 6.14 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกของห้องเรียนที่มีแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) ที่น้อยกว่า 22.727 Klux ในของเดือนมกราคม - เมษายน

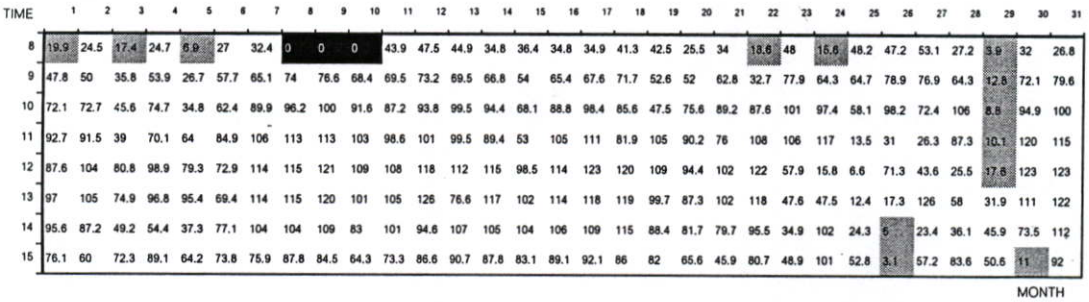
เดือนมกราคม



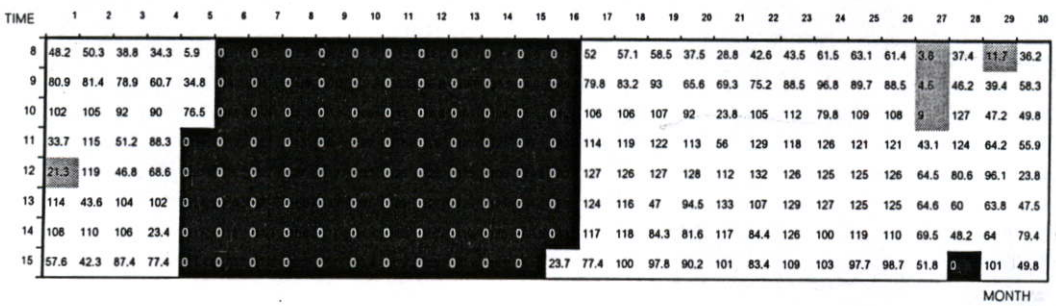
เดือนกุมภาพันธ์

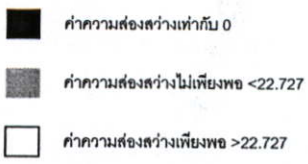


เดือนมีนาคม



เดือนเมษายน





รูปที่ 6.14 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกของห้องเรียนที่มีแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) ที่น้อยกว่า 22.727 Klux ในเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม (ต่อ)

เดือนพฤษภาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	20.9	62.7	43.5	35.7	28.2	62.8	66.1	51.8	38.8	13.1	58.8	15.6	20.7	48.7	34.5	35.4	29.3	29.6	19.5	48.8	19.9	51.8	31	37.9	34.6	23	26.8	44.1	25.2	0	0
9	41.1	100	57.3	51.5	71.9	82.9	86.5	101	80.3	26.5	65.4	0	39.8	67.7	54.8	63.4	44.5	39.3	28.7	76.7	44.6	45.1	76.1	68.4	52.9	80.8	51	40.6	50.8	0	0
10	32.7	72.3	63.3	96.1	92.8	109	113	113	113	40.3	55.3	57.9	77.3	87.2	45.2	44.1	70.1	51.5	68.3	56.5	51.2	31.8	55.7	13.6	37.1	30.9	83.7	67.9	60.6	0	0
11	71.2	96.9	56.8	117	68	123	126	74.9	116	60.2	29.6	72.6	61	122	99.9	72.6	89.3	74.3	45.8	125	106	65.1	58	37.9	93	28.8	96.1	62.1	96.4	0	0
12	100	54.3	74.4	116	85	124	114	92.7	129	65.1	134	78.5	3.3	5.3	32.6	113	17.6	104	115	117	78.5	113	53.2	30.4	82.4	18.4	79.9	79	76.9	0	0
13	37.4	63.5	117	96.5	36.4	89.8	109	95	127	110	106	96.4	3.3	8.5	83	114	11.5	67.9	119	48.8	39.8	36	98.5	20	56.1	26.1	87.6	121	83.9	0	0
14	22	79.9	117	124	73.5	118	72.5	111	90.8	80.6	38.1	41.7	13.6	11.3	17.2	104	12.2	103	105	89.8	8.5	67.2	25.1	62.6	7.2	16.7	66.5	94.1	61.6	0	0
15	13.3	17.3	86.4	49.4	108	101	60.2	101	97.8	35.9	87.9	8.8	14.8	22.7	61.1	85.8	19.5	90.6	90.7	39	15.4	99.3	35.1	86.4	39.7	24	56.2	72	59.9	0	0

MONTH

เดือนมิถุนายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	53.2	48.3	52.2	36.3	30.6	40.1	14.2	28.3	34.7	22.9	21	26.4	34.9	30.9	55.4	56.4	25.1	27.1	9.9	51.8	0	0	32.2	28.4	20.4	50	44.3	41.1	48.7	48.5
9	79.1	77.5	77.7	50.1	46	83.1	53	35.6	51.5	42.1	35.9	43	66.5	43.8	50.1	77.7	41.5	44.1	45.1	46.8	0	0	78.3	57.1	45.2	62.7	69.4	36.7	72.1	73.1
10	96.1	87.2	97.8	65	75.9	108	50	85.3	32.8	46	97.6	55.3	98.3	105	96.4	99.2	40.2	72	40	63.8	0	0	88.2	53.8	109	90.6	91.4	94.8	91.1	91.8
11	115	101	96	133	68.8	93.2	63.1	44.7	73.4	66.2	8.1	108	100	104	94.5	103	49	106	118	61.1	0	0	83.9	55.1	83.5	94	98.9	107	103	103
12	87.7	83.2	109	37.8	85.3	115	97.3	53.2	20.4	42.7	14.4	66.4	102	114	77.6	66.8	46.3	65.4	61.6	60.4	0	0	109	56.5	72.1	110	105	109	107	109
13	40.1	78.8	125	38.4	65.8	37.6	26	42.9	45.2	23.9	8.8	119	110	105	107	70.3	46.9	75.8	61.6	53.4	0	0	109	49.1	108	73.1	101	31.8	108	107
14	78.7	41.3	73.9	99.2	53.7	38.6	47.5	66.6	78.4	34.7	10.9	87.8	97.1	107	82.6	74.9	33.3	74.8	58.8	75.1	0	0	101	52.1	110	70.1	75	26.6	104	72.3
15	83.2	33.6	13.2	55.6	55.2	53.3	74.3	53.1	12.6	20.5	17.5	71.1	39.7	78.4	30.6	54.4	35.8	43	46.8	37.8	0	0	85.8	43	47.4	74.6	38	75.4	101	47.8

MONTH

เดือนกรกฎาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	48.9	40	42	30.6	42.3	21.2	50.2	56.7	0	50.3	44.1	37.5	34.2	19	39.9	38.7	41.8	38.7	51	30.9	57.9	49.4	49.8	19.7	28.9	15.2	12	23.3	40.3	0	0
9	73.2	60	71.8	45	63.2	48.5	72.4	34.5	0	74.3	80.8	62.5	54.1	9.6	49.2	66.6	21.1	45.2	73.4	58.2	75.2	69.8	49.2	40.5	39.3	35	26.8	39.2	73.1	0	0
10	89.8	85.9	72.3	68.2	89.3	43.2	96	30	0	94.6	87.5	72.7	56.8	38.5	88.6	87	55	83.2	92.4	91.2	98.7	74.4	73.4	67.3	61.6	34.4	42.8	71.3	86.2	0	0
11	102	96.1	95.6	54.5	101	48.7	104	117	0	105	104	67.7	54.3	67.9	76.1	104	80.3	110	96.1	97.8	41.5	71.1	84.9	75.6	35.9	29	76.3	61.9	58.7	0	0
12	110	108	86.8	97.4	74.2	56.7	110	109	0	107	93	70.7	29.7	68.2	70.9	47.1	80	107	107	110	49.1	112	76.4	74	50.1	37.5	100	57.9	86.7	0	0
13	112	109	101	69	100	64.2	111	106	0	111	105	86.6	31.7	46.2	103	109	75.8	53.5	111	0	115	0	118	67.5	54.9	61.4	48.9	72.5	67.9	0	0
14	96.1	84.3	51.5	72.5	100	51	100	66.8	0	103	68.8	107	38.3	108	95.1	101	90.1	107	100	0	113	0	82.8	52.4	14.3	86.6	53.2	81.1	61.3	0	0
15	55.2	32.5	87.9	37	75.6	35.8	83.9	86.9	0	78.7	57	62.7	42.8	87	49.9	74.6	91.1	81.8	37.1	0	96.7	0	87.3	32.2	31.7	72.8	52.5	47	29.4	0	0

MONTH

เดือนสิงหาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	13.7	19.3	18.7	23.6	16.8	16.5	51.5	26.7	54.1	23.3	28.4	24.7	25.9	49.8	41.8	53.7	54	26	47.3	25.7	49.7	15.8	28.1	16.9	19.3	31.5	19.2	23.5	33.5	40.6	26.9
9	51.6	38	48.3	33.5	37.4	26.8	53.5	50	76.4	53.2	64.4	37.4	73	33.6	80.4	79.7	65.4	43	75	36.2	73	20.9	48.4	12.5	50	56.4	41.7	36.9	72.8	73	86.1
10	101	47.1	106	52.6	62.6	92.4	56.3	102	88.5	83.6	95.7	25.9	93.8	88.8	96.4	95.2	98.8	97	92.7	58.1	72.7	55.8	90.6	84.1	103	85.1	67.9	77.9	94	63.1	92.9
11	96.7	51.8	53.1	41.8	68.2	67.9	66.7	63	108	109	114	34.7	107	114	85	107	81.2	106	92.5	64.9	105	104	49.1	20.2	65.4	106	99	38	97.2	106	77.8
12	104	53.9	63.7	43.8	71.3	75	50.4	97.3	103	75.2	81.7	52.4	114	43.4	114	112	91.5	111	116	60	67.7	109	81.9	43.3	91.4	115	95.7	64.3	99.8	76.4	100
13	6.3	58.2	75	59.3	65.2	77.2	56	115	0	66.7	99.3	28.7	79.9	35.4	122	94	84.2	109	73.1	80.2	77.2	107	46.5	38	86.7	114	90.9	76.3	96.7	92.2	89.5
14	80.1	65.1	58.4	77.6	51	54.1	64.2	84	0	64.2	72.9	40.2	69.7	89.2	102	114	89.8	89.8	63.6	107	91.2	40.8	9.1	33.8	19.8	83.3	60.2	49.3	60.1	82.7	72.6
15	14.7	34.6	111	52.6	28.2	34.5	31.8	41.9	0	88.5	37.3	39.4	50.6	43.6	86.4	60.1	91.3	34.1	33.8	33.4	86.7	72.8	12.7	27.5	30	68.5	77.7	21.1	70.3	88.1	82.5

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <22.727

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >22.727

รูปที่ 6.14 แสดงปริมาณแสงสว่างภายนอกของห้องเรียนที่มีแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) ที่น้อยกว่า 22.727 Klux ในเดือนกันยายน - ธันวาคม (ต่อ)

เดือนกันยายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	45.9	19.4	46.5	47.6	44.4	36.4	31.8	28.2	49.4	28.6	28	17.9	33.2	50.6	50.1	61.2	36.7	41.9	27	30.5	14.8	23.4	43.5	43.5	11.8	53.8	35.4	3.4	47.8	45
9	60	57.6	75.3	73.7	71.1	69.5	46.8	52.2	43.1	33.9	55.6	29.6	103	75.5	70.5	73.9	58.8	72.9	76.4	31.5	23.3	34.6	72.3	48.2	47.9	77.4	69.8	8.3	33.5	59
10	93.8	69.3	94.3	93.9	79.9	84	65.9	70.6	108	92.5	56.1	37.7	82	95.4	56.1	82.4	57.5	86.1	94.4	75.9	32	76.5	77.8	86	52.2	34.9	82.7	20.2	98.2	79
11	64.2	123	105	105	104	105	85.1	91.1	101	59	48.9	42.6	77.8	108	118	112	57.3	63.3	111	67.5	48.4	66.6	116	94.2	54.6	107	29.3	16	50.2	70.2
12	113	55.7	65.6	103	110	106	89.8	83.2	107	120	66.1	75.4	127	98.1	122	89.6	51.7	112	108	77.2	125	62	119	47.9	47.8	86.9	55.8	124	60.3	40.1
13	109	53.3	116	48.2	104	64.4	82.9	114	112	93.7	68.9	51.6	118	109	78.8	53.4	69.7	113	63.1	96.7	107	17.6	110	52	120	87.5	27.9	121	89.6	107
14	40.4	101	117	97.6	110	32.8	97.7	91.9	102	81.5	96.6	80.1	105	106	102	69.3	89	93.1	69.6	81.2	65.4	16.2	48.5	30.8	58.3	15.5	31	58.5	108	54.2
15	84.2	44.4	37.4	53.6	37.9	16.2	76.2	92.6	84.7	68.2	56	52.9	84.9	56.7	77.9	75.8	70.9	67	38.2	40.5	82.3	18.7	47.1	12	6.9	6	29.5	39.8	22.1	79.3

MONTH

เดือนตุลาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	30.7	56.1	45.3	0	47.9	46.9	56.8	31.5	46.1	29	27.7	47.4	25	15.5	51.9	35.7	24.5	44.2	45.2	45.6	10.1	18	16.1	33.7	30	17.6	18.5	16.3	0	0	0
9	38.6	50.8	62	0	73.9	72.8	37.5	81.2	35.7	81.1	29.5	72	74.7	26.1	73.6	56.6	52	69.2	68.7	68.3	18.2	5.1	19.6	50.2	39.1	31.6	44.1	22.5	0	0	0
10	43.9	79.8	105	0	66.3	90.6	52.3	104	103	91.9	59.6	93.8	62.6	54.4	73.9	85.5	90.9	36.1	87.2	87.4	26.2	20	26.7	94.9	93.6	95.4	31.4	42.7	0	0	0
11	48.2	52.1	110	0	82.3	21.2	84.5	88.3	57	104	108	62.3	46.2	124	101	53.4	67.8	108	98.8	61.8	53.3	8.5	22.1	56.7	72.6	106	44	93.3	0	0	0
12	110	52.3	67.2	0	64.6	31.8	88.7	109	81.2	76.3	102	42.6	105	56	81.1	81.3	86.8	34.8	102	95.6	73.3	6.1	53.7	42.3	86.8	101	41.7	78.2	0	0	0
13	124	86	50	0	23.7	107	91.9	93.7	92.3	14.9	71.5	65.3	44.9	113	36.3	94.6	73.7	61.5	97.2	62.7	54.9	12.4	52	106	54.4	88.8	31.1	96	0	0	0
14	19.8	43.8	38.4	0	84.4	78.6	59.8	36.4	76.6	4	87.5	34.5	23.5	82.3	33	83.9	54.7	27.6	88.6	39.6	38.2	12	86	78.1	54.7	37.2	34.8	72.8	0	0	0
15	32	40.2	52.8	0	15.3	42.8	75.3	39	61.2	16.2	56	55.3	30.7	7.2	16	69	46.6	29.8	70.3	15	29	11.3	19.2	33.4	68.6	40.9	54.3	34.7	0	0	0

MONTH

เดือนพฤษจิกายน

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	14.5	0	11.2	47.1	17.7	21.3	23.9	12.6	43.4	34	37.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.5	20.3	36.6	35.9	37.6	14.6	34.9
9	55.4	0	30.8	50.5	29.1	81.5	21.7	60.9	67	35.3	39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	34	56.3	58.7	58.7	73.4	57.9
10	47.8	0	65.3	42.7	28.6	48.1	92.1	34.3	83.5	47.4	71.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	79.1	49.5	55.6	76.3	75.5	83.9	74.4
11	61.8	0	81.2	57.6	71	94	72.5	81.7	95.4	86.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	63.2	51.7	52.6	88.1	88.2	64.1	82.6
12	49.4	0	60.4	92.3	64.3	68.1	119	34.8	104	96.6	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.9	98.9	59.6	95.2	95.2	88.6	69.7	93.8
13	67.4	0	80	56	34	66.4	36.9	35.1	94.4	93	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.3	28.4	23.5	92.9	80.8	87.6	90.4	89.3
14	53.5	0	50.9	85.6	96	33.4	33.8	59.4	88.4	77.4	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.1	17.7	37.3	86.2	76.8	78	86.9	79.3
15	0	0	27.3	41.2	37.6	16.9	64.6	61.8	10.1	19.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.6	58.1	38.7	58.2	58.1	59.6	43.2	61.8

MONTH

เดือนธันวาคม

TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	35.6	36.7	14.5	10.6	33.1	12.9	36.8	31.6	30.6	36	31.4	13.9	8.1	18.6	29.8	29	28.3	30.9	23.9	24.3	28.2	11.9	30	30.3	29.3	27.3	28.1	27.2	6.9	25.9	26.5
9	59	59.4	57.4	19.2	22.8	18.7	35.4	59.8	57.2	55.3	21.9	34	22.3	25.5	51.1	53.9	52.7	54	50.9	53.5	49.7	46.1	50.2	51.8	50.2	49	49.4	50.1	51.1	48.3	49.5
10	77.1	77.3	83.8	21.4	73.1	32.7	59.5	78.7	73.7	67.5	34.5	47.5	79.7	36	69.5	71.5	69	73.9	69.6	73.6	67	71.6	70.2	71.4	69.7	68.9	67.7	69.9	64.5	68.4	65.6
11	88.7	88.3	99.9	55.5	45.3	59.9	64.7	90	87.2	72	44	74	73.9	99	83.1	82.6	75.8	62.3	87.7	77.7	80.5	82.6	82.3	83.4	81.6	79.5	80.2	80.2	78.1	80.7	80.3
12	92	90.7	95.3	58.5	120	67.5	59.7	92.9	90.9	79.1	70.4	63.6	90.4	40.2	90	86.3	85.5	54.1	83.2	86.9	86.5	86.8	87.2	88.2	86.6	86.4	83.1	87.5	85.6	87.7	83.2
13	89.5	88.8	65.1	74.7	105	32.1	70	88.2	75.7	86.3	53.4	57.7	80.1	91.2	85.5	85.5	85.7	64	85.3	83.8	85	82.9	85.1	85.8	80.2	80.9	84.4	71.7	83.2	80.8	81.2
14	77.6	77.7	52.5	36.1	71.6	48.4	83.8	73.2	78.8	74.9	63.9	56.4	78.3	38.8	75.8	75.7	72.1	75.1	75.2	73	74.5	72.3	75.3	75.5	73.3	71.3	74.4	76.5	73.9	70.3	71.6
15	60.6	60.4	22.9	29.2	10.9	46.7	56	57.7	56.3	58.4	59.4	47.3	34.4	57.3	60.3	56.3	54.9	37.4	60.3	57.1	58.2	57.1	58.1	58.1	56.4	54.8	58.8	38.4	57.7	54	59.6

MONTH

ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 0

ค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอ <22.727

ค่าความส่องสว่างเพียงพอ >22.727

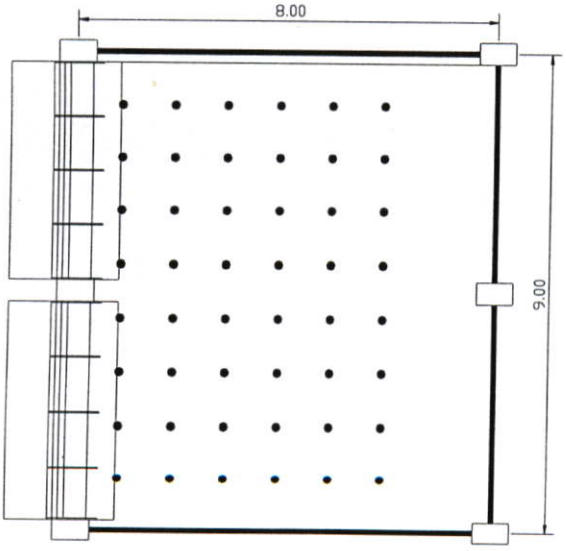
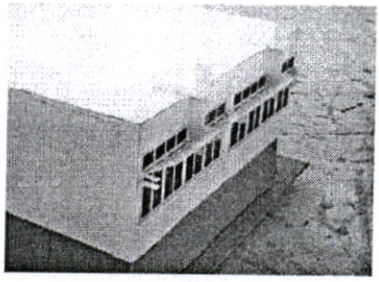
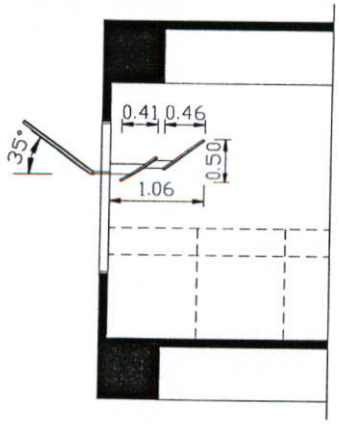
ผลจากการทดลองทั้งหมดพบว่ารูปทรง Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร มีมุม 35 องศา ทาสีขาวเคลือบเงา จะมีค่าการสะท้อนแสงมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย Daylight Factor แถวในสุดจากช่องหน้าต่างเท่ากับ 2.74 % (ค่าความส่องส่วางภายนอก 18,248 Lux) แต่ไม่สามารถป้องกันแสงจ้า (Glare) จึงทำการออกแบบแผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียนและทำการทดลองวัดการกระจายแสงจึงพบว่ามีค่าเฉลี่ย Daylight Factor แถวในสุดจากช่องหน้าต่างเท่ากับ 2.20 % (ค่าความส่องส่วางภายนอก 22,727 Lux) ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานกำหนดและสามารถใช้แสงธรรมชาติในการสะท้อนแสงผ่าน Light Shelve แบบนี้ได้ตลอดช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน หรือ 72.14 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี โดยใช้แสงแสงประดิษฐ์น้อยมาก

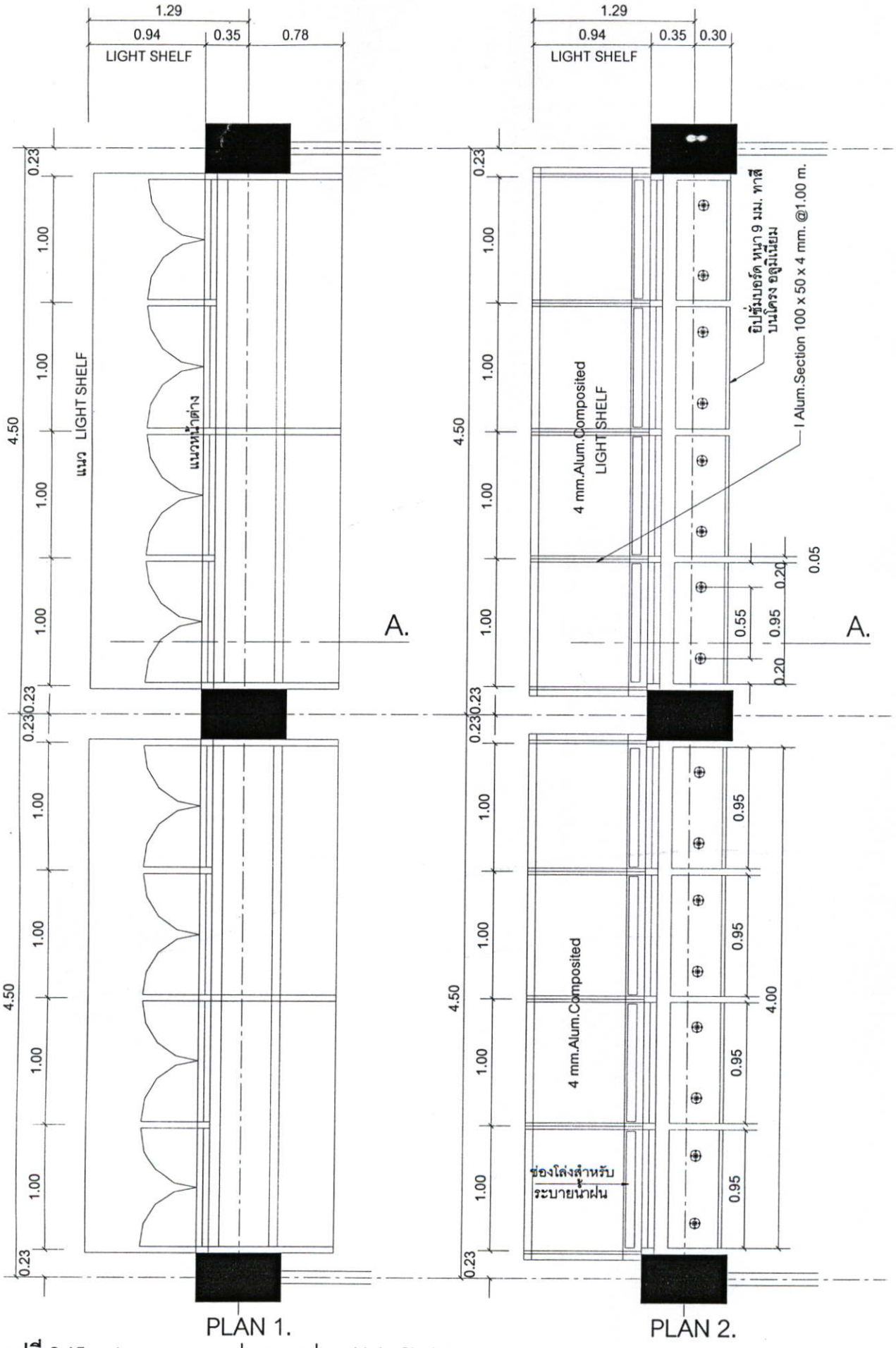
ดังนั้นจึงเลือกรูปทรง Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร มีมุม 35 องศา ทาสีขาวเคลือบเงาและใช้แผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียนในการออกแบบควบคู่กันไปด้วย

6.10 แบบขยายรูปทรง Light Shelve ที่เลือกใช้

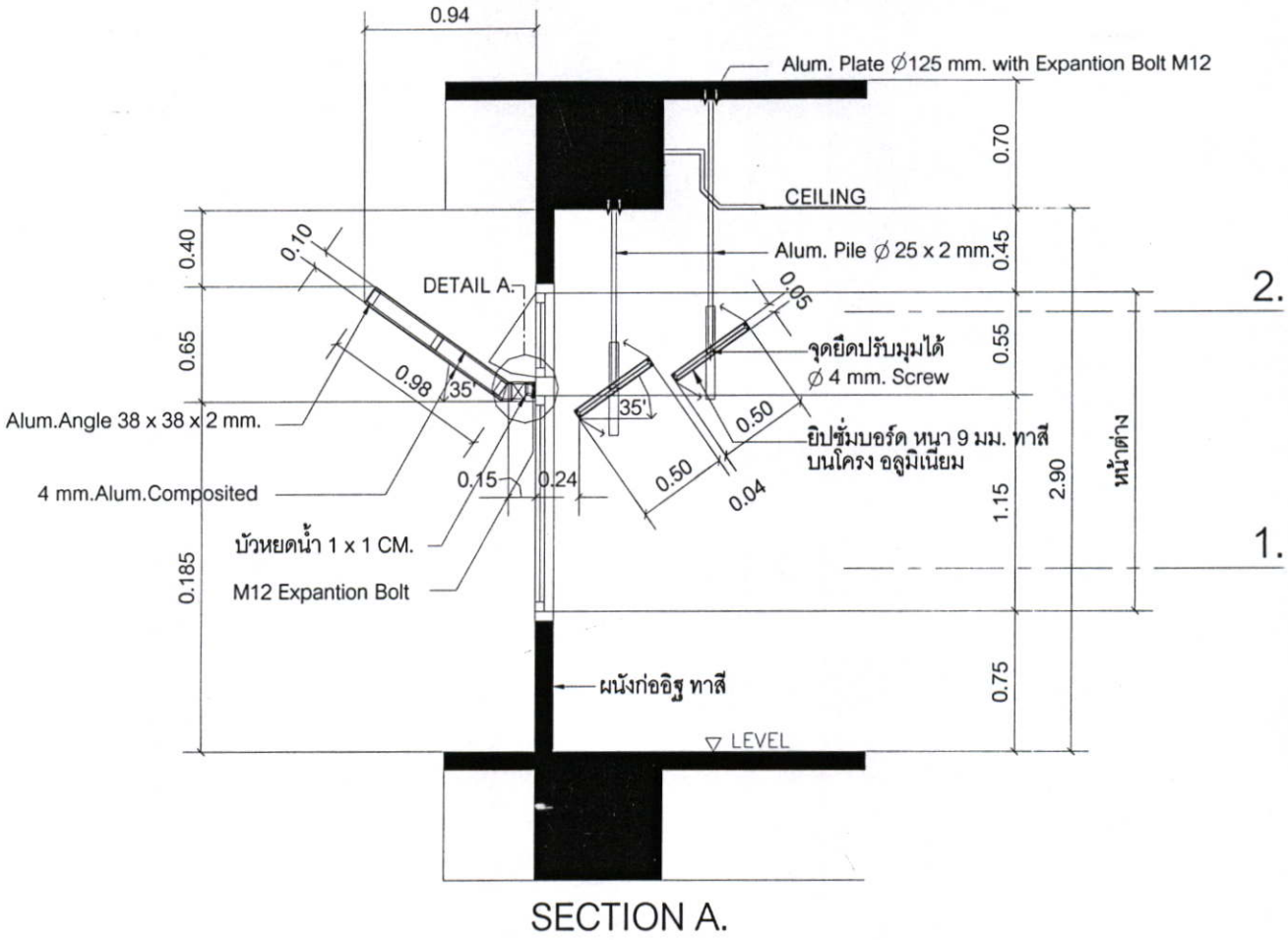
รูปแบบที่ทำการวิเคราะห์ทดลองว่ามีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ส่วนในสุดจากขอบหน้าต่างของห้องเรียนได้สูงสุดคือรูปทรง Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร มีมุม 35 องศา ทาสีขาวเคลือบเงาและใช้แผงป้องการแสงจ้าภายในห้องเรียนมีรูปแสดงดังนี้

ตารางที่ 6.38 แสดงรูปทรงทั่วไปของ Light Shelve ที่เลือกใช้

รูปทรง Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร มีมุม 35 องศา ทาสีขาวเคลือบเงา ใช้แผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียน
  

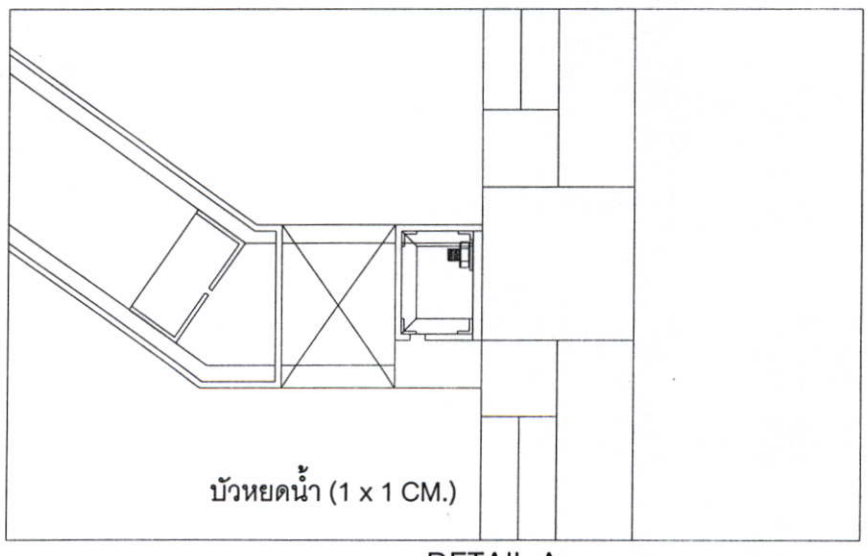


รูปที่ 6.15 แสดงแบบขยายแปลนของรูปทรง Light Shelve



SECTION A.

รูปที่ 6.16 แสดงแบบขยายของรูปทรง Light Shelve ที่เลือกใช้ในการออกแบบ



DETAIL A.

รูปที่ 6.17 แสดงแบบขยายบัวหยดน้ำเพื่อป้องกันน้ำฝนเข้าสู่ห้องเรียน

จากแบบขยายรูปทรง Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร มีมุม 35 องศา ทาสีขาวเคลือบเงา และใช้แผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียน มีรายละเอียดดังต่อนี้

1. **วัสดุที่เลือกใช้**

วัสดุที่เลือกใช้ควรมีมีคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อนี้

- วัสดุที่เป็น Finishing ต้องมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้นาน
- มีความแข็งแรงทนทาน
- มีอายุการใช้งานได้นาน
- ค่าบำรุงรักษาต่ำ
- กันน้ำและกันความชื้นได้ดี
- โครงสร้างมีน้ำหนักเบา
- หาซื้อได้ง่าย

ดังนั้นวัสดุที่ใช้จึงเลือกใช้อลูมิเนียมเป็นหลักเนื่องจากมีคุณสมบัติตามที่กล่าวมา ดูรูปที่ 6.15 และรูปที่ 6.16 ประกอบ

วัสดุของ Light Shelve ขนาด 0.98 เมตร มีมุม 35 องศา ทาสีขาวเคลือบเงา

Finishing	:	Aluminium Composited 4 มม. พ่นสีขาวเคลือบเงา
โครงเคร่า	:	Aluminium Angle 38×38×2 มม.
		I Aluminium Section 100×50×4 มม. @ 1.00 เมตร

วัสดุของ แผงป้องการแสงจ้า ขนาด 0.50 เมตร

Finishing	:	ยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มม.
โครงเคร่า	:	Aluminium Pile Ø 25×2 มม.

2. **การทำความสะอาด** Light Shelve

การทำความสะอาดทำให้การสะท้อนแสงของ Light Shelve ยังคงประสิทธิภาพ โดยการทำความสะอาดทุกๆ 1 เดือน ดู Section ประกอบในรูปที่ 6.16 โดยวิธีการปรับแผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียนให้อยู่ในแนว 90 องศา แล้วจึงเปิดช่องแสงเพื่อทำความสะอาด Light Shelve

3. **การระบายน้ำฝน**

จากรูปที่ 6.17 การออกแบบ Light Shelve มีการยื่นห่างจากตัวอาคาร 0.15 เมตร เป็นช่องโล่งเพื่อการระบายน้ำฝน และมีการป้องกันน้ำฝนไหลย้อนเข้าสู่ขอบหน้าต่างไปยังห้องเรียนโดยการออกแบบ บัวหยดน้ำ (Flashing) ให้อยู่ระหว่างความสูงของขอบวงกบช่วงบนของหน้าต่าง และขอบวงกบช่วงล่างของช่องแสง เนื่องจากจะมีอิทธิพลทำให้การสะท้อนแสงเข้าสู่ห้องเรียนลดลง

บทที่ 7
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการออก Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษา ของเขตกรุงเทพมหานคร เป็นงานวิจัยโดยอาศัยการทดลอง (Experimental Research) เพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ในส่วนที่ระดับความส่องสว่างที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในระยะที่ลึกกว่า 2.00 เมตร จากแนวขอบหน้าต่างของห้องเรียนโดยวิธีการสะท้อนแสงของ Light Shelve เป็นหลัก โดยทำการศึกษาและทดสอบปัจจัยกายภาพต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนแสงของ Light Shelve โดยการใช้หุ่นจำลองเป็นเครื่องมือในการทดสอบ และทำการเก็บข้อมูลในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) ในช่วงเวลาเดียวกัน และทำการเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายนอก และปริมาณแสงสว่างภายใน เพื่อหาระดับประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ผ่านการสะท้อน ของ Light Shelve โดยจะพิจารณาจากปริมาณที่พอเพียงและคุณภาพที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายทางด้านสายตาในการมอง โดยพิจารณาจากเกณฑ์มาตราฐานค่าการส่องสว่างจาก IES หรือ CFE เป็นหลัก ซึ่งผลการทดลองสามารถเป็นแนวทางได้ดังนี้

7.1 การกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่

การออกแบบ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษานี้ มีการกำหนดขอบเขตของตัวแปรควบคุมคงที่เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ดังนี้

1. **ประเภทอาคารเป็นอาคารเรียน**

   เป็นห้องเรียนทั่วไป มีการใช้งานตั้งแต่เวลา 8.00–15.00 น.

2. **สภาพแวดล้อมภายนอกห้องเรียน**
   - ที่ตั้งของอาคารอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร พิกัดละติจูดที่ 14 องศาเหนือ
   - สภาพแวดล้อมของห้องเรียนเป็นพื้นที่โล่งโดยรอบอาคาร
   - ทำการทดสอบวัดแสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) ในช่วงเวลา 10.00 น.

3. **ทิศทางของช่องเปิด**

   ทิศทางการออกแบบช่องเปิดวางตาม Orientation คือทิศเหนือ - ใต้ และหลีกเลี่ยงทิศทางของช่องเปิดที่หันไปทางทิศตะวันออก – ตะวันตก เนื่องจากจะได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

4. **ขนาดสัดส่วนของห้องเรียน**
   - การจัดกลุ่มอาคารเรียนเป็นแบบ Single Loaded Corridor ซึ่งสามารถนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ได้อย่างเต็มที่และมีการระบายอากาศได้ดี
   - ขนาดห้องเรียนที่เหมาะสมกับจำนวนนักเรียนประมาณ 40 คน ได้ค่าเฉลี่ย 1.80 ตารางเมตร/คน

- ขนาดห้องเรียนที่เหมาะสม 9.00 x 8.00 x 2.90 เมตร (ความสูงจากพื้นถึงพื้น 3.60 - คาน 0.70 = 2.90 เมตร)
- ขนาดช่องแสง รูปแบบช่องเปิดขอบล่างอยู่ที่ระดับความสูงจากพื้น 0.75 เมตร (ความสูงของช่องเปิด 1.15 เมตร) ขนาดช่องแสงมีความกว้างเท่ากับห้องเรียน คือ 9.00 เมตร (ความสูงของช่องแสง 0.55 เมตร) ขนาดช่องแสงมีค่าเท่ากับ 12.95 ตารางเมตร หรือ 39.96% ของผนังทั้งหมด

5. **สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน**

การออกแบบสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนที่มีค่าการสะท้อนแสงที่เหมาะสมอยู่ในเกณฑ์มาตราฐาน เพื่อช่วยส่งเสริมสภาพแสงสว่างควรใช้สีภายในห้องตามมาตราฐานกำหนด

- เพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 70 - 90 % ได้แก่สีขาว
- ผนัง มีค่าการสะท้อนแสง 40 - 60 % ได้แก่สีเทาอ่อน
- พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 30 - 50 % ได้แก่สีน้ำตาลอ่อน หรือสีเทาอ่อน
- กระดาน มีค่าการสะท้อนแสง 20 % หรือใช้กระดาน Whiteboard (เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากผงชอล์ก)

7.2 การเพิ่มแสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่ห้องเรียนด้วยวิธีการสะท้อนแสงจาก Light Shelve

การเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้โดยผ่านการสะท้อนแสงจาก Light Shelve เข้าสู่ส่วนลึกสุดของห้องเรียน มีตัวแปรกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนแสงจาก Light Shelve หลายตัวแปร ซึ่งประกอบไปด้วย การศึกษารูปแบบ, สีและลักษณะผิวสัมผัสของวัสดุ, ขนาดความลึก, รูปทรงที่มีมุมองศาที่แตกต่างกันของ Light Shelve, รวมไปถึงการออกแบบแผงควบคุมแสงจ้า (Glare) ดังนั้นจึงนำตัวแปรกายภาพเหล่านี้ไปทำการวิเคราะห์ทดลองและสรุปผลซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **รูปแบบของ Light Shelve ที่เหมาะสม**

ทำการทดลองวัดการกระจายแสงของ Light Shelve ทั้ง 4 รูปแบบ และพบว่า**รูปแบบ Light Shelve แบบ 1 ชั้น ความยาว 1.53 เมตร มีการกระจายแสงเข้าสู่ห้องเรียนได้มากที่สุด**

ตารางที่ 7.1 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve

รูปแบบ Light Shelve	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor แถวในสุด (%)
A. รูปแบบ 3 ชั้น ความยาว 1.29 เมตร	1.45
B. รูปแบบ 2 ชั้น ความยาว 1.55 เมตร	1.65
C. รูปแบบ 2 ชั้น ความยาว 1.45 เมตร	1.65
D. รูปแบบ 1 ชั้น ความยาว 1.53 เมตร	1.74

2. **ลักษณะสีและผิวสัมผัสของของวัสดุที่เหมาะสม**

ทำการวัดค่าการสะท้อนแสงของสีและผิวสัมผัสของวัสดุแบบต่างๆ และสรุปแบบที่นำไปใช้ในการทดลองจะพบว่าสีที่มีค่าการสะท้อนแสงมากกว่าสีขาวซานออ้ย ได้แก่ สีเงินสะท้อนแสงผิวเรียบและสีขาวเคลือบเงาผิวเรียบตามลำดับซึ่งมีรายละเอียดค่าการสะท้อนแสงดังนี้

ตารางที่ 7.2 แสดงผลสรุปของสีและผิวสัมผัสที่เลือกใช้

สีและวัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง (%)
A. สีขาวซานอ้ยผิวเรียบ	65
B. สีขาวเคลือบเงาผิวเรียบ	85
C. สีเงินสะท้อนแสงผิวเรียบ	92

2. **ความลึกและสีของ Light Shelve ที่เหมาะสม**

ทำการทดลองวัดการกระจายแสงเพื่อเปรียบเทียบระหว่างสีขาวเคลือบเงาและสีเงินสะท้อนแสงกับความลึกแบบต่างๆ ซึ่งจะพบว่าความลึก ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงาซึ่งมีขนาดที่สั้นที่สุดแต่มีการกระจายแสงได้ตามมาตราฐานที่กำหนดคือมากกว่า 2%

ตารางที่ 7.3 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของความลึกและสีของ Light Shelve

ความลึกและสีของ Light Shelve	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor แถวในสุด (%)
A. ความลึกขนาด 1.53 เมตร สีเงินสะท้อนแสง	2.42
B. ความลึกขนาด 1.53 เมตร สีขาวเคลือบเงา	2.22
C. ความลึกขนาด 1.20 เมตร สีขาวเคลือบเงาสั้นกว่าแบบ A 11/14)	2.18
D. ความลึกขนาด 0.98 เมตร สีขาวเคลือบเงาสั้นกว่าแบบ A 9/14)	2.12
E. ความลึกขนาด 0.65 เมตร สีขาวเคลือบเงาสั้นกว่าแบบ A 6/14)	1.86

3. **รูปทรงของ Light Shelve ที่เหมาะสมของเดือนสิงหาคม**

ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการกระจายแสงที่สูงขึ้นและพบว่ารูปทรงที่มีมุม 35 องศา มีขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงามีการกระจายแสงได้มากที่สุด

ตารางที่ 7.4 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve

รูปทรง Light Shelve ของเดือนสิงหาคม	ค่าเฉลี่ย Daylight Factor แถวในสุด (%)
A. รูปทรงมีมุม 45 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.60
B. รูปทรงมีมุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.74
C. รูปทรงมีมุม 25 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.57
D. รูปทรงมีมุม 15 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.48

4. **รูปทรงของ** Light Shelve **ที่เหมาะสมของเดือนธันวาคม**

ทำการทดลองวัดการกระจายแสงโดยใช้ตารางนาฬิกาแดดของเดือนธันวาคม เพื่อให้ทราบว่าการกระจายแสงในห้องเรียนของเดือนอื่นๆแสงยังคงสามารถกระจายเข้ามาในห้องเรียนและยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานหรือไม่ **และพบว่ารูปทรงที่มีมุม 35 องศา มีขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงาซึ่งมีการกระจายแสงได้มากที่สุดและมากกว่าเดือนสิงหาคม**

ตารางที่ 7.5 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve ของเดือนธันวาคม

รูปทรง Light Shelve **ของเดือนธันวาคม**	**ค่าเฉลี่ย** Daylight Factor **แถวในสุด (%)**
A. รูปทรงมีมุม 45 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.90
B. รูปทรงมีมุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.92
C. รูปทรงมีมุม 25 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.65
D. รูปทรงมีมุม 15 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.53

5. **การควบคุมแสงจ้า** (Glare)

โดยการออกแบบร่วมกันระหว่างรูปทรงที่มีมุม 35 องศา มีขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา กับการออกแบบแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) ภายในห้องเรียน และพบการออกแบบร่วมกันนั้นยังมีแสงกระจายเข้ามาในส่วนลึกสุดของห้องเรียนที่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตราฐาน

ตารางที่ 7.6 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของรูปทรง Light Shelve กับแผงป้องกันแสงจ้า

แผงป้องกันแสงจ้ากับ Light Shelve	**ค่าเฉลี่ย** Daylight Factor **แถวในสุด (%)**
- แผงป้องกันแสงจ้าและรูปทรงมีมุม 35 องศา ขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา	2.20

จากการทดลองทั้งหมดของการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านการสะท้อนจาก Light Shelve ด้วยตัวแปรกายภาพแบบต่างๆ โดยกำหนดขนาดสัดส่วนมาตราฐานของห้องเรียนที่เหมาะสม คือ 9.00 x 8.00 x 2.90 เมตร และมีขนาดช่องแสงด้านบนสูง 0.55 เมตร **พบว่ารูปแบบ** Light Shelve **ที่สามารถมีการกระจายแสงเข้าสู่ห้องเรียนได้ประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่รูปทรงเอียงที่มีมุม 35 องศา มีขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงา โดยออกแบบร่วมกับแผงป้องกันแสงจ้า** (Glare) **ภายในห้องเรียน** และเลือกใช้วัสดุที่ทนทาน มีอายุการใช้งานได้นาน ค่าบำรุงรักษาต่ำ กันน้ำและกันความชื้นได้ดี มีน้ำหนักเบา จึงเลือกใช้อลูมิเนียมเป็นหลัก เนื่องจากมีคุณสมบัติตามที่กล่าวมา และมีการดูแลรักษาการทำความสะอาด Light Shelve ทุก ๆ 1

เดือน ด้วยวิธีปรับแผงป้องกันแสงจ้าภายในห้องเรียน แล้วจึงเปิดช่องแสงเพื่อทำความสะอาด Light Shelve เพื่อให้การสะท้อนแสงของ Light Shelve ยังคงประสิทธิภาพ ส่วนการป้องกันน้ำฝนไหลย้อนเข้าสู่ขอบหน้าต่างไปยังห้องเรียนโดยการออกแบบ บัวหยดน้ำ (Flashing) ให้อยู่ระหว่างความสูงของขอบวงกบช่วงบนของหน้าต่างและขอบวงกบช่วงล่างของช่องแสงโดยไม่ไว้ชิดกับส่วนแผ่นสะท้อนแสง เนื่องจากจะมีอิทธิพลทำให้การสะท้อนแสงเข้าสู่ห้องเรียนลดลง

ดังนั้นการกระจายแสงของรูปทรงเอียงที่มีมุม 35 องศา มีขนาด 0.98 เมตร ทาสีขาวเคลือบเงาโดยออกแบบร่วมกับแผงป้องกันแสงจ้า (Glare) ภายในห้องเรียนพบว่าการกระจายแสงแถวลึกสุดจากระยะขอบหน้าต่างของห้องเรียนมีค่าเฉลี่ย Daylight Factor 2.20 % ซึ่งเปรียบเทียบกับระดับความส่องสว่างภายนอกที่มีค่าต่ำสุดและหาค่าความส่องสว่างภายในห้องเรียนได้ 1,646 Lux ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตราฐานที่กำหนดไว้คือ 500 Lux และสามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติโดยวิธีการสะท้อนแสงของ Light Shelve เข้าสู่ส่วนลึกสุดห้องเรียนได้ถึง 93.18 % ของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี หรือ 1,928 ชั่วโมงของช่วงเวลาใช้ห้องเรียนทั้งปี โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยแสงประดิษฐ์นอกเหนือจากวันที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าหรือวันที่ปริมาณแสงสว่างภายนอกน้อยกว่า 22,728 Lux

7.3 ประโยชน์และการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ

จากการศึกษาการออกแบบ Light Shelve เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสถานศึกษาที่เหมาะสม นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพจากการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติโดยการสะท้อนเข้าสู่ส่วนที่ลึกสุดภายในห้องเรียนอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ผลจากการออกแบบ Light Shelve ในการศึกษาวิจัยนี้ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ลงได้ เนื่องจากสามารถใช้แสงธรรมชาติที่ผ่านการสะท้อนแสงจาก Light Shelve ได้ตลอดทั้งวันที่มีการเรียนการสอนโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยแสงประดิษฐ์นอกเหนือจากวันที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าและไม่เพิ่มภาระความร้อนให้กับห้องเรียน เพราะเป็นการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ห้องเรียนโดยการสะท้อนผ่าน Light Shelve เข้าสู่ห้องเรียนโดยไม่ได้รับแสงตรงจากดวงอาทิตย์ ถึงแม้จะเป็นเพียงแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงสว่างลงได้ และหากมีการประหยัดในส่วนของอาคารเรียนหลายๆ แห่ง และมีจำนวนที่มากขึ้นแล้วแนวโน้มอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศก็จะลดลงด้วยเช่นกัน

ผลงานการวิจัยครั้งนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้กับอาคารจริงและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารอื่นๆ เช่น อาคารพักอาศัย สำนักงาน โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม โรงแรม หรือศูนย์วิจัยอื่นๆ เป็นต้น โดยผ่านขบวนการออกแบบที่มีพื้นฐานมาจากการวิจัยครั้งนี้ หรือถูกนำเสนอในรูปของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโดยนำผลวิจัยไปพัฒนาหรือปรับปรุงให้เหมาะสมกับการผลิตแบบจำนวนมากในอนาคต

7.4 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้มีระยะเวลาการศึกษาที่จำกัดดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางการศึกษา และวิจัยต่อไปดังนี้

1. ควรพิจารณาปริมาณแสงสว่างในสภาพท้องฟ้าทุกลักษณะเพื่อข้อมูลจะมีความชัดเจนและครบถ้วนมากขึ้น
2. การหาแนวทางปัจจัยกายภาพของ Light Shelve เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านของเวลาในการวิจัย ดังนั้นผู้ออกแบบจึงศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวกับรูปแบบและขนาด Light Shelve , ลักษณะสีผิวสัมผัสของวัสดุ , ขนาดความลึก , รูปทรงที่มีมุมองศาที่แตกต่างกัน , และการออกแบบแผงควบคุมแสงจ้า (Glare) โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการกระจายแสงส่วนลึกสุดของห้องเรียนให้ได้มาตราฐานกำหนด แต่อย่างไรก็ตามยังมีตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากตัวแปรดังกล่าว เช่น ขนาดสัดส่วนของรูปทรงโค้งในรัศมีที่แตกต่างกันของ Light Shelve , การออกแบบขนาดของแผงป้องกันแสงจ้าในมุมองศาที่แตกต่างกัน เป็นต้น
3. ในการวิจัยนี้เป็นการทดลองในระยะเวลาที่จำกัดดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงเป็นการคำนวนหาค่าเฉลี่ยทั้งปีจากข้อมูลสถิติของปริมาณแสงสว่างภายนอกในปี 2542 จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) หากมีการเก็บข้อมูลจริงทั้งปี ข้อมูลที่ได้จะมีความถูกต้องสมบูรณ์ขึ้น
4. ความคลาดเคลื่อนจากการบันทึกข้อมูลเนื่องจากการเก็บข้อมูลของแสงสว่างต้องใช้การแปลงค่าของอุปกรณ์เซนต์เซอร์ (Photometric Sensor) เพื่อต่อเชื่อมกับเครื่องมือวัดแสง (Opus200)เพราะไม่ได้เป็นเครื่องมือวัดแสงที่มาคู่กันโดยตรงดังนั้นการตั้งค่าของความคลาดเคลื่อนในการวัดแสงจึงตั้งค่าเท่ากับบวกลบ 20 Lux
5. ในการวิจัยนี้เป็นการทำการทดลองภายในเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้นมิได้เป็นการทำการทดลองในหลายๆ สถานบัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมในเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้น ซึ่งผลการทดลองอาจแตกต่างไปจากนี้หากทำการทดลองในสถานที่อื่น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไปในหัวข้อเดียวกันนี้ควรจะศึกษาในเรื่องที่ต่อเนื่องกับงานวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้ามาในส่วนลึกสุดของห้องเรียนได้สูงสุด โดยทำการศึกษาวิเคราะห์รูปทรงโค้งของรัศมีที่แตกต่างกัน และศึกษาการออกแบบขนาดของแผงป้องกันแสงจ้าในมุมองศาที่แตกต่างกันหรือทำการทดลองในลักษณะเดียวกันโดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบให้ครบ 1 ปี และทำการทดสอบในสถานที่ซึ่งมีสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่ายังมีวิธีอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนแสงเข้าสู่ห้องเรียนอีกหลายวิธีด้วยกัน เช่นการออกแบบเพื่อการสะท้อนแสงธรรมชาติจากเพดานเข้าสู่ห้องเรียนโดยออกแบบร่วมกับ Light Shelve หากมีการศึกษาอย่างถูกต้องและเหมาะสมก็สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างจากการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

เกียรติ อัชรพงศ์. มปป. **การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน** กรุงเทพฯ.

กองแผนงานกรมสามัญศึกษา กลุ่มสาระสนเทศ. 2543. **สถิติการศึกษาฉบับย่อกรมสามัญศึกษา ปีการศึกษา 2542.** กรุงเทพฯ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. 2542. **สาระศาสตร์สถาปัตย์ ฉบับ 2.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร. มปป. **เทคนิคการส่องสว่าง.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. 2539. **การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน.** กรุงเทพฯ.

ธีระมน ไวโรจนกิจ, ผศ. 2542. **สภาพแวดล้อมของอาคาร.** เอกสารสารคำสอนวิชาเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมของอาคาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนิต จินดาวณิค, ผศ. มปป. **เอกสารประกอบการสอนเรื่องพลังงานกับการออกแบบสถาปัตยกรรม.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิบูลย์ ดิษฐอุดม. 2544. **การออกแบบระบบแสงสว่าง.** กรุงเทพ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

มานิจ ทองประเสริฐ, รศ.ดร. 2529. **แสงอาทิตย์กับอาคาร.** เอกสารประชุมทางวิชาการในงานสถาปนิก 29 เรื่องการประหยัดพลังงานในอาคารและเมือง. กรุงเทพฯ : สมาคมสถาปนิกสยาม

มาลินี ศรีสุวรรณ, ผศ. 2529. **การใช้แสงสว่างธรรมชาติเพื่อประหยัดพลังงานในอาคาร.** เอกสารประชุมทางวิชาการในงานสถาปนิก 29 เรื่องการประหยัดพลังงานในอาคารและเมือง. กรุงเทพฯ : สมาคมสถาปนิกสยาม.

มาลินี ศรีสุวรรณ, ผศ. ม.ป.ป. **ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบอาคารสาธารณะประเภทต่าง ๆ.** กรุงเทพฯ.

ไพศาล จันเตยูร, ผศ. 2539. Climatic design in tropical housing & building. เชียงใหม่ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2542. **การใช้กระจก.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คอมฟอร์ม.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2542. **เครื่องชี้ภาวะสังคม 2538 – 2542.** กรุงเทพฯ.

สำนักนโยบายและแผนกรุงเทพมหานคร, 2543. **งานสนเทศสถิติ สถิติกรุงเทพมหานคร ปี** 2543. กรุงเทพฯ.

สมาคมสถาปนิกสยาม, สำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. " **วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะ 2** " กรุงเทพฯ : 2543

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

ภาษาอังกฤษ

Stein, B and Raynolds, J.S. 1992. **Mechanical and electrical equipment for building.** 7^{zh} ed. New York : John Wiley & Son.

Evans, B.H. 1981. **Daylighting in architecture.** New York : AIA.

Egan, D.M. 1983. **Concepts in architectural lighting.** New York : McGraw – Hill

Mills, E.D. 1976. **Planing Buildings for Education, Cuture and Science.** Scotland: Thomson Litho Ltd.

Claude, RL. 1986. **Daylighting design and analysis.** New York : Van Nostrand Reinhold.

Donal, W. et. al. 1997. **Time Saver Standards for Architecture Design Data : The Reference of architectural fundamentals.** Handbook Callender. 7th Singapore : McGraw – Hill.

Flym, J.E. and Mills S.M. 1962. **Architectural lighting graphic.** New York : Reinhold Pushishing Corporation.

Kaufman, E. et. al. 1985. **IES Lighting handbook reference volume.** Llluminating engineering society of north America. New York.

Guzowsski, M. 1976. **Daylighting for sustainable design.** New York : McGraw – Hill

Moore, F. 1985. **Concept and practice of architecture daylighting.** New York : Van Nostrand Reinhold.

Lechner, N. 1991. **Heating cooling lighting design methods for architect.** Canada : A wile interscience publication.

Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. **Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok.** The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

Chirarattananon, S. 1998. **Daylight for Building in the Tropic I : Daylight Availability and Heat Gain in to Building.** Bangkok : Asian institute of technology.

Chirarattananon, S. 1998. **Daylight for Building in the Tropic II : Daylighting Methodology.** Bangkok : Asian institute of technology.

ภาคผนวก

ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543

(Solar Time)

ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time)

Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg
1	719	2.6	2	1109	67.7	5	1604	30.4	7	815	11.4	8	1645	18	10	749	14.8	11	935	56.7	12	1200	60.6	13	1109	53	14	1000	31.5	15	900	35.7	16	800	9	16	1725	8.4	17	1615	30.3	18	1505	52.5	19	1350	86.1	20	1235	90.2	21	1120	90	22	1005	58.3	23	905	41.5	24	745	13.3	24	1710	13.9	30	1503	45	31	1353	88.6
1	725	3	2	1115	78.8	5	1610	30.1	7	820	12.1	8	1649	16.1	10	755	16.2	11	939	59	12	1205	66.8	13	1115	59.7	14	1005	35.4	15	905	56.3	16	805	8.6	16	1730	7	17	1625	29.1	18	1509	54.2	19	1354	73	20	1239	91.2	21	1124	89.5	22	1009	66.4	23	909	48.6	24	749	14	24	1715	12.5	27	805	2.5	28	1228	102	29	1627	19.8	30	1508	45.6	31	1358	95.7
1	730	3.7	2	1120	75.2	5	1615	29.1	7	824	13.1	8	1655	14.5	10	800	17.7	11	945	59.6	12	1209	67.1	13	1120	67.5	14	1009	47.4	15	909	45.2	16	809	9.1	16	1734	6.7	17	1630	29.3	18	1515	55.4	19	1400	81.3	20	1245	95	21	1130	90.7	22	1015	61.5	23	915	52.6	24	755	15.7	24	1719	11.5	27	809	2.8	28	1233	95.5	29	1632	20	30	1513	44.5	31	1403	106
1	734	4.6	2	1130	68.2	5	1625	22.9	7	835	15.9	8	1704	11.3	10	809	21.3	11	954	63	12	1220	78.1	13	1130	46.3	14	1020	81.8	15	920	38.5	16	820	14.4	16	1745	3.8	17	1640	24.8	18	1524	47.4	19	1409	83.1	20	1254	86.4	21	1139	91	22	1024	62.5	23	924	54.3	25	805	18.6	25	1730	8.8	28	820	4	29	1243	84.9	30	1523	42.9	31	1404	104.5
1	740	4.6	2	1140	68.2	5	1630	22.8	7	840	15.9	8	1709	11.3	10	814	23.1	11	1000	67.6	12	1224	72.2	13	1135	50.1	14	1024	87.8	15	924	44.4	16	824	18.9	17	710	5.4	17	1645	22.6	18	1530	44.9	19	1415	83.6	20	1300	87	21	1145	91.1	22	1030	66.8	23	930	52.2	24	809	20.3	24	1734	6.9	27	824	4.8	28	1248	70.2	29	1647	26.8	30	1528	38.5	31	1418	78.4
1	755	8.2	2	1150	79.6	5	1640	20.3	7	850	18.8	8	1719	7.6	10	824	27.5	11	1005	70.5	12	1235	61.8	13	1140	56.8	14	1035	77	15	935	38.3	16	835	17.5	17	715	7.3	17	1649	20.9	18	1535	42.4	19	1420	82.9	20	1305	92.8	21	1150	92.5	22	1035	69.3	23	935	51.7	24	815	21.9	24	1740	5.5	27	830	5.2	28	1253	74.2	29	1652	29.4	30	1533	35.8	31	1423	68.3
1	800	9.5	2	1154	79.7	5	1645	18.1	7	854	21.2	8	1725	6.4	10	830	28.8	11	1015	72.2	12	1239	62.6	13	1150	67.6	14	1039	112	15	945	33.7	16	839	17.8	17	720	13.6	17	1654	19.1	18	1539	41.7	19	1424	79.4	20	1309	87.2	21	1154	93	22	1039	73.4	23	939	52.9	24	820	24.6	24	1745	4.4	27	835	5.7	28	1258	71	29	1657	31.2	30	1538	31.7	31	1428	56.5
1	805	11.7	2	1200	79.8	5	1649	16.2	7	900	24.7	8	1730	5.3	10	835	30.7	11	1020	70.5	12	1245	85.3	13	1154	66.8	14	1045	101	15	945	61	16	845	17.4	17	740	17.8	17	1704	15.8	18	1550	46.2	19	1435	75	20	1320	83	21	1205	91.1	22	1050	76.3	23	950	58.4	24	830	28.9	25	1715	3.1	27	845	6.5	28	1308	63.4	29	1707	29.7	30	1548	28.4	31	1438	61.9
1	809	14.5	2	1215	83	5	1655	14.7	7	905	29.4	8	1734	4.5	10	845	32.6	11	1025	68.5	12	1250	53	13	1200	116	14	1050	93.6	15	950	76.7	16	850	18.1	17	746	20	17	1710	14	18	1554	41.1	19	1439	74.3	20	1324	89.6	21	1209	93.4	22	1054	78.3	23	954	62.4	24	835	31.8	25	719	3.7	27	945	9.4	28	1313	60.3	29	1712	24.8	30	1553	26.5	31	1443	72.3
1	815	16.9	2	1415	25.4	5	1700	12.9	7	909	38	8	710	3.8	10	845	34.7	11	1030	73.6	12	1254	55.5	13	1205	101	14	1054	92.8	15	954	75.9	16	854	21.1	17	749	23.3	17	1715	12.3	18	1600	37.5	19	1445	74.5	20	1330	93.3	21	1215	91.8	22	1100	80.3	23	1000	61.7	24	839	32.8	25	725	5.1	27	1330	13.6	28	1318	59.3	29	1717	21.1	30	1558	25.8	31	1448	74.5
1	820	20.4	2	1420	82.1	5	1704	10.9	7	915	47.9	9	715	4.9	10	850	37	11	1035	77	12	1300	56.2	13	1209	101	14	1100	92.1	15	1000	70.9	16	900	27	17	755	24.7	17	1719	10.7	18	1604	34.5	19	1450	68.9	20	1335	89.7	21	1220	93.1	22	1105	80.7	23	1005	64.3	24	845	32.5	25	730	6.1	27	1335	11.5	28	1323	58.4	29	1722	17.8	30	1602	26.4	31	1453	81.8
1	824	27.9	2	1610	37.8	5	1709	9.2	7	920	50	9	719	6	10	854	39.4	11	1039	78.1	12	1305	68.8	13	1215	68.9	14	1105	92.1	15	1005	76.2	16	905	30.5	17	800	27	17	1725	9.2	18	1610	34.2	19	1455	67	20	1339	89.3	21	1224	93.4	22	1109	83	23	1009	65.7	24	850	34.2	25	734	7.2	27	1342	17	30	1607	26.8	31	1458	77.9
1	830	28.4	2	1615	36.9	5	1714	8.4	7	924	60.2	9	725	7.4	10	900	41.1	11	1045	79.8	12	1309	110	13	1220	90.6	14	1110	92.8	15	1009	78.9	16	909	28.8	17	805	29.1	17	1730	7.9	18	1615	30.2	19	1500	61.1	20	1345	89.3	21	1230	96.4	22	1115	86.6	23	1015	58.9	24	855	35.3	25	740	8.9	27	1450	14.2	28	1333	55.7	29	1732	17.6	30	1612	28.1	31	1503	75.9
1	835	29.4	2	1619	34.9	5	1719	8.9	8	930	60	9	730	8.6	10	904	43.6	11	1050	83.2	13	1224	66.3	14	1115	93.1	15	1015	92.1	16	915	37.9	17	810	31.2	17	1734	6.4	18	1619	28.5	19	1505	58.9	20	1350	87.1	21	1235	96.5	22	1120	87.9	23	1020	60.2	24	900	37.2	25	745	10.1	27	1454	13.4	28	1338	53	29	1737	17	30	1617	23.9	31	1508	72.2
1	839	27.8	2	1625	32.3	5	1725	7.5	8	935	74.1	9	734	10.3	10	909	45.2	11	1055	86.3	13	1230	65.5	14	1120	87.4	15	1020	94.2	16	920	46.6	17	815	32.8	17	1739	5.3	18	1624	26.8	19	1509	56.9	20	1355	86.1	21	1239	93.7	22	1124	89.5	23	1024	69.9	24	905	40.3	25	749	11.2	27	1500	11.4	28	1343	47.5	29	1742	14.8	30	1622	22.1	31	1513	72.2
1	845	29.3	2	1630	30.6	5	1730	5.9	7	939	79.3	9	740	12	10	915	46.9	11	1315	89.3	12	1324	68	13	1235	98.2	14	1124	93.1	15	1024	43.2	16	924	31.2	17	820	35.6	17	1745	4	18	1630	23.2	19	1515	54.9	20	1400	82.7	21	1245	92.2	22	1130	95.3	23	1030	75.5	24	909	42.9	25	755	12.2	27	1504	17.3	28	1348	47.3	29	1747	11.1	30	1627	21.4	31	1518	71.7
1	850	27.7	2	1634	26.7	5	1734	4.4	7	945	77.8	9	745	13.7	10	920	49.8	11	1320	88.1	13	1330	70.3	14	1130	93.3	15	1030	46.3	16	930	37.9	17	824	38	18	710	4.4	18	1634	18.7	19	1520	50.9	20	1405	78.1	21	1250	96.2	22	1135	93.8	23	1035	76.4	24	915	48.6	25	800	13	27	1509	11.5	28	1353	52.9	29	1752	6.9	30	1632	21.1	31	1523	64.9
1	854	57	2	1640	23.5	5	1740	3.8	7	950	78	9	749	14.5	10	925	50.8	11	1325	87.9	13	1335	63.1	14	1135	93.5	15	1035	56.7	16	935	41.7	17	830	40	18	715	5.9	18	1640	16.7	19	1525	53.1	20	1409	73.6	21	1254	95.9	22	1139	93.3	23	1039	78	24	920	47.9	25	805	13.5	27	1515	12.1	28	1358	54.1	30	712	5	30	1637	22	31	1528	70.8
1	900	33.5	2	1645	22.4	6	710	4.9	7	954	77.8	9	755	17.3	10	930	53.3	11	1330	30.5	13	1340	70	14	1140	93.5	15	1040	77.7	16	940	43.1	17	835	41.8	18	720	7.4	18	1645	16.7	19	1530	47.5	20	1414	64.3	21	1300	94.1	22	1144	92.4	23	1044	79.3	24	924	52.6	25	809	13.7	27	1520	13.9	28	1403	54.6	30	718	5.8	30	1642	22.7	31	1533	64.2
1	905	28.6	2	1649	19.1	6	715	5.2	7	1000	78.8	9	800	19.2	10	935	54.9	11	1335	34	13	1345	55.9	14	1145	93.6	15	1045	76.7	16	945	46.7	17	839	43.7	18	725	9.1	18	1649	18.7	19	1535	45.6	20	1419	55.8	21	1305	92.3	22	1150	95.8	23	1049	80.6	24	929	56.3	25	814	16.3	27	1526	16.3	28	1408	52.4	30	722	6.1	30	1647	22.7	31	1538	67.5
1	909	32.2	2	1655	16.6	6	719	5.7	7	1005	78.8	9	805	21.2	10	939	57.4	11	1435	54.6	13	1350	92.5	14	1150	95.3	15	1050	58.5	16	950	45.8	17	845	45.9	18	730	12.2	18	1655	18.4	19	1539	45.5	20	1424	67.5	21	1309	94.3	22	1154	95.6	23	1054	80	24	935	58.5	25	820	14.6	27	1530	37.3	28	1413	49.3	30	727	6.6	30	1652	20.2	31	1543	63.5
1	914	32.3	2	1704	14.9	6	730	6.7	7	1015	79.6	9	815	25.6	10	950	60.5	11	1440	73.1	13	1355	87.8	14	1155	93.9	15	1055	76.4	16	955	45.8	17	850	47.9	18	735	14.2	18	1700	17	19	1545	38.3	20	1430	67.1	21	1315	94.6	22	1200	96.3	23	1100	87.6	24	939	58.6	25	824	14.8	27	1535	54.2	28	1418	44.4	30	733	7.6	30	1657	17.2	31	1548	66.6
1	924	40.1	2	1710	13.3	7	734	7	7	1020	80	9	820	27.7	10	954	61.7	11	1509	66.9	13	1405	48.5	13	1315	64.6	14	1205	97.1	15	1105	53	16	1005	62.8	17	900	51.9	18	740	16.7	18	1704	17.2	19	1550	32.2	20	1435	67.8	21	1320	90.6	22	1205	97.2	23	1105	87.5	24	945	51	25	830	13.7	27	1539	50.1	28	1423	43.4	30	737	8.7	30	1702	15.6	31	1553	62.8
1	930	40.7	2	1715	11.8	7	740	7.7	7	1024	80.6	9	824	29.7	10	1000	63.2	11	1515	64.7	12	1409	59	13	1320	59.9	14	1209	97.8	15	1109	49.3	16	1009	66.8	17	905	53.8	18	749	21.5	18	1715	13.5	19	1600	31.8	20	1445	63.9	21	1330	90.5	22	1215	96.8	23	1115	87.1	24	954	62.1	25	835	16.1	27	1545	51.4	28	1428	46.5	30	742	9.9	30	1707	13.5	31	1558	62.7
1	935	44.7	2	1720	9.5	7	745	8.3	7	1030	81.2	9	829	31.9	10	1005	65.1	11	1520	62.7	12	1415	43.3	13	1324	61.1	14	1215	96	15	1115	53.1	16	1015	61.7	17	910	55.7	18	755	23.6	18	1719	12	19	1605	30.2	20	1450	55	21	1335	89.3	22	1220	99.2	23	1120	87.8	24	1000	58.4	25	845	22.3	27	1554	47.1	28	1438	54.9	30	752	12.6	30	1717	9.6	31	1607	53.2
1	939	46.8	2	1725	7.4	7	749	9.3	7	1035	82.8	9	835	33.8	10	1009	66.8	11	1524	43.4	12	1420	45.1	13	1330	58.2	14	1220	96.1	15	1120	48.8	16	1020	67	17	915	57.5	18	800	26.8	18	1725	11.3	19	1610	31.9	20	1454	53	21	1339	88.4	22	1224	98.9	23	1124	82.3	24	1005	61	25	850	28.3	27	1600	48.9	28	1443	44.7	30	757	13.7	30	1722	7.5	31	1612	47.4
1	945	61.6	2	1730	5.1	8	755	10.4	7	1040	42.7	9	839	35.1	10	1015	67.6	11	1530	18.4	12	1424	32.3	13	1335	72.1	14	1224	105	15	1124	51.9	16	1024	76.6	17	920	59.5	18	805	28.8	18	1735	11.3	19	1610	31.9	20	1454	53	21	1339	88.4	22	1224	98.9	23	1124	82.3	24	1005	61	25	850	28.3	27	1600	48.9	28	1443	44.7	30	757	13.7	30	1722	7.5	31	1612	47.4
1	950	67.8	2	1734	3.5	8	800	11.2	7	1045	42.7	9	844	36.4	10	1020	68.4	11	1535	18.4	12	1429	32.3	13	1340	72.1	14	1229	105	15	1129	51.9	16	1029	76.6	17	925	59.5	18	810	28.8	18	1740	11.3	19	1615	31.9	20	1459	53	21	1344	88.4	22	1229	98.9	23	1129	82.3	24	1010	61	25	855	28.3	27	1605	48.9	28	1448	44.7	30	802	13.7	30	1727	7.5	31	1617	47.4
1	955	67.8	2	1739	1.8	8	805	11.2	7	1050	42.7	9	849	36.4	10	1025	68.4	11	1540	18.4	12	1434	32.3	13	1345	72.1	14	1234	105	15	1134	51.9	16	1034	76.6	17	930	59.5	18	815	28.8	18	1745	11.3	19	1620	31.9	20	1504	53	21	1349	88.4	22	1234	98.9	23	1134	82.3	24	1015	61	25	900	28.3	27	1610	48.9	28	1453	44.7	30	807	13.7	30	1732	7.5	31	1622	47.4
1	1000	75.6	4	1610	39	8	809	12.4	7	1619	34.2	8	854	41.2	10	1030	73.1	11	1545	67.8	12	1439	52.5	13	1350	74.4	14	1239	96.5	15	1139	53.3	16	1039	48.8	17	935	65.4	18	820	34.4	18	1750	17.2	19	1625	30.5	20	1509	60.5	21	1354	91.2	22	1239	96.2	23	1139	86.1	24	1020	70.9	25	905	31.5	27	1615	43	28	1458	61.3	30	812	17.3	30	1737	4.4	31	1627	42.5
1	1005	78.4	4	1615	34.5	8	815	13.3	7	1625	34.2	8	900	42.4	10	1035	73.7	11	1550	26.9	12	1445	22.3	13	1354	91.9	14	1245	110	15	1145	57.6	16	1045	74	17	940	66.6	18	825	34.4	18	1755	5.9	19	1630	23.8	20	1515	50.9	21	1400	83.3	22	1245	95.9	23	1145	62.7	24	1024	72.6	25	909	27.5	27	1619	40.5	28	1503	51.7	30	818	14.3	30	1742	3.8	31	1632	38.6
1	1009	76.7	4	1619	32.5	8	820	14.2	7	1630	33.4	8	905	44.8	10	1039	74.7	11	1554	51.1	12	1450	25.5	13	1400	56.6	14	1250	112	15	1150	63.1	16	1050	71.2	17	945	68.9	18	830	38.5	18	1800	3.7	19	1635	23.8	20	1520	50.4	21	1405	83.7	22	1250	95.3	23	1150	62.7	24	1030	72.5	25	915	27.5	27	1624	40.5	28	1508	51.7	30	823	14.3	30	1747	3.8	31	1637	36.8
1	1015	76.7	4	1624	31.3	8	825	14.2	7	1634	30.2	8	909	46.4	10	1045	93.6	11	1600	38.5	12	1454	27	13	1405	89.3	14	1254	114	15	1154	74.5	16	1054	77	17	950	70.7	18	835	40.1	19	1640	21	20	1524	46.7	21	1409	83.9	22	1254	97.7	23	1154	64.8	24	1034	73.9	25	920	27.5	27	1629	42.1	28	1513	53.9	30	827	15.4	30	1752	4.1	31	1642	36.8
1	1020	81.2	4	1630	29.4	8	830	15.9	7	1640	28.6	9	915	48.8	10	1050	93.1	11	1605	38.5	12	1459	27	13	1410	89.3	14	1259	114	15	1159	74.5	16	1059	77	17	955	70.7	18	840	40.1	19	1645	21	20	1529	46.7	21	1414	83.9	22	1259	97.7	23	1159	64.8	24	1039	73.9	25	925	27.5	27	1634	42.1	28	1518	53.9	30	832	15.4	30	1757	4.1	31	1647	29.4
1	1025	81.2	4	1634	27	8	835	16.3	7	1645	23.5	9	920	49	10	1300	91	11	1610	46.1	12	1505	26.2	13	1415	77.3	14	1305	112	15	1205	62.3	16	1105	89.7	17	1000	74.2	18	845	32.3	19	1650	15.7	20	1535	39.3	21	1420	84.1	22	1305	96.7	23	1205	68.1	24	1045	76.2	25	930	45	27	1645	30.7	28	1528	33.6	30	842	16.2	31	727	13.6	31	1652	29.4
1	1415	77	4	1640	24.7	8	839	16.9	7	1649	21.6	9	924	51.2	10	1305	63	11	1615	42.3	12	1509	22.2	13	1420	95.4	14	1309	91.9	15	1209	57.7	16	1109	89.3	17	1005	74.2	18	850	39.5	19	1734	8.3	20	1700	14.8	20	1545	38	21	1430	74.4	22	1315	92.2	23	1215	68.1	24	1050	76.2	25	935	45	27	1645	30.7	28	1528	33.6	30	842	16.2	31	727	13.6	31	1657	24.4
1	1420	55	4	1645	22.3	8	845	17.6	7	1655	19.6	9	930	53.2	10	1310	62.2	11	1619	39	12	1515	14.5	13	1424	90.8	14	1315	121	15	1214	43.4	16	1114	92.2	17	1010	74.2	18	855	39.5	19	1739	8.3	20	1704	14.8	20	1550	38	21	1434	74.4	22	1320	96.1	23	1220	68.1	24	1055	76.2	25	940	45	27	1650	30.7	28	1533	31.9	30	848	16	30	1732	6.9	31	1622	45.6
1	1430	24.9	4	1649	20.5	8	850	18.8	7	1700	17.6	9	935	55	10	1315	57.4	11	1630	33.1	12	1524	17.3	13	1435	87.7	14	1324	112	15	1224	89.2	16	1124	97.4	17	1015	75.9	18	900	46.4	19	1745	10.4	20	1710	13.1	20	1554	33.9	21	1439	76.1	22	1324	90.7	23	1224	69.8	24	1100	79.2	25	945	47.2	27	1655	26	28	1538	26.6	30	852	16.1	31	737	17.7	31	1707	16.9
1	1435	35.4	4	1655	18.5	8	854	18.8	7	1704	15.4	9	939	56.3	10	1320	64.9	11	1633	31.1	12	1524	17.3	13	1435	87.7	14	1324	112	15	1224	89.2	16	1124	97.4	17	1015	75.9	18	900	46.4	19	1745	10.4	20	1710	13.1	20	1554	33.9	21	1439	76.1	22	1324	90.7	23	1224	69.8	24	1100	79.2	25	945	47.2	27	1655	26	28	1538	26.6	30	852	16.1	31	737	17.7	31	1707	16.9
1	1450	71.2	4	1700	16.9	9	900	20	7	1710	13.9	9	945	60.5	10	1324	77.1	11	1634	30.6	12	1530	16.5	13	1439	85.3	14	1330	122	15	1230	76.9	16	1130	98.1	17	1020	75.9	18	905	46.4	19	1750	10.8	20	1715	13.1	20	1559	33.9	21	1444	76.1	22	1329	90.7	23	1229	69.8	24	1105	79.2	25	950	47.2	27	1700	26	28	1543	26.6	30	857	16.1	31	742	20.9	31	1712	11.5
1	1455	71.2	4	1704	15.4	9	905	22.2	7	1715	11.9	9	950	60.5	10	1330	46.1	11	1640

ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

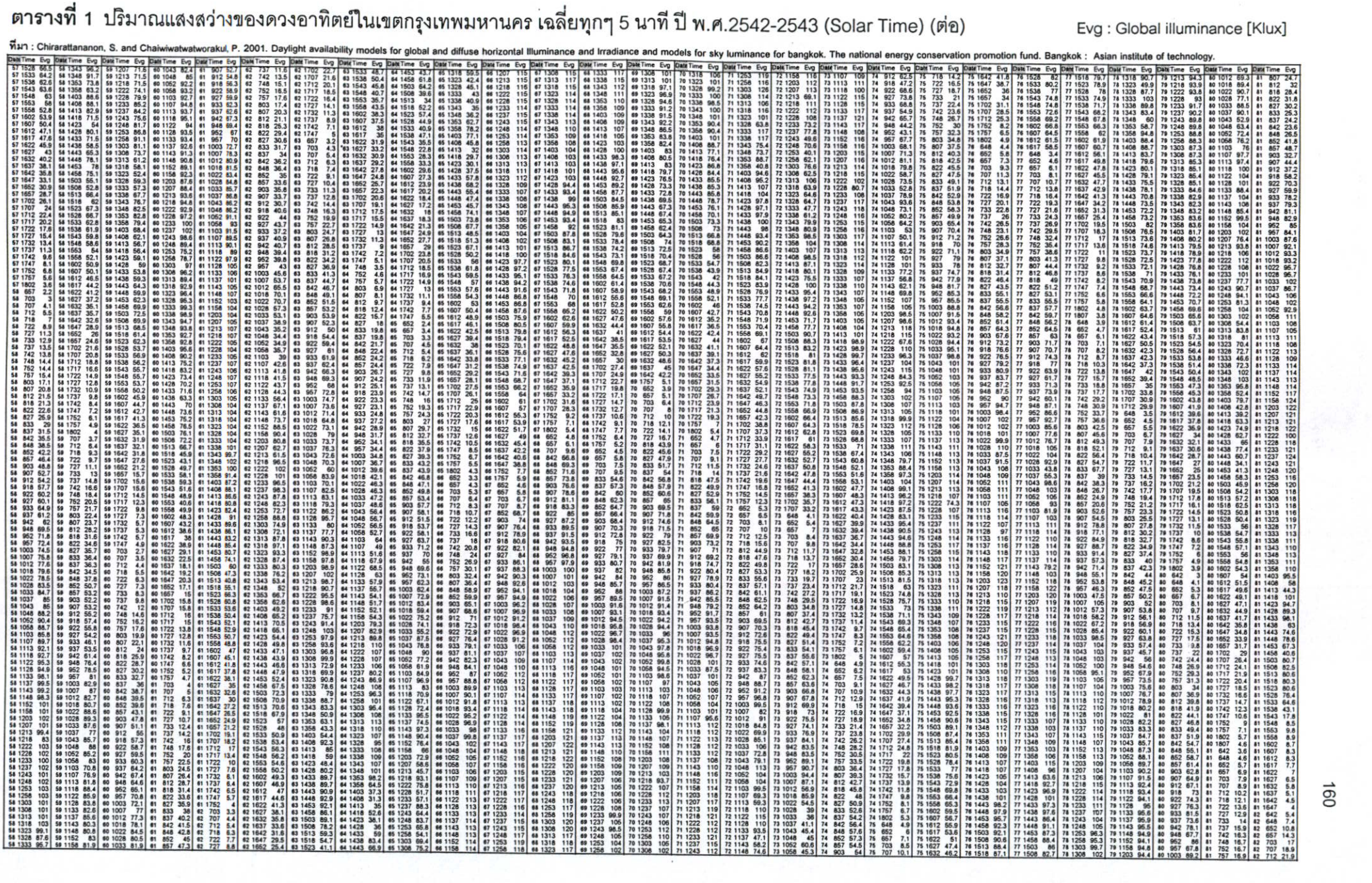
Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.



ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

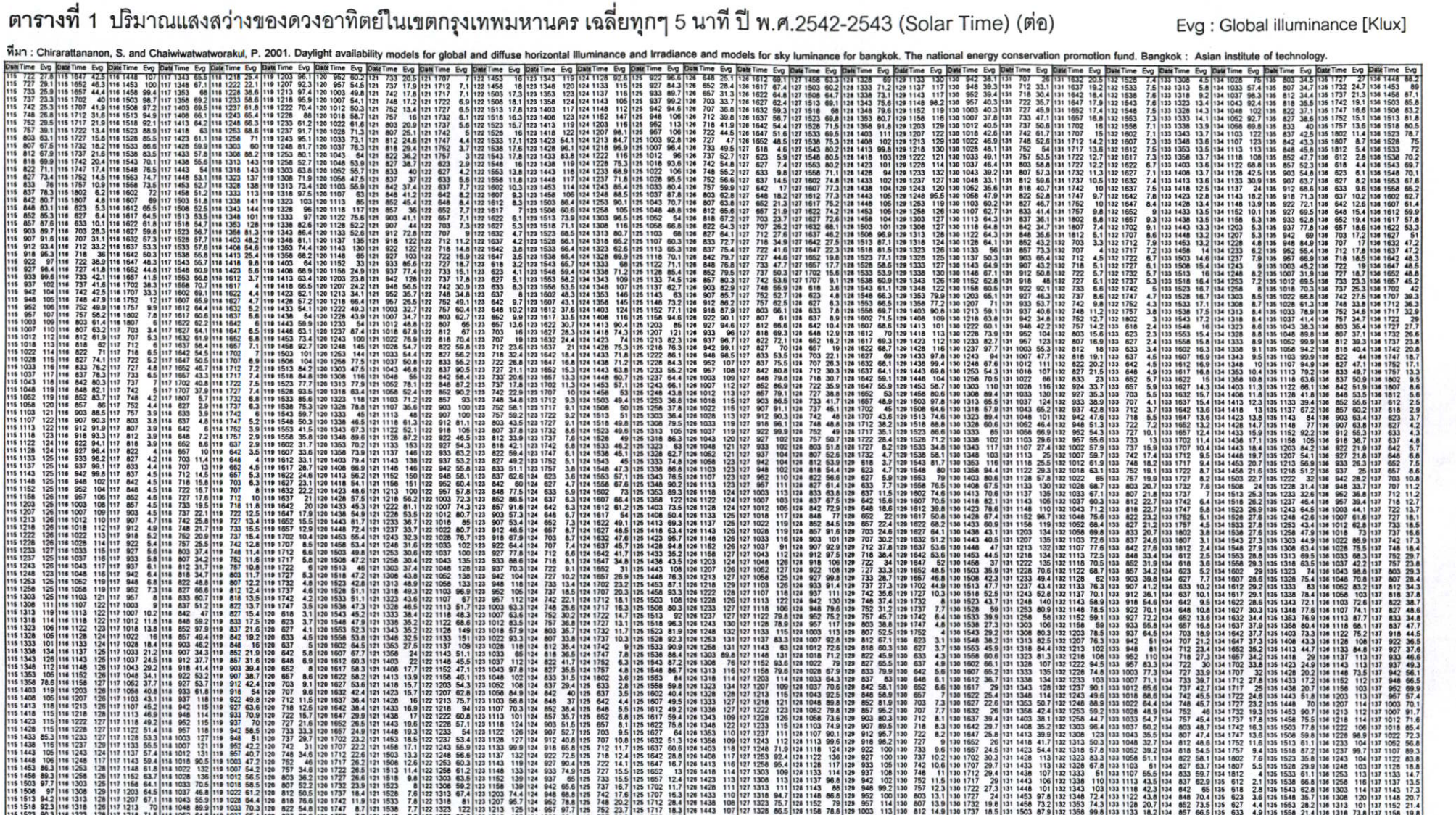
ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg
82	722	24.5	82	1647	58.1	83	1453	73.6	84	1258	12	85	1122	39.7
82	727	29	82	1652	58.4	83	1458	98.4	84	1303	12.4	85	1128	30.4
82	733	33.3	82	1657	55	83	1503	101	84	1308	13	85	1133	27.4
82	737	35.8	82	1702	53.4	83	1508	96.2	84	1313	13.7	85	1137	28.8
82	742	38.5	82	1707	51.9	83	1513	86.9	84	1318	14.2	85	1143	39
82	748	40.6	82	1712	50.2	83	1518	92.7	84	1323	15	85	1148	48.4
82	752	43.3	82	1717	41.7	83	1523	90.1	84	1328	15.9	85	1152	65.7
82	757	45.9	82	1722	28.3	83	1528	81.1	84	1333	17.7	85	1158	78.2
82	803	48	82	1727	16.3	83	1533	85.6	84	1338	19.9	85	1203	71.3
82	807	51.6	82	1732	5.9	83	1538	82.8	84	1343	21.4	85	1207	58.8
82	812	54.5	82	1737	3.9	83	1543	81.6	84	1348	22.8	85	1213	80.8
82	818	57.9	82	1742	4.2	83	1548	71.6	84	1353	23.3	85	1218	81.7
82	822	62.4	82	1747	4	83	1553	67.2	84	1358	23.3	85	1222	50.1
82	827	65	82	1752	4.6	83	1558	65.9	84	1403	24.3	85	1228	31
82	833	65.8	82	1807	4.4	83	1602	67.2	84	1408	27.5	85	1233	22.4
82	837	64.8	83	642	3.6	83	1607	67.5	84	1413	31.6	85	1237	13.4
82	842	66	83	648	4.7	83	1612	69.4	84	1418	36.4	85	1243	13.5
82	848	69.6	83	652	5.8	83	1617	63.2	84	1423	40.7	85	1248	24.4
82	852	71.4	83	657	6.7	83	1622	58.8	84	1428	43.8	85	1253	42.4
82	857	74.6	83	703	7.8	83	1627	54.8	84	1433	47.1	85	1258	39.8
82	903	77.9	83	707	9.3	83	1632	54.1	84	1438	47.8	85	1303	17.3
82	907	79.5	83	712	10.8	83	1637	55.4	84	1443	48.6	85	1308	14.2

ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance and models for sky luminance for tropical sites. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.



ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg
160 1348	67.3	161 1253	6.9	162 1058	8	163 842	37.3	164 646	24.2	164 1832	37.9	165 1353	101	166 1118	76.3	167 918	82.9	168 633	3.8	168 1558	25.7	169 1343	63.7	170 1058	93.8	171 812	49.1	174 648	10.3	174 1822	41.1	175 1338	52.7	176 1107	82.7	177 827	58.9	177 1752	7.3	178 1503	38	179 1333	22.3	180 1248	107	181 957	68.8	182 707	25.8	182 1632	27.9	183 1343	108
160 1353	71.4	161 1258	12	162 1103	6.1	163 846	36.7	164 652	25.6	164 1637	38.7	165 1356	105	166 1122	91.8	167 922	79.1	168 637	4.2	168 1602	23.8	169 1348	72.5	170 1103	118	171 818	62.1	174 652	11.9	174 1827	36.5	175 1343	58.4	176 1113	98.4	177 833	61.8	177 1757	6.5	178 1508	34.9	179 1338	21.1	180 1253	107	181 1003	91.8	182 712	28.4	182 1637	26.4	183 1348	105
160 1358	70.3	161 1303	23.6	162 1108	6.1	163 852	37.5	164 657	26.9	164 1642	39.5	165 1401	109	166 1127	94.1	167 927	75.4	168 642	4.6	168 1607	22.1	169 1353	77.2	170 1108	122	171 823	75.1	174 657	11.9	174 1832	35	175 1348	59	176 1118	110	177 838	61.4	177 1802	5.9	178 1513	31.9	179 1343	21.2	180 1258	107	181 1008	94.6	182 718	30.6	182 1642	25	183 1353	93
160 1403	78.4	161 1308	32.6	162 1113	8.9	163 857	40	164 703	28.1	164 1647	39.6	165 1408	98.5	166 1133	102	167 932	87.2	168 648	4.3	168 1612	21.4	169 1358	81.5	170 1113	85.7	171 827	85.4	174 663	12.3	174 1837	28.5	175 1353	58.8	176 1122	94.5	177 843	64.6	177 1807	4.8	178 1518	28.9	179 1348	22.2	180 1303	108	181 1012	93.6	182 722	32.6	182 1647	24.2	183 1358	107
160 1408	77.5	161 1313	28.4	162 1118	5.9	163 903	43	164 707	28.4	164 1652	35	165 1413	89.8	166 1137	105	167 937	90.7	168 652	4.7	168 1617	20.9	169 1403	74.8	170 1118	96.8	171 833	55.4	174 707	17.7	174 1842	27.2	175 1358	55.5	176 1128	88.4	177 848	66.9	177 1812	4.4	178 1523	26.8	179 1353	23.5	180 1308	109	181 1018	95.2	182 727	33.8	182 1652	23.3	183 1403	84.3
160 1413	74.2	161 1318	16.3	162 1122	7.1	163 907	41.8	164 712	26.1	164 1657	30.8	165 1418	71.6	166 1143	101	167 942	92.5	168 657	5.5	168 1622	21	169 1408	76.5	170 1123	86.4	171 837	49.6	174 712	18.6	174 1847	25	175 1403	52.1	176 1133	99.7	177 852	66.1	177 1817	3.9	178 1528	25.4	179 1358	25.4	180 1313	107	181 1022	95.3	182 733	36.6	182 1657	22.8	183 1408	90.1
160 1418	79.6	161 1323	12.4	162 1128	12.8	163 912	39.9	164 717	23.1	164 1702	29.9	165 1423	97.8	166 1148	64.3	167 948	94.5	168 703	6.5	168 1627	20.3	169 1413	77.6	170 1128	73.4	171 842	40.8	174 718	18.1	174 1852	23.2	175 1408	51.8	176 1137	115	177 857	68	177 1822	3.2	178 1533	23.6	179 1403	28.6	180 1318	107	181 1028	97.7	182 737	39.5	182 1702	22.2	183 1413	100
160 1423	80.7	161 1328	15.6	162 1133	13.3	163 918	38.7	164 722	23.8	164 1707	31.9	165 1428	94.9	166 1152	78.7	167 952	95.7	168 707	7.6	168 1632	19	169 1418	96.4	170 1133	68	171 848	43	174 722	17.8	174 1857	29	175 1413	51.3	176 1143	105	177 903	82.7	177 1827	2.5	178 1538	21.2	179 1408	27.2	180 1323	106	181 1033	98.5	182 742	40.9	182 1707	20.9	183 1418	103
160 1428	46.3	161 1333	23.8	162 1137	11.9	163 922	40.5	164 727	31.6	164 1712	34.4	165 1433	90.9	166 1158	96.1	167 957	97.8	168 712	9.2	168 1637	18.2	169 1423	94.2	170 1137	68.6	171 852	42.5	174 727	18.2	174 1702	28.2	175 1418	49.9	176 1148	90	177 907	70.7	178 618	2.8	178 1543	19.5	179 1413	29.1	180 1328	106	181 1037	99.3	182 748	42.6	182 1712	19.8	183 1423	79.2
160 1433	28.4	161 1338	32.9	162 1143	13.3	163 927	57.7	164 733	40.1	164 1717	31.4	165 1438	91.3	166 1203	77.6	167 1003	99.2	168 718	10.8	168 1642	16.3	169 1428	77.1	170 1143	62.3	171 857	46.3	174 733	19.3	174 1707	21.5	175 1423	48.4	176 1152	74.1	177 912	74.4	178 623	4.1	178 1548	18.6	179 1418	27.2	180 1333	106	181 1043	99.5	182 752	45.1	182 1717	18.6	183 1428	85.1
160 1438	21.7	161 1343	39.3	162 1148	14.3	163 933	90	164 737	28.8	164 1722	28.4	165 1443	90	166 1207	108	167 1007	101	168 722	12.1	168 1647	14.7	169 1433	80.3	170 1148	67.6	171 903	46.8	174 737	21.1	174 1712	20.2	175 1428	44.9	176 1158	68	177 918	56.1	178 627	5.6	178 1553	17.4	179 1423	29	180 1338	110	181 1048	100	182 757	47.6	182 1722	17.4	183 1433	83.6
160 1443	21.9	161 1348	44.1	162 1153	15.8	163 937	101	164 742	31.1	164 1727	25.5	165 1448	88.8	166 1212	108	167 1012	102	168 727	13.3	168 1652	14	169 1438	82.6	170 1153	70.3	171 907	50.7	174 742	22.9	174 1717	20.4	175 1433	43.8	176 1203	72.1	177 922	47.1	178 633	7.2	178 1558	16.1	179 1428	36.6	180 1343	106	181 1052	101	182 803	48.9	182 1727	16.2	183 1438	78.7
160 1448	17.4	161 1353	45.4	162 1158	16.1	163 942	78.1	164 748	28.3	164 1732	12.8	165 1453	88.4	166 1218	108	167 1018	95.1	168 733	15.6	168 1657	12.6	169 1443	70	170 1158	65.2	171 912	51.5	174 748	25	174 1722	22	175 1438	46.2	176 1207	85.1	177 927	51.9	178 637	7.5	178 1602	14.8	179 1433	47.4	180 1348	107	181 1056	102	182 807	49.6	182 1732	15.1	183 1443	73.1
160 1453	15.4	161 1358	40.6	162 1203	14.4	163 948	50.2	164 752	25.2	164 1737	13.4	165 1458	85	166 1222	109	167 1022	86.5	168 737	16.6	168 1702	10.6	169 1448	62.2	170 1203	61.6	171 918	50.1	174 752	27.3	174 1727	19.1	175 1443	44.9	176 1213	80.5	177 933	57.6	178 642	9	178 1607	13.8	179 1438	47.6	180 1353	95.8	181 1103	103	182 812	54.1	182 1737	13.9	183 1448	58.8
160 1458	15.1	161 1403	34.7	162 1207	7.6	163 962	56	164 757	30.8	164 1742	14	165 1503	78.4	166 1228	106	167 1028	85.5	168 742	19.3	168 1707	8.9	169 1453	42.2	170 1207	58.1	171 922	51.5	174 757	29.8	174 1732	21.7	175 1448	45.3	176 1218	85	177 937	83.9	178 648	11.8	178 1612	12.4	179 1443	49.6	180 1358	108	181 1107	103	182 818	57.8	182 1742	12.6	183 1453	47.2
160 1503	12.6	161 1408	28.3	162 1213	7.1	163 967	65.2	164 803	34.9	164 1747	11.4	165 1508	77.2	166 1233	106	167 1033	89.8	168 748	21.2	168 1712	19	169 1458	56.1	170 1213	73.2	171 927	53.7	174 803	32.2	174 1737	21.7	175 1453	44.9	176 1222	84.2	177 942	86.2	178 652	13.4	178 1617	10.6	179 1448	70	180 1403	104	181 1112	104	182 822	58.8	182 1747	11.5	183 1458	39.1
160 1508	4.1	161 1413	23.1	162 1218	12.4	163 1003	55.3	164 807	35.9	164 1752	5.9	165 1513	58.1	166 1237	104	167 1037	70.5	168 752	23.9	168 1717	5.6	169 1503	43	170 1218	58.9	171 933	50	174 807	34.3	174 1742	20.6	175 1458	36.7	176 1228	80.4	177 946	88.5	178 657	15.5	178 1622	8.8	179 1453	74.7	180 1408	106	181 1118	104	182 827	60.3	182 1752	10.5	183 1503	32.5
160 1513	3.6	161 1418	22.6	162 1222	14.6	163 1007	58	164 812	34.4	164 1757	5.1	165 1518	82	166 1243	102	167 1043	73.3	168 757	24.8	168 1722	3.9	169 1508	54.8	170 1223	57.4	171 937	44.5	174 812	36.7	174 1747	13.3	175 1503	43	176 1233	77.7	177 952	89.5	178 703	18	178 1627	7.1	179 1458	76.1	180 1413	96.3	181 1122	104	182 833	61.2	182 1757	9.3	183 1508	31.1
160 1518	6.7	161 1423	24.6	162 1228	12.8	163 1012	57.5	164 818	38.7	164 1802	4.5	165 1523	84.1	166 1248	103	167 1048	107	168 803	25.1	168 1727	3	169 1513	43.4	170 1228	59.3	171 942	46.7	174 818	41.5	174 1752	9.7	175 1508	41.7	176 1237	85.7	177 957	90.6	178 707	20.7	178 1632	5.4	179 1503	75.4	180 1418	88.5	181 1128	105	182 837	62.5	182 1802	7.7	183 1513	32.3
160 1523	3.1	161 1428	23.3	162 1233	12.2	163 1017	61.2	164 822	41.3	164 1807	3.9	165 1528	81.9	166 1253	103	167 1052	124	168 807	23.9	168 1732	3.3	169 1518	60.9	170 1233	60.9	171 948	52.9	174 822	25.6	174 1757	8.5	175 1513	40.4	176 1243	86.6	177 1003	90.6	178 712	23.6	178 1637	4.1	179 1508	74.9	180 1423	79	181 1133	107	182 842	64.4	182 1807	6.6	183 1518	33
160 1528	3.8	161 1433	20.4	162 1237	12.3	163 1022	67.4	164 827	44.5	164 1812	3.2	165 1533	75.2	166 1258	104	167 1058	131	168 812	23.3	168 1737	3.3	169 1523	45	170 1238	62.3	171 952	56.3	174 827	24.4	174 1802	7.7	175 1518	39.1	176 1248	84.8	177 1008	85.2	181 1137	107	182 848	67	182 1812	6	183 1523	34.8
160 1533	4.3	161 1438	19	162 1243	12.1	163 1028	83.6	164 833	58.1	164 1817	2.5	165 1538	72.4	166 1303	107	167 1103	103	168 818	24.6	168 1742	3.6	169 1528	42.3	170 1243	63.5	171 957	63.7	174 833	45.6	174 1807	7.1	175 1523	39.5	176 1253	101	177 1012	89	178 722	29.4	178 1757	3.1	179 1518	85.5	180 1433	86.8	181 1143	90.1	182 852	69.5	182 1817	4.8	183 1528	34.6
160 1538	4.8	161 1443	18.1	162 1248	10.4	163 1033	111	164 837	65.8	165 1618	3.5	165 1543	73.3	166 1308	107	167 1107	77	168 822	26.7	168 1747	3.6	169 1533	54.2	170 1248	63.4	171 1003	63.8	174 837	49	174 1812	5	175 1528	40.6	176 1258	116	177 1017	94.9	178 727	26.3	178 1802	3.4	179 1523	79.6	180 1438	94.2	181 1148	106	182 857	70.2	182 1822	3.7	183 1533	35.3
160 1543	5	161 1448	19.6	162 1253	9.3	163 1037	109	164 842	62.7	165 623	4.7	165 1548	73.7	166 1313	102	167 1113	65.5	168 827	29.2	168 1752	3	169 1538	45.8	170 1253	67	171 1007	61.8	174 842	51.5	174 1817	3.6	175 1533	38	176 1303	106	177 1022	101	178 733	24.3	178 1807	3.5	179 1528	73.7	180 1443	90.4	181 1152	110	182 903	73.2	182 1827	2.6	183 1538	35.6
160 1548	4.9	161 1453	21.4	162 1257	8.8	163 1043	89.1	164 848	73.5	165 627	8.5	165 1553	70	166 1318	103	167 1118	58.2	168 833	34.7	168 1757	3.9	169 1543	51.3	170 1258	63.8	171 1012	64.1	174 848	58.5	174 1822	3.7	175 1538	36.2	176 1308	101	177 1028	99.4	178 737	21.8	178 1812	3.5	179 1533	65.4	180 1448	83.9	181 1158	105	182 907	75.3	183 1618	3.6	183 1543	34.9
160 1553	4.3	161 1458	21.5	162 1303	8.8	163 1048	77	164 852	75.8	165 633	7.4	165 1558	66.4	166 1323	116	167 1122	57.7	168 837	38.4	169 623	3.4	169 1548	43.3	170 1303	61.6	171 1018	62.8	174 852	81.4	175 1618	3.3	175 1543	33.8	176 1313	70.1	177 1033	98.8	178 742	22.7	178 1817	3.1	179 1538	75.6	180 1453	94.7	181 1203	109	182 912	76.4	183 623	4.2	183 1548	35.6
160 1557	3.1	161 1503	20.6	162 1308	9.5	163 1052	75.3	164 857	63.3	165 637	8.4	165 1602	63.5	166 1328	106	167 1128	61.2	168 842	39.5	169 627	4.3	169 1553	37.2	170 1308	58.7	171 1022	56.5	174 857	79	175 623	4.3	175 1548	30.8	176 1318	66.1	177 1037	98.4	178 748	25.5	178 618	2.7	179 1543	54.4	180 1458	97.4	181 1207	104	182 918	77.5	183 627	5.4	183 1553	36.8
160 1602	3.1	161 1508	20	162 1313	9.6	163 1056	94.4	164 903	66.5	165 642	9.6	165 1607	60.2	166 1333	107	167 1133	59.5	168 848	42.9	169 633	5.3	169 1558	44.6	170 1313	58.4	171 1028	52.9	174 903	78.3	175 627	5.4	175 1553	28	176 1323	79.8	177 1043	106	178 752	28.7	178 623	3.7	179 1548	37.6	180 1503	101	181 1213	109	182 922	79.7	183 633	6.9	183 1558	36.1
160 1607	3.2	161 1513	20.6	162 1318	10.1	163 1107	90.7	164 908	68.2	165 648	10.1	165 1612	57	166 1338	107	167 1138	57.3	168 853	44.6	169 638	5.8	169 1603	51.9	170 1318	58.2	171 1033	49.2	174 908	77.1	175 633	5.8	175 1558	25.3	176 1328	93.7	177 1048	107	178 757	29.1	178 628	4.1	179 1553	38.4	180 1508	104	181 1218	107	182 927	83.7	183 642	8.5	183 1603	36.4
160 1612	3.1	161 1518	21.6	162 1323	9.2	163 1107	144	164 927	84.4	165 652	12	165 1617	52.6	166 1343	112	167 1143	58.7	168 857	43.3	169 642	7.8	169 1607	40.7	170 1323	51.3	171 1037	52.8	174 913	80.8	175 637	7.4	175 1602	25.3	176 1333	87.7	177 1052	99	178 762	29.4	178 633	5.9	179 1558	40.7	180 1513	72.8	181 1222	107	182 933	83.7	182 642	9.3	183 1607	26.4
160 1622	3.6	161 1523	22.7	162 1328	10	163 1113	135	164 933	91	165 657	13.4	165 1622	54.1	166 1348	118	167 1148	59.4	168 903	41.2	169 648	9.3	169 1612	38.3	170 1328	55	171 1043	54.4	174 918	84.1	175 642	8.5	175 1607	24.4	176 1338	69.4	177 1058	87.9	178 807	51.4	178 637	7.1	179 1602	31.3	180 1518	69.5	181 1228	108	182 937	83	183 648	10.6	183 1612	28.8
160 1627	4.4	161 1528	22.3	162 1333	11.1	163 1118	136	164 937	92.2	165 703	14.6	165 1627	52.6	166 1353	116	167 1152	62.2	168 907	41.5	169 652	11.2	169 1617	32.3	170 1333	60.7	171 1048	56.8	174 922	86.5	175 648	9.9	175 1612	23.7	176 1343	105	177 1103	94	178 812	53.7	178 642	8.6	179 1607	17.4	180 1523	72.7	181 1233	109	182 942	83.7	183 652	11.6	183 1617	33.5
160 1632	3.6	161 1533	24.2	162 1338	18.1	163 1123	141	164 942	87.2	165 708	15.4	165 1632	51.1	166 1358	114	167 1158	58.9	168 912	40.1	169 657	12.6	169 1622	26.4	170 1338	63.8	171 1053	58.9	174 927	88.5	175 652	11.2	175 1617	22.6	176 1348	101	177 1108	97.2	178 817	56.1	178 648	10.5	179 1612	16.2	180 1528	74.6	181 1238	107	182 948	87	183 657	12.6	183 1622	34.9
160 1637	2.1	161 1538	15.5	162 1343	11.8	163 1128	122	164 952	96.3	165 712	16.9	165 1637	46.6	166 1403	82.6	167 1203	66.8	168 918	48.9	169 703	15.7	169 1627	29.3	170 1343	69.2	171 1058	61	174 942	94.3	175 657	11	175 1622	22.2	176 1353	107	177 1113	95.3	178 822	54.4	178 652	13.4	179 1617	7.4	180 1533	72.1	181 1243	109	182 952	86.5	183 703	13.8	183 1627	47
160 1642	3.2	161 1543	17.6	162 1348	11.5	163 1133	128	164 957	97.8	165 718	18	165 1642	42.1	166 1408	78.7	167 1207	67	168 922	53.9	169 707	18.7	169 1632	30.3	170 1348	62.4	171 1103	61.1	174 948	89.7	175 703	10.9	175 1627	21.5	176 1358	75.6	177 1118	113	178 827	54.4	178 657	14.4	179 1622	3.1	180 1538	70.1	181 1248	108	182 957	87.8	183 707	14.5	183 1632	36.5
161 623	3.7	161 1548	22.1	162 1353	11.2	163 1137	98.4	164 1003	98.3	165 722	18.1	165 1647	38	166 1413	98.5	167 1213	68.6	168 927	50.1	169 712	24.3	169 1637	30.1	170 1353	61.7	171 1107	61.6	174 952	86.9	175 707	11.6	175 1632	20.4	176 1403	110	177 1122	96.9	178 833	46.6	178 703	15.1	180 618	4	180 1543	71.4	181 1253	108	182 1003	89.8	183 712	15	183 1637	41.4
161 627	4.3	161 1553	24	162 1358	10.7	163 1143	78.5	164 1007	99.2	165 727	18.6	165 1652	35.2	166 1418	96.2	167 1218	63.6	168 933	46.6	169 718	29.9	169 1642	32.1	170 1358	58.7	171 1113	58.6	174 957	84.8	175 712	12.1	175 1637	19.3	176 1408	94.8	177 1127	90.2	178 838	42.3	178 707	15.8	180 623	4.4	180 1548	74.2	181 1258	108	182 1007	90.2	183 718	16.1	183 1642	43.6
161 633	6.5	161 1558	12.9	162 1403	10.9	163 1148	79	164 1012	97.7	165 733	19.3	165 1657	33	166 1423	96.7	167 1222	107	168 937	45	169 722	25.3	169 1647	27.7	170 1403	58.8	171 1118	60.2	174 1003	88.2	175 718	14.9	175 1642	18.3	176 1413	93.5	177 1133	114	178 842	61.7	179 1713	21.5	180 627	5.9	180 1553	57.7	181 1303	107	182 1012	91.9	183 722	23	183 1647	47.5
161 637	8.7	161 1602	12.4	162 1408	9.9	163 1152	75.2	164 1018	103	165 737	20.5	165 1702	8.6	166 1428	101	167 1228	97.1	168 942	45.6	169 727	21.2	169 1652	26.3	170 1408	51.8	171 1122	57.2	174 1007	109	175 722	16.6	175 1647	17.3	176 1418	105	177 1137	82.5	178 848	63.6	179 718	25.1	180 633	8.9	180 1558	46.7	181 1308	110	182 1018	92.8	183 727	29.8	183 1652	47.4
161 642	11.1	161 1607	12.1	162 1413	9.5	163 1158	60.3	164 1022	104	165 742	22.3	165 1707	5.8	166 1433	103	167 1233	109	168 948	44.9	169 733	21.2	169 1657	25.3	170 1413	51.5	171 1128	55	174 1012	107	175 727	19.9	175 1652	16.3	176 1423	97.3	177 1143	96.1	178 852	50.8	179 722	26.8	180 637	10.8	180 1603	45.3	181 1313	110	182 1022	96.4	183 733	26.9	183 1657	48.1
161 647	12.1	161 1612	6.5	162 1418	9.1	163 1203	60.4	164 1028	104	165 747	23.3	165 1712	5.4	166 1438	105	167 1238	107	168 953	44.2	169 738	21.1	169 1702	24.4	170 1418	51.1	171 1133	51.4	174 1017	107	175 733	15.4	175 1702	15.4	176 1428	98.7	177 1148	96.1	178 857	50.1	179 728	26.8	180 643	10.8	180 1608	44.2	181 1318	110	182 1028	92.3	183 738	26.9	183 1702	48.8
161 652	15.7	161 1622	10	162 1423	10.4	163 1207	60.5	164 1033	105	165 752	26.8	165 1727	3.5	166 1443	78.2	167 1243	82.5	168 957	42.8	169 742	27.1	169 1707	21.8	170 1423	50	171 1137	57.8	174 1022	109	175 737	37.4	175 1707	14.2	176 1433	64.4	177 1152	116	178 903	69.4	179 733	30.5	180 648	10.6	180 1612	37	181 1323	109	182 1033	83.9	183 742	32.7	183 1707	46.8
161 657	18.2	161 1627	19.7	162 1428	11.1	163 1213	110	164 1037	99	165 757	29.1	165 1732	4.9	166 1448	33.9	167 1248	72.7	168 1003	40.2	169 748	28.1	169 1712	20.2	170 1428	48.5	171 1143	59.8	174 1028	111	175 742	38.7	175 1712	13.2	176 1438	78	177 1158	113	178 907	73.8	179 737	36.2	180 652	10	180 1617	38	181 1328	109	182 1037	96.8	183 748	45.1	183 1712	31.9
161 703	19.7	161 1632	20.3	162 1433	11.9	163 1218	118	164 1043	109	165 803	30.9	165 1737	5.1	166 1453	23.3	167 1253	79.7	168 1007	38	169 752	27.7	169 1717	18.2	170 1433	48.5	171 1148	61.3	174 1033	113	175 747	38.1	175 1717	12.2	176 1443	84.3	177 1203	110	178 912	75.6	179 742	37.8	180 657	9.3	180 1622	38.9	181 1333	109	182 1042	99.3	183 752	45	183 1717	43.2
161 708	23.3	161 1637	20.8	162 1438	12.5	163 1222	120	164 1048	107	165 808	32.8	165 1742	5.4	166 1458	32.3	167 1258	86.2	168 1012	36.1	169 757	28.2	169 1722	16.9	170 1438	52.3	171 1152	62.8	174 1037	117	175 752	28.7	175 1722	11.2	176 1448	91.1	177 1207	107	178 917	76.8	179 747	41.8	180 703	9.3	180 1627	40.5	181 1338	109	182 1047	101.8	183 757	35.8	183 1722	54.7
161 712	21	161 1642	20.8	162 1443	12.9	163 1228	122	164 1052	107	165 813	33.8	165 1747	4.7	166 1503	30.6	167 1303	70.3	168 1018	39.5	169 803	27.1	169 1727	15.4	170 1443	47.1	171 1158	60.7	174 1043	112	175 757	27.5	175 1727	10.5	176 1453	94.1	177 1213	107	178 922	76.8	179 752	41.5	180 707	8.8	180 1632	36.9	181 1343	82.3	182 1052	101	183 803	40	183 1727	33.1
161 718	16.3	161 1647	19.3	162 1448	15.3	163 1233	110	164 1058	114	165 818	36.7	165 1752	3.9	166 1508	59.1	167 1308	71.2	168 1022	40.6	169 807	28.9	169 1732	13.8	170 1448	45.2	171 1203	60.4	174 1048	95.5	175 803	28.4	175 1727	9.5	176 1458	53.2	177

ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

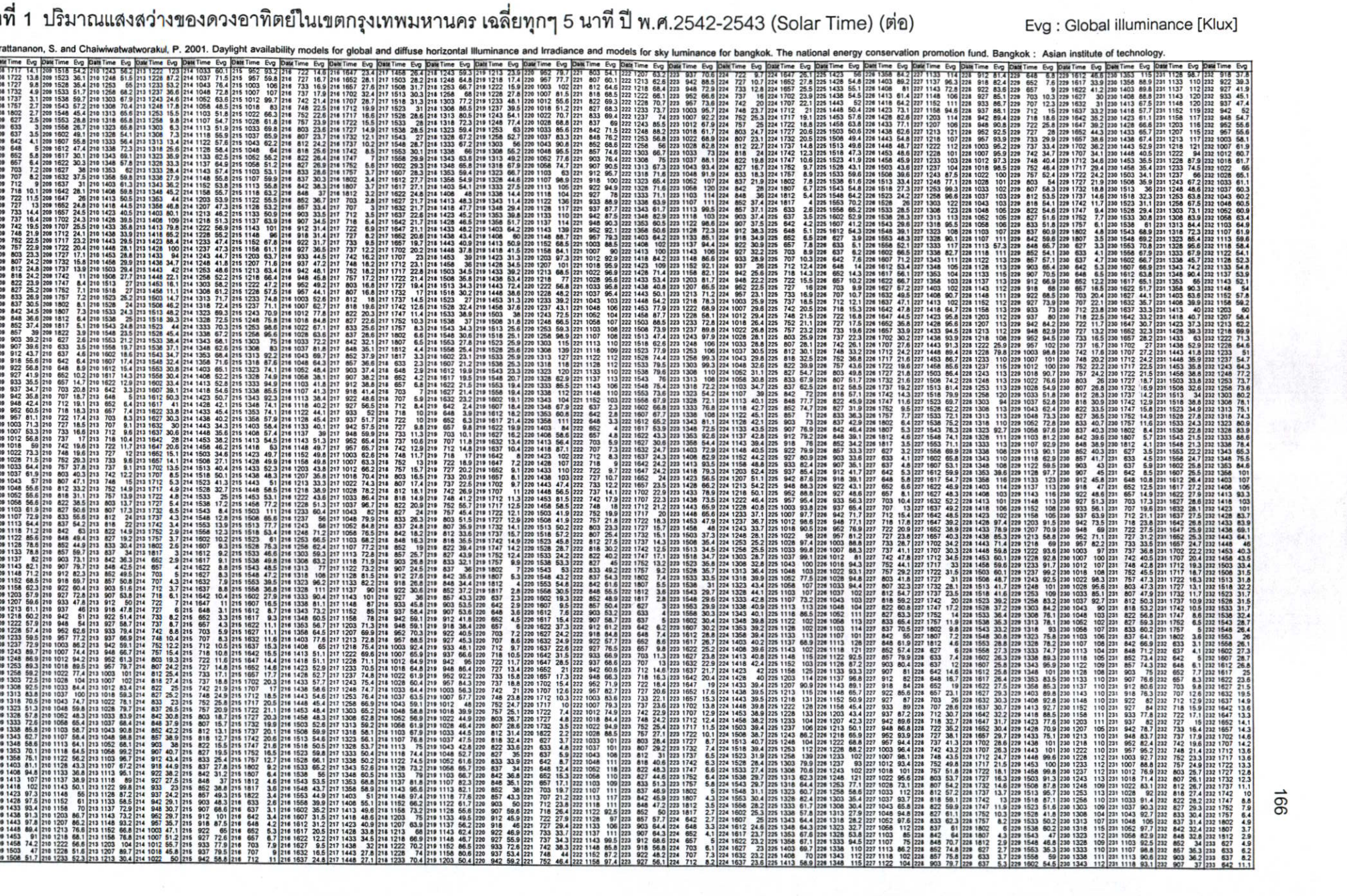
ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg	Date	Time	Evg
184	1058	87.2	185	807	34.4	186	707	15.4	186	1632	8.2	187	1448	36.4	188	1207	111	189	933	10.5	191	1558	71.6	192	1308	90.0	193	1018	90.1	194	727	28.2	194	1652	12	195	1413	98.6	196	1128	68.4	197	903	53.5	198	623	4.4	198	1548	75.3	199	1303	53.5	200	1037	101	201	757	31.1	202	1133	92.9	203	1148	109	204	1528	85.1	206	1243	87.2	206	1007	59.1	207	948	43.1
184	1103	95.6	185	812	40.7	186	712	16.5	186	1637	3.5	187	1453	35.7	188	1213	112	189	937	35.5	191	637	12.8	191	1602	59.8	192	1313	100	193	1022	101	194	733	30.7	194	1657	11.3	195	1418	103	196	1133	103	197	907	71.4	198	627	6	198	1553	61.1	199	1308	66.9	200	1043	95.4	201	803	30.9	202	1137	120	203	1152	82.5	204	1533	68.2	205	1248	109	206	1012	54.8	207	952	37.9
184	1107	95.1	185	818	43.6	186	718	17.9	186	1642	3.9	187	1458	35.5	188	1218	112	189	942	35.9	191	642	15.1	191	1607	49.1	192	1318	68.5	193	1028	79.3	194	737	32.4	194	1702	11.3	195	1423	101	196	1137	84.2	197	912	70.9	198	633	8.3	198	1558	73.1	199	1313	109	200	1048	99.7	201	807	34.1	202	1143	103	203	1158	117	204	1538	60.6	205	1253	83.4	206	1018	54.8	207	957	34.8
184	1113	81.2	185	822	39.3	186	722	19.8	186	1647	4.5	187	1503	35.8	188	1222	109	189	947	34.5	191	648	16.3	191	1612	23	192	1323	102	193	1033	101	194	742	34	194	1707	11.2	195	1428	91.7	196	1143	69.1	197	916	75.5	198	637	10.4	198	1602	65.5	199	1318	111	200	1052	85.6	201	812	41.4	202	1148	65.7	203	1203	113	204	1543	73.5	205	1258	85.6	206	1022	54	207	1002	34.4
184	1118	74.6	185	827	36.4	186	727	21.6	186	1652	5.2	187	1508	36.1	188	1228	98.5	189	952	32	191	652	11.2	191	1617	53.3	192	1328	108	193	1037	74.7	194	748	36.3	194	1712	10.3	195	1433	63.6	196	1148	74.1	197	922	78.7	198	642	12.1	198	1607	64.9	199	1323	109	200	1058	87.6	201	817	50.9	202	1152	125	203	1207	112	204	1548	33.3	205	1303	67.5	206	1028	54.1	207	1007	36.1
184	1122	84.2	185	833	36.8	186	733	23.8	186	1657	7.7	187	1513	36.4	188	1233	109	189	948	32.3	191	657	20.1	191	1622	61.7	192	1333	65.9	193	1043	53.6	194	752	37.1	194	1717	9.7	195	1438	96.5	196	1152	75.4	197	927	88	198	646	14	198	1612	61	199	1328	104	200	1103	96.1	201	822	41.6	202	1158	47.5	204	623	3.9	204	1553	56.5	205	1308	70.9	206	1033	49.9	207	1012	38.2
184	1128	102	185	837	39.7	186	737	26.8	186	1702	6.7	187	1516	36.8	188	1237	99.8	189	952	29	191	703	24	191	1627	64.1	192	1338	40.3	193	1048	63.9	194	757	32.6	194	1722	9.3	195	1443	93.8	196	1158	90.5	197	933	87.4	198	652	15.7	198	1617	57.3	199	1333	97.7	200	1107	97.6	201	827	39.2	202	1203	49.1	204	627	4.9	204	1558	27.3	205	1313	76.9	206	1037	47.2	207	1018	38.6
184	1133	98.8	185	842	41.2	186	742	30.7	186	1707	4.8	187	1523	37.7	188	1243	107	189	957	28.2	191	707	25.6	191	1632	58.3	192	1343	61.9	193	1052	67.9	194	803	34.2	194	1727	8.9	195	1448	81.9	196	1203	70.9	197	937	82.2	198	657	16.8	198	1622	51.7	199	1338	92.6	200	1113	104	201	833	45.8	202	1207	80	204	637	12.2	204	1602	73.5	205	1318	83	206	1043	45.5	207	1024	38.9
184	1137	90.5	185	848	43.6	186	748	32.5	186	1712	3.2	187	1527	38.2	188	1248	110	189	1003	30	191	712	25.8	191	1637	54.2	192	1348	105	193	1056	62.1	194	812	33.8	194	1732	8.5	195	1453	81.7	196	1207	92.8	197	942	50.6	198	662	17.9	198	1627	67	199	1343	106	200	1118	44	201	838	52.6	202	1211	103	204	642	14.2	204	1607	67	206	1323	71.3	206	1048	44	207	1028	41.1
184	1143	92.6	185	852	44.3	186	752	37	186	1717	3.3	187	1533	40.7	188	1253	92.3	189	1007	31.9	191	718	30.7	191	1642	28.5	192	1353	74.1	193	1103	67.7	194	812	35.1	194	1737	8.2	195	1458	89.1	196	1213	118	197	948	91.4	198	707	21.5	198	1632	45.4	199	1348	83.9	200	1122	111	201	842	83.9	202	1218	109	204	648	17.1	204	1612	65.7	205	1328	69.3	206	1052	36.9	207	1033	42
184	1148	98.4	185	857	46	186	757	39.8	186	1722	3.9	187	1538	44.2	188	1258	73.3	189	1012	33.1	191	722	32.9	191	1647	36	192	1358	86.2	193	1107	102	194	818	41.6	194	1742	7.5	195	1503	87	196	1218	104	197	952	85.4	198	712	23.5	198	1637	50.1	199	1353	96.3	200	1128	114	201	848	66.5	202	1222	110	204	652	19.4	204	1617	63.5	205	1333	78.4	206	1058	35.9	207	1037	39.5
184	1152	92	185	903	45	186	803	42.3	186	1727	3.5	187	1543	49.5	188	1303	111	189	1018	33.3	191	727	34.9	191	1652	34.4	192	1403	68.8	193	1113	109	194	822	36	194	1747	6.8	195	1508	52.3	196	1222	101	197	957	83.9	198	718	25.4	198	1642	45.8	199	1358	91.2	200	1133	111	201	852	64.3	202	1228	108	204	657	21.8	204	1622	59.6	205	1338	63.1	206	1103	35.9	207	1043	37.8
184	1158	102	185	907	48.3	186	807	45.4	186	1732	4.3	187	1548	55.5	188	1308	110	189	1022	37.7	191	733	36	191	1657	48.9	192	1408	74.5	193	1118	117	194	827	30.4	194	1752	6.3	195	1513	56.7	196	1228	119	197	1003	87	198	722	26.8	198	1647	47.5	199	1403	107	200	1137	114	201	857	75.7	202	1233	109	204	703	24	204	1627	53.6	205	1343	54.1	206	1107	33.3	207	1048	36
184	1203	86.8	185	912	52	186	812	46.3	186	1737	6.7	187	1553	58.4	188	1313	110	189	1028	40	191	737	37.9	191	1702	36.1	192	1413	86.5	193	1122	102	194	833	25.5	194	1757	6.5	195	1518	58.7	196	1233	104	197	1008	81.3	198	727	28.4	198	1652	42.1	199	1408	82.2	200	1143	117	201	903	58.2	202	1237	113	204	707	26.3	204	1632	50.2	205	1348	56.2	206	1113	37.1	207	1052	33.1
184	1207	66	185	918	55.7	186	818	47.4	187	633	3.5	187	1558	77.9	188	1318	106	189	1033	47.6	191	742	40.7	191	1707	36.7	192	1418	95.7	193	1128	111	194	837	28.7	194	1802	5	195	1523	59.9	196	1237	79	197	1012	77.6	198	733	30.9	198	1657	41.3	199	1413	93.9	200	1148	114	201	907	58.7	202	1243	113	204	712	28.7	204	1637	52.2	205	1353	55.7	206	1118	42.5	207	1058	29.9
184	1213	99.3	185	922	62.2	186	822	43.1	187	637	4.1	187	1602	71.4	188	1323	108	189	1038	50.5	191	748	42.7	191	1712	23.3	192	1423	104	193	1133	110	194	842	31.2	194	1807	4.6	195	1528	45.2	196	1243	75.6	197	1016	80.2	198	737	31.9	198	1702	39.7	199	1418	100	200	1152	109	201	912	55.6	202	1248	114	204	718	30.9	204	1642	47	205	1358	51.5	206	1122	41.7	207	1103	29
184	1218	104	185	927	72.1	186	827	42.5	187	642	4.6	187	1607	72.2	188	1328	107	189	1043	45.5	191	752	46	191	1717	26.7	192	1428	85.2	193	1137	96.1	194	847	33.3	194	1812	4.5	195	1533	49	196	1248	79.9	197	1022	91	198	742	33.3	198	1707	47	199	1423	96.2	200	1158	103	201	917	65.1	202	1253	114	204	722	32.9	204	1647	38	205	1403	52.4	206	1128	47.4	207	1107	29.4
184	1222	99.3	185	933	64.7	186	833	47.5	187	648	5.5	187	1612	82.7	188	1333	105	189	1048	42.7	191	757	47.8	191	1722	30.3	192	1433	79.9	193	1143	84.8	194	852	37.8	194	1817	4.5	195	1538	53.3	196	1253	84.8	197	1028	94.8	198	748	33.4	198	1712	36.8	199	1428	99	200	1203	107	201	922	61.3	202	1258	97.4	204	727	35.1	204	1652	32.9	205	1408	52	206	1133	43.8	207	1113	29.8
184	1228	97.1	185	937	79.6	186	837	44.9	187	652	6.2	187	1617	49	188	1338	92.2	189	1052	44.8	191	803	50.3	191	1727	20	192	1438	82.8	193	1148	89.6	194	857	53.4	194	1822	2.7	195	1543	70.8	196	1258	117	197	1033	93	198	752	36.8	198	1717	34.7	199	1433	99.2	200	1207	112	201	927	62.4	202	1303	83.5	204	737	27	204	1657	17	205	1413	48.1	206	1137	42.3	207	1118	29.4
184	1233	106	185	942	74.6	186	842	41.8	187	657	7.1	187	1622	57.5	188	1343	80.5	189	1056	62.5	191	807	51.8	191	1732	18.4	192	1443	58.9	193	1152	83.4	194	903	54.1	194	1823	3.3	195	1548	53.6	196	1303	103	197	1037	109	198	757	38	198	1722	32.1	199	1438	102	200	1213	110	201	933	60.9	202	1308	83.5	204	737	38.2	204	1702	41.7	205	1418	45.2	206	1143	40.5	207	1122	29.5
184	1237	101	185	948	72.1	186	848	43.7	187	703	8	187	1627	52.6	188	1348	104	189	1103	117	191	812	56.3	191	1737	21.7	192	1448	40.1	193	1158	95.1	194	907	47.7	194	1828	4.1	195	1553	80.8	196	1308	91.9	197	1043	91.8	198	803	41.8	198	1727	29.6	199	1443	96.8	200	1218	114	201	938	58.4	202	1313	106	204	742	38.4	204	1707	38.4	205	1423	43.3	206	1148	39.4	207	1128	30.2
184	1243	95.1	185	952	81.1	186	853	50.1	187	707	8.8	187	1633	74.2	188	1353	102	189	1108	81.6	191	817	58.1	191	1742	23.3	192	1453	56.2	193	1203	107	194	912	41.2	194	1833	4.8	195	1558	58.2	196	1313	106	197	1048	91.9	198	807	43.8	198	1732	27.5	199	1448	94.6	200	1223	114	201	942	54.4	202	1318	95.8	204	748	42.9	204	1712	35.1	205	1428	40.4	206	1152	40.2	207	1133	29.8
184	1248	102	185	957	62	186	857	53.9	187	712	9.9	187	1637	60.8	188	1358	102	189	1113	105	191	822	56.4	191	1747	21.5	192	1458	59.4	193	1207	70.7	194	918	69.1	195	1603	49	196	1318	96.4	197	1052	105	198	812	49	198	1737	24.1	199	1453	89.7	200	1228	112	201	948	87.5	202	1323	103	204	752	45.6	204	1717	27.3	205	1433	38.2	206	1158	44.1	207	1137	28.9
184	1253	65.3	185	1003	68.2	186	903	63.2	187	718	10.9	187	1642	53.9	188	1403	100	189	1118	92.9	191	827	56.1	191	1752	18.9	192	1503	57	193	1213	73.8	194	922	53	195	1613	48.3	196	1323	84.7	197	1056	104	198	818	44.8	198	1742	19.9	199	1458	86.6	200	1233	110	201	952	106	202	1328	79.1	204	757	48	204	1722	31	205	1438	35.7	206	1203	50.1	207	1143	33.5
184	1258	80.7	185	1007	60.1	186	907	72.4	187	722	12	187	1647	38.5	188	1408	81.3	189	1122	103	191	833	58.7	191	1757	15.5	192	1508	55	193	1218	76.6	194	927	46.9	195	648	12.3	195	1612	72.9	196	1328	86.7	197	1103	104	198	822	51.7	198	1747	11.4	199	1503	81.8	200	1237	106	201	957	86.1	202	1333	100	204	803	49.8	204	1727	31.1	205	1443	33.9	206	1207	45.8	207	1148	34.4
184	1303	101	185	1012	86.8	186	912	68.8	187	727	13.2	187	1652	22.9	188	1413	97.9	189	1128	107	191	837	61.3	191	1802	13	192	1513	45.7	193	1223	65.1	194	933	36.9	195	1618	55.2	196	1333	97	197	1108	83.1	198	827	61.7	198	1752	5.7	199	1508	94.2	200	1238	111	201	1003	91.2	202	1338	111	204	807	62.2	204	1732	26	205	1448	43.3	206	1212	42.4	207	1158	37
184	1308	109	185	1018	82.7	186	918	71.8	187	733	14.4	187	1657	25.5	188	1418	97	189	1133	108	191	842	61.7	191	1807	10.3	192	1518	55.1	193	1228	66.9	194	937	37.8	195	657	13.3	195	1622	51.7	196	1338	87.8	197	1113	75.4	198	833	67.4	198	1757	5.7	199	1513	83.1	200	1248	110	201	1007	95.4	202	1343	112	204	812	54.5	204	1737	27	205	1453	31.8	206	1218	42.4	207	1158	38
184	1313	115	185	1022	90.1	186	922	60.4	187	737	15.6	187	1702	29.5	188	1423	94.6	189	1137	105	191	848	65.1	191	1812	8.8	192	1523	52.1	193	1233	66.3	194	942	45.1	195	703	12.3	195	1627	50	196	1343	94.7	197	1118	77.4	198	838	56.7	198	1802	5.4	199	1518	56.2	200	1253	114	201	1012	99.6	202	1348	116	204	816	56.7	204	1742	28	205	1458	31.4	206	1222	53	207	1203	37.5
184	1318	114	185	1028	104	186	927	76.8	187	742	16.7	187	1707	28.9	188	1428	92.7	189	1143	103	191	852	66.8	191	1817	7.1	192	1528	53.1	193	1237	73.7	194	948	46.7	195	707	13.7	195	1632	54.1	196	1348	87.8	197	1122	112	198	842	32	198	1807	5.8	199	1523	78	200	1258	111	201	1018	87.2	202	1353	116	204	822	58.6	204	1747	22.8	205	1503	32.2	206	1227	39.4	207	1208	30.2
184	1323	90.1	185	1033	91.3	186	932	81.5	186	1633	18.2	187	1712	34.2	188	1433	90.2	189	1148	101	191	857	68.2	191	1822	5.4	192	1533	54.1	193	1243	72.1	194	952	56.2	195	712	15.3	195	1637	58.2	196	1353	75.6	197	1128	74.1	198	847	69	198	1812	4.8	199	1528	99.8	200	1303	116	201	1023	74.6	202	1358	85.8	204	827	60.5	204	1752	18.7	205	1508	38.1	206	1233	54	207	1213	42.6
184	1328	90.6	185	1037	125	186	937	83.9	187	752	19	187	1717	25.9	188	1438	58.2	189	1152	112	191	903	74.3	191	1827	3.7	192	1538	37.4	193	1248	65.5	194	957	46.7	195	718	21.6	195	1642	48.1	196	1358	115	197	1133	102	198	852	54.6	198	1817	4.1	199	1533	69.6	200	1308	104	201	1028	102	202	1403	113	204	833	63.1	204	1757	15.4	205	1513	33.1	206	1237	59.1	207	1218	46.3
184	1333	98.2	185	1043	118	186	942	83.9	187	757	20.1	187	1722	23.3	188	1443	88.2	189	1158	109	191	907	77	192	618	3	192	1543	33.1	193	1253	68.5	194	1003	56.6	195	722	16	195	1647	50.3	196	1403	95.1	197	1137	74.3	198	857	36.4	198	1822	3.7	199	1538	75.6	200	1313	110	201	1033	99.3	202	1408	110	204	848	67.7	204	1802	15.1	205	1518	32.5	206	1243	53.5	207	1222	47.8
184	1338	98.5	185	1048	108	186	948	85.8	187	803	21.2	187	1727	20.5	188	1448	86.8	189	1203	109	191	912	77.4	192	623	4.2	192	1548	22.4	193	1258	90.7	194	1007	54.1	195	727	13.7	195	1652	44.6	196	1408	66.4	197	1143	86.4	198	903	21.1	198	1827	3.1	199	1543	74.2	200	1318	111	201	1037	99.2	202	1413	109	204	842	60.5	204	1807	13	205	1523	32.2	206	1248	43.8	207	1228	50.2
184	1343	98.8	185	1052	70.1	186	952	90.3	187	808	22.9	187	1732	18.1	188	1453	84.9	189	1208	111	191	917	79.6	192	627	4.8	192	1553	20.5	193	1303	65.1	194	1012	51.6	195	733	11.4	195	1657	38.8	196	1413	57.7	197	1148	98.6	198	908	5.7	199	1548	72.8	200	1323	112	201	1043	84.1	202	1418	107	204	847	51.7	204	1812	11.3	205	1528	32.6	206	1253	38.8	207	1233	52.2
184	1348	91.1	185	1058	45.6	186	957	89.4	187	812	24	187	1737	16.4	188	1458	83.9	189	1213	106	191	922	85.3	192	633	7.1	192	1558	5.3	193	1308	87.3	194	1018	54.5	195	737	12.7	195	1702	46.6	196	1418	92	197	1152	121	198	912	78.1	198	1832	2.7	199	1553	69.1	200	1328	111	201	1048	104	202	1423	102	204	852	76	204	1817	7.4	205	1533	33	206	1258	50.6	207	1237	53.2
184	1353	92.7	185	1103	54.5	186	1003	89.3	187	816	25.6	187	1742	15.1	188	1503	83.9	189	1218	106	191	927	85.1	192	637	7.9	192	1602	3.5	193	1313	72.4	194	1022	50.7	195	742	17.2	195	1707	43.9	196	1423	107	197	1158	73.6	198	918	72.5	199	633	7.9	199	1558	62.3	200	1333	110	201	1052	80.7	202	1428	102	204	857	51	204	1822	5	205	1538	32.9	206	1303	54.9	207	1243	52.4
184	1358	82.4	185	1107	60.4	186	1007	89.5	187	822	27.5	187	1747	13.9	188	1508	83.6	189	1222	107	191	933	92	192	642	8	192	1607	5.6	193	1318	56.2	194	1028	44.4	195	748	17	195	1712	16.6	196	1428	110	197	1203	47.1	198	922	62.9	199	637	8.6	199	1602	64.3	200	1338	100	201	1058	103	202	1433	97	204	903	49.2	204	1827	5.4	205	1543	31.6	206	1308	39.4	207	1248	54.2
184	1403	51.5	185	1113	65.3	186	1012	97.9	187	827	29.6	187	1752	12.7	188	1513	83.2	189	1227	107	191	937	95.2	192	647	8.8	192	1612	7.6	193	1323	40.6	194	1033	38.2	195	753	16.2	195	1718	29.4	196	1433	84.7	197	1208	21.1	198	927	53.4	199	643	9.4	199	1607	66.4	200	1343	111	201	1103	53.5	202	1253	56.7	204	908	29	204	1713	53.5	205	1523	29.6	206	1313	24.9	207	1253	56.7
184	1408	91.8	185	1118	71.7	186	1018	90.9	187	833	32	187	1757	11.6	188	1518	80	189	1233	103	191	942	90.1	192	652	9.9	192	1617	17.2	193	1328	48.3	194	1037	60.3	195	757	19.6	195	1722	19.3	196	1438	98.5	197	1213	50	198	933	58.1	199	648	10.2	199	1612	58.4	200	1348	43.2	201	1107	92.9	202	1443	107	204	912	44.5	205	1527	4.1	205	1553	27.3	206	1318	61.8	207	1258	59.2
184	1413	80.9	185	1122	74.8	186	1022	99.1	187	837	34.1	187	1802	9.6	188	1523	78.2	189	1237	104	191	947	89.5	192	657	12	192	1622	31.5	193	1333	79.2	194	1043	59.8	195	803	19	195	1727	20.2	196	1443	83.6	197	1218	56.1	198	937	49.4	199	652	13	199	1617	58.6	200	1353	83.1	201	1113	65	202	1448	101	204	918	42.7	206	633	5.1	206	1558	25.9	206	1323	68.4	207	1303	61.4
184	1418	95.4	185	1128	98.2	187	842	36.4	187	1807	7.4	188	1528	75	189	1243	109	191	952	90.4	192	703	13.9	192	1627	43.2	193	1338	94.7	194	1048	60.9	195	807	16.4	195	1

ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

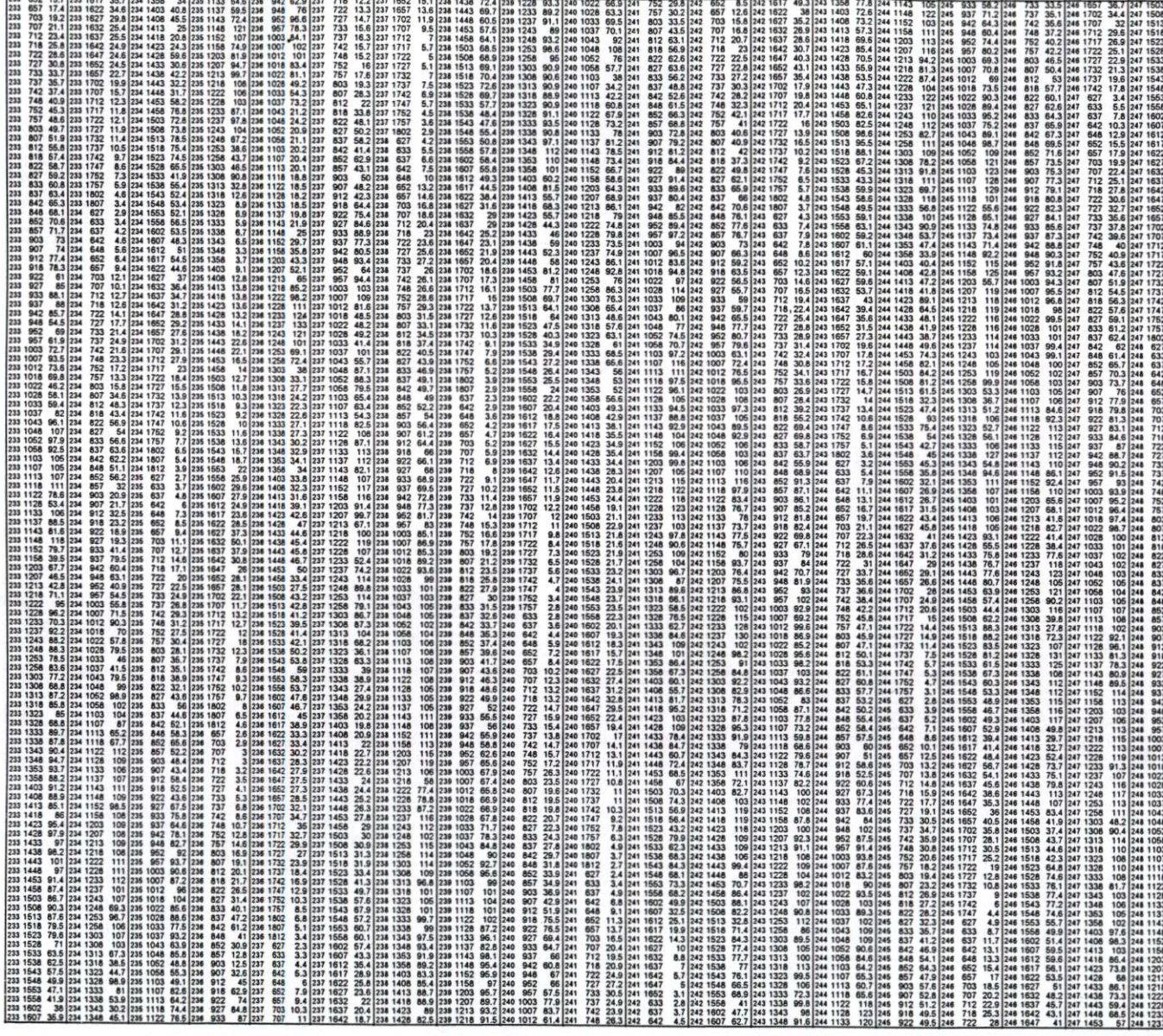
ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.



ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

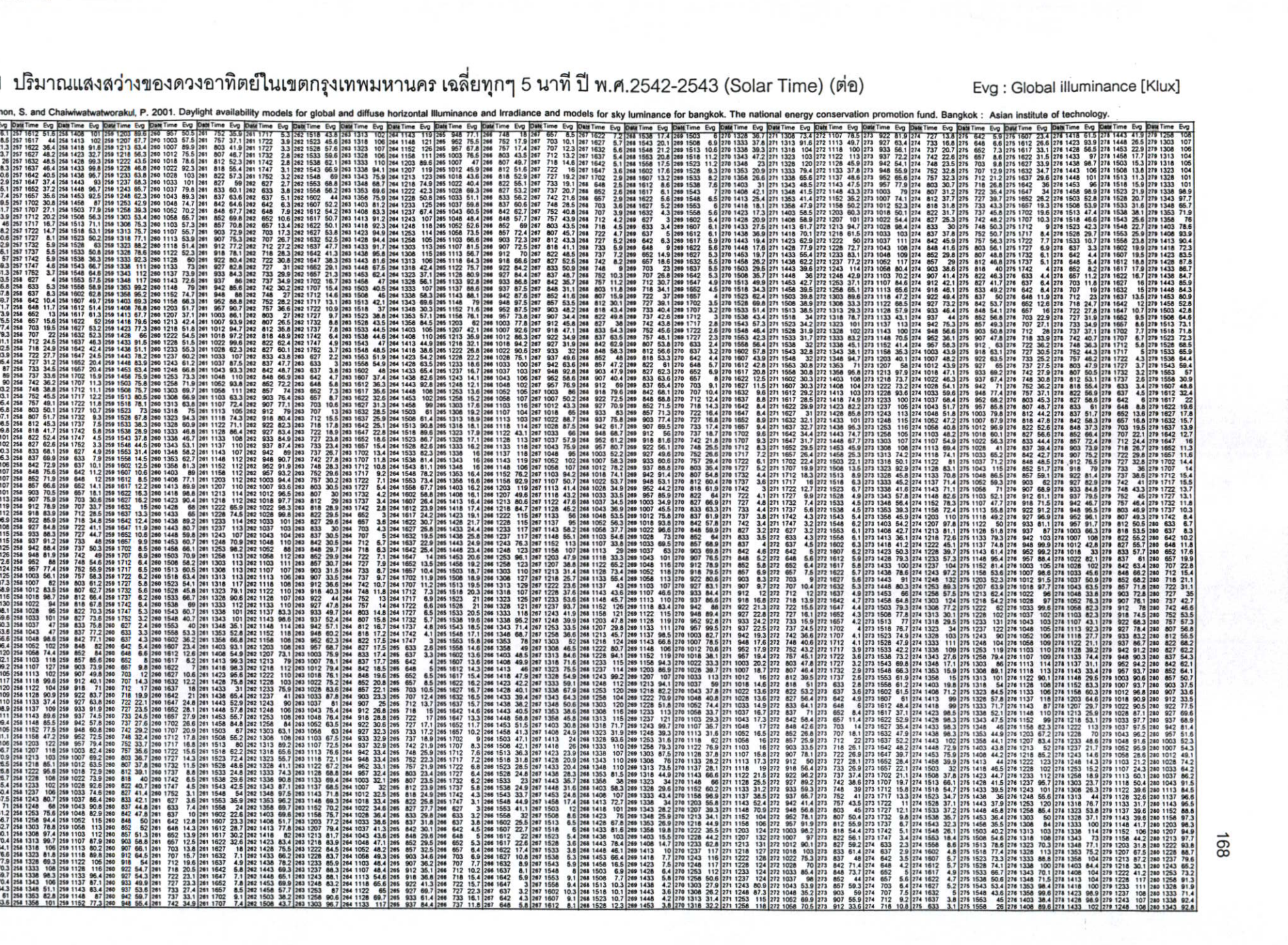
ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.



ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

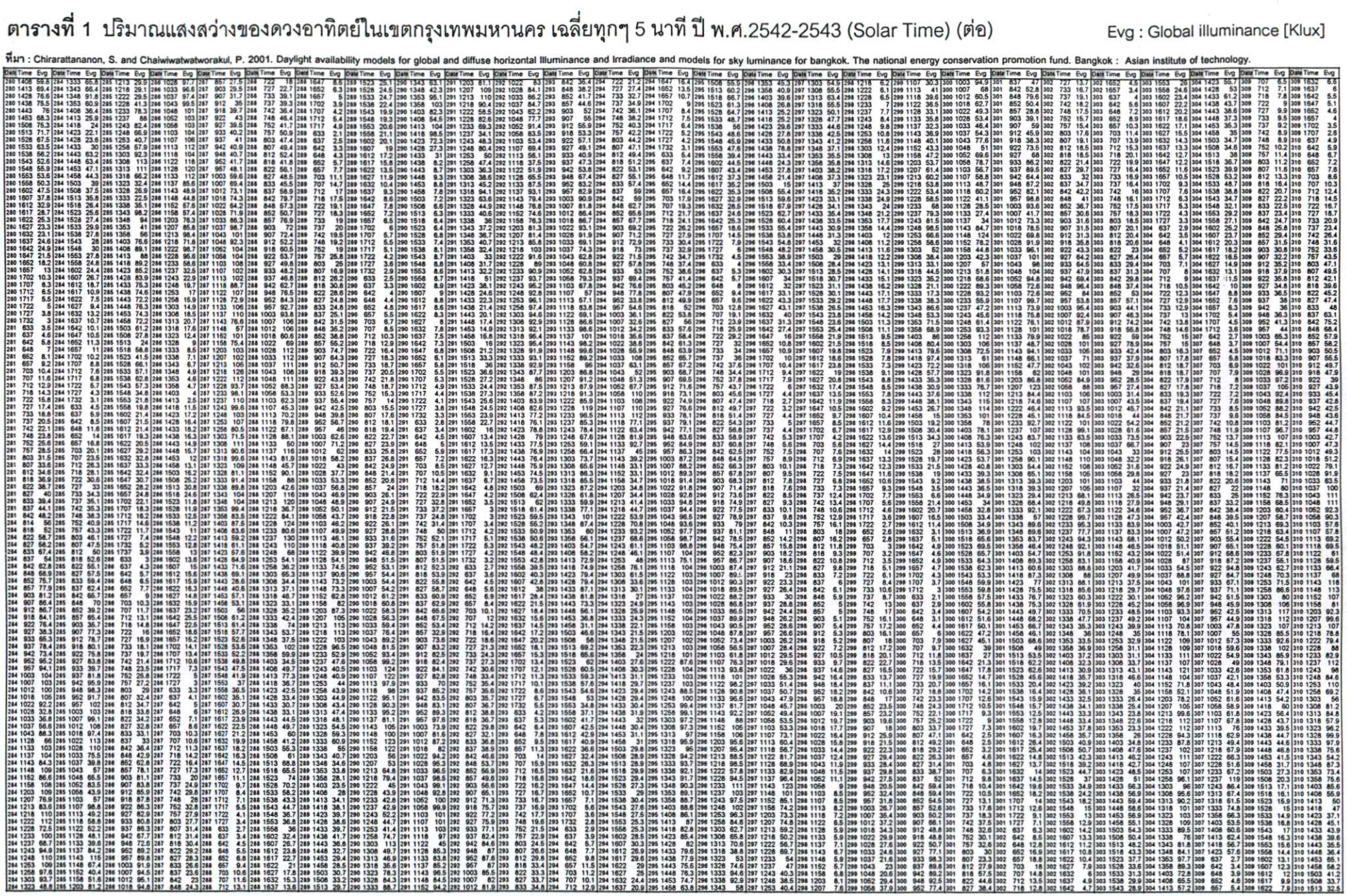
ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.



ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

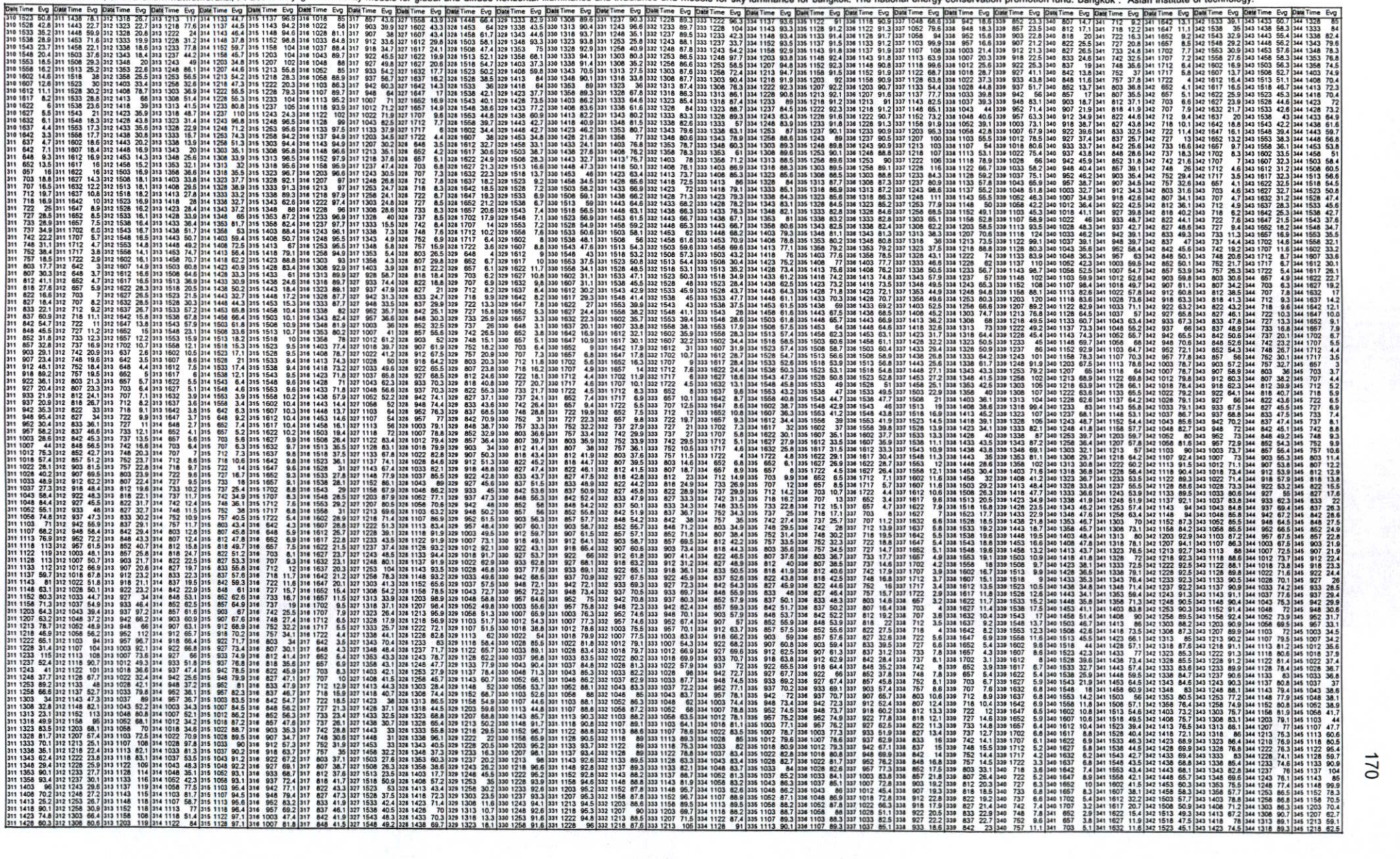
ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.



ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.



ตารางที่ 1 ปริมาณแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ปี พ.ศ.2542-2543 (Solar Time) (ต่อ)

Evg : Global illuminance [Klux]

ที่มา : Chirarattananon, S. and Chaiwiwatwatworakul, P. 2001. Daylight availability models for global and diffuse horizontal Illuminance and Irradiance and models for sky luminance for bangkok. The national energy conservation promotion fund. Bangkok : Asian institute of technology.

Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg	Date Time	Evg
345 1228	51.3	346 1122	59.5	347 1048	75.7	348 942	39	348 903	51.1	350 818	34	351 707	7	351 1652	5.3	352 1632	12.6	354 757	16.4	354 1722	5.1	355 1632	25.1	356 1533	47.3	357 1458	59.3	358 1423	70.9	359 1348	77.5	360 1308	76.4	361 1328	82.3	362 1218	90	363 1113	81.2	364 1012	70.3	365 907	50.8	365 907	50.8
345 1233	50.6	346 1128	71.3	347 1052	69.1	348 948	40.6	348 907	52.8	350 822	36.6	351 712	8.7	351 1657	4.6	352 1637	11.1	354 803	24.3	354 1727	3.9	355 1637	23	356 1538	45.1	357 1503	58.1	358 1428	69.3	359 1353	76.7	360 1313	78.5	361 1333	80.5	362 1222	75	363 1113	81.1	364 1016	72	365 912	52.1	365 912	52.1
345 1237	55.1	346 1133	55.2	347 1058	71.1	348 952	40.1	349 912	54.6	350 827	38.4	351 722	11.1	351 1702	3.9	352 1642	9.9	354 812	25.5	355 1707	3.5	356 1642	21.4	356 1543	43.4	357 1508	56.2	358 1428	68.2	359 1353	75	360 1318	80.2	361 1338	82.5	362 1227	77.4	363 1122	72.8	364 1018	53.4	364 918	53.4
345 1243	51.7	346 1137	53.4	347 1103	73.9	348 957	36.8	349 918	56.1	350 833	42.1	351 1707	3	352 1647	7.1	354 812	25.3	355 707	6.5	355 1647	19.4	356 1548	42.2	357 1513	52.9	358 1438	66.5	359 1403	73.3	360 1323	79.4	361 1343	79.9	362 1233	70.6	363 1128	83.6	364 1028	74.3	365 922	54.8	365 922	54.8
345 1248	54.5	346 1143	51.6	347 1107	81.3	348 1003	36	349 922	56.6	350 837	44.4	351 748	22.8	352 707	7.8	352 1652	6.1	354 818	26.7	355 712	8.2	355 1652	17	356 1553	40.2	357 1518	52.5	358 1443	64.3	359 1408	72.6	360 1328	78.3	361 1348	79.3	362 1237	65.6	363 1133	85.4	364 1033	74.9	365 927	55.9	365 927	55.9
345 1253	52	346 1148	41	347 1113	87.5	348 1007	34.6	349 927	58.1	350 842	46.6	351 752	24	352 712	9.5	352 1657	5.2	354 822	19.6	355 718	10.1	355 1657	15	356 1558	37.5	357 1533	50.6	358 1448	62.5	359 1413	72	360 1333	78.1	361 1353	78.1	362 1243	58.6	363 1137	85.8	364 1037	76.3	365 933	58.1	365 933	58.1
345 1258	87.7	346 1152	46.5	347 1118	82.1	348 1012	35	349 933	58.9	350 848	47	351 757	25.9	352 722	13.6	352 1702	5.6	354 827	34.1	355 723	12	355 1702	13.1	356 1602	35.8	357 1528	48.6	358 1453	61	359 1418	71.1	360 1338	77.8	361 1358	75.3	362 1248	59.6	363 1143	85.2	364 1043	77.2	365 937	59.6	365 937	59.6
345 1303	53.4	346 1158	56.6	347 1122	85.7	348 1018	35.4	349 937	60.5	350 852	49.5	351 803	28.3	352 727	15.9	352 1707	6.3	354 833	42.4	355 727	14.1	355 1707	11.3	356 1607	33.5	357 1533	47.1	358 1458	60.1	359 1423	70.5	360 1343	76.3	361 1403	74.4	362 1253	74.9	363 1148	85	364 1048	78.1	365 942	61.2	365 942	61.2
345 1308	78	346 1203	63.6	347 1128	82.8	348 1022	34.5	349 942	62.2	350 857	51.7	351 807	29.9	352 737	20.6	352 1712	5.2	354 837	44.8	355 737	18.4	355 1712	9.5	356 1612	31	357 1538	44.7	358 1503	58.1	359 1428	69.3	360 1348	74.8	361 1408	73.7	362 1258	58.2	363 1152	83.2	364 1052	78.8	365 948	63.2	365 948	63.2
345 1313	87.4	346 1207	75.3	347 1133	91.7	348 1028	33	349 948	65.1	350 903	53.9	351 812	31.6	352 752	26.7	352 1717	3.2	354 842	46.9	355 752	24.3	355 1717	7.7	356 1617	29.2	357 1543	43.5	358 1508	55.5	359 1433	68.2	360 1353	74	361 1413	71.3	362 1303	71.7	363 1158	82.9	364 1058	80	365 952	64.4	365 952	64.4
345 1318	79	346 1213	58.8	347 1137	84.2	348 1033	32.2	349 952	67.5	350 907	55.5	351 818	33.4	352 757	28.1	352 1723	3.5	354 848	49	355 757	26.3	355 1723	6.2	356 1622	27.9	357 1548	41.8	358 1513	54.6	359 1438	66.8	360 1358	73.2	361 1418	70.4	362 1308	74.3	363 1203	85.6	364 1103	80.7	365 957	65.6	365 957	65.6
345 1323	76.8	346 1218	41.7	347 1143	84.1	348 1037	33.5	349 957	69.2	350 912	56.9	351 822	36.2	352 803	30.9	353 807	27.9	354 852	50.8	355 803	28.2	355 1727	4.8	356 1627	26.1	357 1553	39.5	358 1518	53.9	359 1443	64.3	360 1403	71.3	361 1423	69.7	362 1313	59.7	363 1207	84.6	364 1107	82.1	365 1003	67.9	365 1003	67.9
345 1328	57.1	346 1222	45.7	347 1148	85.4	348 1043	34.6	349 1003	69.5	350 918	58.9	351 827	38.6	352 807	32.7	353 812	29.1	354 857	52.1	355 807	30.4	356 703	4.2	356 1632	23.9	357 1558	37.4	358 1523	51.9	359 1448	61.1	360 1406	71.2	361 1428	68.6	362 1318	87.8	363 1213	83.4	364 1113	82	365 1007	68.1	365 1007	68.1
345 1333	53.5	346 1228	75.8	347 1152	87.8	348 1048	36.8	349 1007	69.8	350 922	60.7	351 833	39.3	352 812	34.7	353 818	31.2	354 903	53.5	355 812	32.2	356 712	6.9	356 1637	21.5	357 1602	35.2	358 1528	50	359 1453	59.2	360 1413	70.5	361 1433	66.5	362 1323	88.4	363 1218	83.5	364 1118	82.7	365 1012	68.6	365 1012	68.6
345 1338	53.4	346 1233	59.4	347 1158	88.8	348 1052	41.4	349 1012	71.8	350 927	62.3	351 838	41.3	352 818	38.3	353 822	33.5	354 907	52.3	355 818	34	356 718	7.8	356 1642	19.3	357 1607	33	358 1533	48.1	359 1458	56.3	360 1418	68.3	361 1438	64.7	362 1328	89.9	363 1223	85.8	364 1123	83.8	365 1018	71.2	365 1018	71.2
345 1343	42.8	346 1237	51.4	347 1203	90.4	348 1018	73	350 933	62.8	351 842	44.5	352 822	38.3	353 827	39.8	354 912	56.9	355 822	36.1	356 722	11	356 1647	17.6	357 1612	32.1	358 1538	46.3	359 1503	56.4	360 1423	69.1	361 1443	64.8	362 1333	68.6	363 1228	74	364 1128	84.7	365 1022	73.7	365 1022	73.7
345 1348	77.1	346 1243	48.8	347 1207	89.7	348 1103	99	349 1022	76.4	350 937	65.9	351 848	46.8	352 827	40.4	353 833	42.7	354 918	58.7	355 827	38	356 727	14.7	356 1652	15.7	357 1617	30.7	358 1543	44.1	359 1508	56.6	360 1428	68.9	361 1448	62.3	362 1338	74.3	363 1233	76.2	364 1133	84.5	365 1028	74.5	365 1028	74.5
345 1353	85.1	346 1248	51.3	347 1213	88.3	348 1107	70.9	349 1028	75.6	350 942	67.2	351 852	49.1	352 833	42.7	353 837	45.4	354 922	60.1	355 833	39.9	356 733	14.2	356 1657	13.9	357 1622	28.2	358 1548	42.3	359 1513	54.6	360 1433	67.7	361 1453	61.5	362 1343	58.9	363 1237	84.4	364 1137	85	365 1033	71.9	365 1033	71.9
345 1358	77.3	346 1253	52.7	347 1218	87.7	348 1112	68.2	349 1033	74.4	350 948	67.5	351 857	51.3	352 837	44.2	353 842	48.4	354 927	61.5	355 842	41.3	356 738	13.6	356 1702	11.2	357 1627	25.1	358 1553	40.1	359 1518	52.9	360 1438	66.7	361 1458	59.3	362 1348	56.5	363 1243	79.7	364 1143	85.6	365 1037	72	365 1037	72
345 1403	63.9	346 1258	57	347 1222	87.1	348 1118	87.8	349 1037	78.5	350 952	68.8	351 903	52.7	352 842	46.4	353 848	44.4	354 933	62.2	355 842	42.7	356 743	14.5	356 1707	10.2	357 1632	23.6	358 1558	38	359 1523	51.3	360 1443	62.7	361 1503	56.8	362 1353	77.6	363 1248	80.2	364 1148	85.5	365 1043	72.7	365 1043	72.7
345 1406	47.9	346 1303	57.7	347 1228	88.2	348 1122	65.5	349 1043	80.2	350 957	68.2	351 907	54.3	352 848	48.6	353 852	30.9	354 937	66.7	355 848	44.4	356 748	21.4	356 1712	8.5	357 1637	21.1	358 1603	36.2	359 1528	49.3	360 1448	57.9	361 1508	56.9	362 1358	72.3	363 1253	83.6	364 1152	86.7	365 1048	75.6	365 1048	75.6
345 1413	71.6	346 1308	49.8	347 1233	88.4	348 1128	62.4	349 1048	81.3	350 1003	71.5	351 912	55.9	352 852	50.3	353 857	38.2	354 942	68.4	355 852	46.2	356 752	20.9	356 1717	7	357 1642	20	358 1607	33.7	359 1533	47.2	360 1453	57.9	361 1513	51.6	362 1403	76.5	363 1258	83.2	364 1158	86.7	365 1052	77.2	365 1052	77.2
345 1418	76.1	346 1313	51	347 1237	88.4	348 1133	60.7	349 1052	82.7	350 1007	72.9	351 917	57.8	352 857	51.8	353 903	50.9	354 948	69.8	355 857	47.8	356 757	14.5	356 1722	5.7	357 1647	18.1	358 1612	31.9	359 1538	43.1	360 1458	57.1	361 1518	52.5	362 1408	83.7	363 1303	83.2	364 1203	87.7	365 1058	78.9	365 1058	78.9
345 1423	73.6	346 1318	47.4	347 1243	88.2	348 1137	60.8	349 1058	82.7	350 1012	73.2	351 922	57.3	352 903	53.4	353 907	51.8	354 953	70.1	355 903	49.3	356 803	18.4	356 1727	4.2	357 1652	16.1	358 1617	30.2	359 1543	39	360 1503	54.8	361 1523	51.3	362 1413	87.1	363 1308	83.1	364 1208	87.2	365 1103	80.3	365 1103	80.3
345 1428	71.8	346 1323	55.7	347 1248	87.4	348 1143	77.5	349 1103	83.1	350 1018	74.5	351 927	59.8	352 907	55.4	353 912	59	354 957	71.9	355 907	51.1	356 807	11	357 703	4.1	357 1657	14.4	358 1622	28.3	359 1548	34.3	360 1508	52.9	361 1528	50.8	362 1418	72.6	363 1313	81.8	364 1213	87.2	365 1107	80.8	365 1107	80.8
345 1433	69.2	346 1328	63.2	347 1253	86.5	348 1148	76.5	349 1107	85.1	350 1022	75.2	351 933	61.5	352 912	56.7	353 918	60.7	354 1003	73.6	355 912	52.6	356 812	12.4	357 707	5.8	357 1702	12.5	358 1627	26.4	359 1553	30.1	360 1513	52.4	361 1533	47.8	362 1423	52.8	363 1318	80.9	364 1218	86.8	365 1113	79.7	365 1113	79.7
345 1438	66.9	346 1333	68.2	347 1258	84.4	348 1153	74.7	349 1113	86.2	350 1028	75.8	351 937	62.8	352 918	58.2	353 922	61.1	354 1007	74.2	355 918	53.8	356 818	11.8	357 712	7.5	357 1707	10.7	358 1632	24.8	359 1558	33.3	360 1518	52.1	361 1538	46.7	362 1428	59.1	363 1323	79.9	364 1222	87.5	365 1118	80.7	365 1118	80.7
345 1443	66	346 1338	74.7	347 1303	80.1	348 1158	41.8	349 1118	85.1	350 1033	77.4	351 942	65.3	352 922	60.5	353 927	60.5	354 1012	77.8	355 922	55.2	356 822	30.4	357 722	12	357 1712	9	358 1637	22.9	359 1603	36.1	360 1523	54.1	361 1543	45.2	362 1433	62.7	363 1328	78.6	364 1228	88.6	365 1123	79.3	365 1123	79.3
345 1448	66.6	346 1343	58.4	347 1308	80.4	348 1203	40.2	349 1122	87.3	350 1037	77.7	351 948	65.4	352 927	61.3	353 933	61.6	354 1018	73.6	355 927	56	356 827	32.7	357 727	13.6	357 1717	7.4	358 1642	21	359 1607	35.1	360 1528	47.3	361 1548	43.4	362 1438	36.9	363 1333	77.7	364 1233	83.9	365 1128	77.2	365 1128	77.2
345 1453	65.1	346 1348	47.8	347 1313	81.5	348 1207	41.1	349 1126	86.8	350 1043	77.6	351 952	65.1	352 933	63.3	353 937	64.4	354 1022	66.3	355 933	58.3	356 833	42.3	357 737	18.7	357 1722	6	358 1647	19	359 1612	32.9	360 1533	44.9	361 1553	41.7	362 1443	45.5	363 1338	77.4	364 1237	81.7	365 1133	77.1	365 1133	77.1
345 1458	58.9	346 1353	54.8	347 1318	83.7	348 1213	49.6	349 1133	87.2	350 1048	76.2	351 957	63.7	352 937	65.7	353 942	65.5	354 1028	58.9	355 937	60.7	356 837	30.2	357 742	21	357 1727	4.7	358 1652	17	359 1617	31.7	360 1538	41.9	361 1558	40.4	362 1448	37.7	363 1343	77.7	364 1243	84.8	365 1137	81.6	365 1137	81.6
345 1503	59.4	346 1358	52.3	347 1323	83.8	348 1218	83.3	349 1137	88.1	350 1053	75.7	351 962	57.3	352 942	69	353 947	66.5	354 1033	54	355 942	61.8	356 842	46.6	357 742	29.4	357 1732	3.5	358 1657	15.3	359 1622	29.7	360 1543	39.7	361 1603	35.1	362 1453	49.2	363 1348	77.9	364 1248	81.7	365 1143	80.3	365 1143	80.3
345 1508	59.4	346 1403	56.4	347 1328	82.5	348 1222	77	349 1143	89	350 1058	79.5	351 1007	73	352 948	67.6	353 952	68.2	354 1037	52.6	355 948	64.2	356 848	46	357 757	26.5	358 707	5.7	358 1702	13.3	359 1627	27.7	360 1548	38.7	361 1608	33.7	362 1458	40.3	363 1353	77.6	364 1253	78.6	365 1148	81.7	365 1148	81.7
345 1513	57.5	346 1408	57.9	347 1333	81.4	348 1228	100	349 1148	88.8	350 1103	81.3	351 1012	74.8	352 952	70.5	353 957	69.8	354 1043	56	355 952	65.3	356 852	34.8	357 807	30	358 712	7.7	358 1707	11.3	359 1632	25.6	360 1553	38.9	361 1612	31.6	362 1503	38.4	363 1358	76.5	364 1258	80.3	365 1152	83.2	365 1152	83.2
345 1518	55.7	346 1413	83.5	347 1338	80.3	348 1233	101	349 1152	88.7	350 1107	83.8	351 1018	75	352 957	72.1	353 1003	69.6	354 1048	55.1	355 957	65.9	356 857	40.3	357 812	31.3	358 722	11.9	358 1712	9.5	359 1637	23.1	360 1558	37.5	361 1617	30.1	362 1508	44.9	363 1403	73.9	364 1303	80.8	365 1158	83.2	365 1158	83.2
345 1523	60.7	346 1418	79.7	347 1343	79.2	348 1237	92.8	349 1158	88	350 1112	85	351 1022	75.6	352 962	73.9	353 1007	70.4	354 1053	57	355 962	67	356 903	46.1	357 822	32.1	358 727	13.4	358 1717	7.9	359 1642	21.2	360 1603	34.1	361 1622	28.5	362 1513	54.1	363 1408	74.4	364 1308	77.3	365 1203	84	365 1203	84
345 1528	45.7	346 1423	87	347 1348	79.6	348 1243	91.4	349 1203	90	350 1118	85.3	351 1028	78	352 1007	73.7	353 1012	74.2	354 1058	80.9	355 1007	68.1	356 907	57.7	357 827	37.8	358 737	18.1	358 1722	6.3	359 1647	19.3	360 1607	10.4	361 1627	25.1	362 1518	55.7	363 1413	72.4	364 1313	76.1	365 1207	83.2	365 1207	83.2
345 1533	43.6	346 1428	85.6	347 1353	78.5	348 1248	82.8	349 1207	88.5	350 1122	85.2	351 1033	77.6	352 1012	74.3	353 1018	73.4	354 1103	77.7	355 1012	69.1	356 912	58.6	357 837	42.3	358 742	20.3	358 1727	5	359 1652	17.8	360 1712	9.1	361 1632	23.3	362 1523	53.3	363 1418	71.4	364 1318	78.3	365 1213	83.5	365 1213	83.5
345 1538	44.5	346 1433	90.3	347 1358	78.9	348 1253	90.4	349 1212	89.1	350 1127	86.1	351 1038	76.5	352 1018	76.5	353 1022	76.1	354 1107	81.8	355 1018	70.4	356 918	59.7	357 842	44.5	358 752	24	359 703	4.3	359 1657	15.5	360 1717	7.6	361 1637	21.6	362 1528	50	363 1423	71.1	364 1323	78.5	365 1218	82.6	365 1218	82.6
345 1543	43.4	346 1438	86.6	347 1403	78.3	348 1258	76.6	349 1218	88	350 1132	86.7	351 1043	75.3	352 1022	76.1	353 1027	77.1	354 1112	82.6	355 1022	71.2	356 922	60.8	357 847	46.2	358 757	26.3	359 707	4.2	359 1702	12.5	360 1722	6.1	361 1642	19.9	362 1533	45.5	363 1428	68.9	364 1328	77.2	365 1223	82.9	365 1223	82.9
345 1548	45.5	346 1443	83.3	347 1408	77.3	348 1303	91.2	349 1222	88.9	350 1137	85.6	351 1048	75.3	352 1028	77.4	353 1033	78.4	354 1118	85.8	355 1028	71.5	356 927	56.6	357 852	47.2	358 807	30.3	359 712	7.3	359 1707	10.1	360 1727	4.8	361 1647	17.5	362 1538	46.7	363 1433	68	364 1333	77.4	365 1228	83.1	365 1228	83.1
345 1553	45.2	346 1448	89	347 1413	77	348 1308	76.8	349 1228	86.9	350 1143	86.2	351 1052	78.7	352 1033	78.5	353 1037	79.4	354 1122	53.8	355 1033	74.6	356 933	62.3	357 857	48.7	358 812	32.3	359 722	10.7	359 1712	9.5	360 1732	3.6	361 1652	15.2	362 1543	45.2	363 1438	66.3	364 1338	77	365 1233	84.5	365 1233	84.5
345 1558	46	346 1453	75.9	347 1418	76	348 1313	102	349 1233	87.7	350 1148	86.7	351 1058	78.6	352 1037	80.8	353 1043	79.1	354 1128	87.6	355 1037	75.6	356 937	65.4	357 903	50.2	358 822	36.4	359 727	13.1	359 1717	8.1	361 707	5.4	361 1657	14	362 1548	43.2	363 1443	65.5	364 1343	73.8	365 1237	83.4	365 1237	83.4
345 1602	46.4	346 1458	48.7	347 1423	76.6	348 1318	62.9	349 1237	89.1	350 1152	86.4	351 1103	82.5	352 1043	81.5	353 1047	80.2	354 1133	84.8	355 1042	77.6	356 942	67.1	357 907	51.5	358 827	37.1	359 732	14.6	359 1722	7.3	361 1642	17.1	362 1533	43.6	363 1448	73.2	364 1348	77.3	365 1243	83.7	365 1243	83.7
345 1607	41.4	346 1503	47.3	347 1428	78.3	348 1323	50.7	349 1243	87.5	350 1158	87.1	351 1107	85.4	352 1048	82.8	353 1052	83.4	354 1137	51.7	355 1046	78.5	356 947	68.7	357 912	53.8	358 837	42.5	359 742	19.2	359 1727	5	361 1718	8.6	361 1707	10	362 1558	41.2	363 1453	63.3	364 1353	71.5	365 1248	81.3	365 1248	81.3
345 1612	30	346 1508	43.9	347 1433	80.1	348 1328	59.5	349 1248	85.5	350 1203	86.3	351 1113	84.7	352 1062	83.6	353 1058	86.5	354 1143	56.8	355 1052	76.9	356 952	68.7	357 918	56.5	358 842	44.5	359 752	23.4	360 703	3.9	361 722	10.4	361 1712	8.4	362 1602	39.1	363 1458	61.6	364 1358	69.6	365 1253	81	365 1253	81
345 1617	23.6	346 1513	43.9	347 1438	76.4	348 1333	54.3	349 1253	85.2	350 1208	86.5	351 1118	86.2	352 1058	82.1	353 1103	87.7	354 1148	66.1	355 1058	78.1	356 957	70.2	357 922	57.5	358 848	46.6	359 757	25.5	360 707	5.2	361 727	12.2	361 1717	6.9	362 1607	36.5	363 1503	57.7	364 1403	70.3	365 1258	80.7	365 1258	80.7
345 1622	20.2	346 1518	37.1	347 1443	64.8	348 1338	49.2	349 1258	85.5	350 1213	86.1	351 1123	87.7	352 1103	82.3	353 1107	88.5	354 1152	80.5	355 1103	79.7	356 1002	71.8	357 927	58.3	358 852	47.8	359 802	27.3	360 712	3.4	361 732	14.8	361 1722	5.6	362 1608	34.7	363 1508	56.9	364 1408	71.8	365 1303	81.2	365 1303	81.2
345 1627	17.5	346 1523	39.8	347 1448	47	348 1343	45.5	349 1303	85.5	350 1218	86.1	351 1128	86.5	352 1107	66.6	353 1113	84.3	354 1158	90.6	355 1107	82.9	356 1007	72.5	357 937	59.8	358 857	49.9	359 812	30.9	360 718	8.2	361 742	18	361 1727	4.6	362 1617	31.5	363 1513	54.7	364 1413	69.1	365 1308	81	365 1308	81
345 1632	14.1	346 1528	43.6	347 1453	46.9	348 1348	41.5	349 1308	84.6	350 1222	87.9	351 1133	83.8	352 1113	90.1	353 1118	82.7	354 1203	86.9	355 1113	83.5	356 1012	72.3	357 937	61.3	358 903	51.8	359 822	35.8	360 722	10	361 752	22.1	361 1732	3.6	362 1622	29.6	363 1518	53.1	364 1418	66.7	365 1313	81.4	365 1313	81.4
345 1637	13.1	346 1533	33	347 1458	40	348 1353	40.6	349 1313	82	350 1228	87.5	351 1137	78.8	352 1118	89	353 1122	78.9	354 1207	86.8	355 1118	83.4	356 1018	73.8	357 942	62.8	358 907	53.5	359 827	38	360 727	11.8	361 757	24.1	362 703	3.9	362 1627	26.6	363 1523	52.9	364 1423	62.6	365 1318	78.9	365 1318	78.9
345 1642	12.4	346 1538	28.5	347 1503	34.4	348 1358	39.6	349 1318	83.3	350 1233	87.3	351 1142	84.8	352 1123	84.8	353 1127	84.3	354 1213	85.9	355 1122	83.5	356 1022	73.4	357 947	63.8	358 912	55.2	359 832	41.4	360 732	15.5	361 801	28.1	362 707	10.2	362 1632	32.3	363 1528	50.4	364 1428	62.6	365 1323	78.4	365 1323	78.4
345 1647	11.5	346 1543	25.1	347 1508	31.8	348 1403	38.8	349 1323	81.9	350 1237	86.4	351 1148	87.2	352 1128	90.7	353 1133	84.8	354 1218	79.2	355 1128	84.6	356 1028	76.7	357 952	65.8	358 918	57	359 842	43.8	360 742	17.4	361 812	30	362 712	6.8	362 1637	22.9	363 1533	48.9	364 1433	61.6	365 1328	77.5	365 1328	77.5
345 1652	9.6	346 1548	24.1	347 1513	29.7	348 1408	38.4	349 1328	81.9	350 1243	86.8	351 1152	87.2	352 1133	91.5	353 1137	84.2	354 1222	82.7	355 1133	85.1	356 1033	77.6	357 957	67.8	358 922	59.1

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวเรณู ด่านกุล

วัน เดือน ปีเกิด 29 เมษายน 2517

ที่อยู่ปัจจุบัน 9/394 อาคาร T8 เมืองทองธานี ถ.แจ้งวัฒนะ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี (11120)

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2536 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม สถานบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พ.ศ. 2539 ปริญญาสถาปัตยกรรมบัณฑิต (สถ.บ.) สาขาสถาปัตยกรรม สถานบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตอุเทนถวาย

พ.ศ. 2545 สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถานบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2539-2540 ผู้ช่วยสถาปนิก บริษัท SJA 3D CO.

พ.ศ. 2541-2542 สถาปนิกอิสระ

พ.ศ. 2543-2544 มัณฑนากร บริษัท GARANT MOBEL