ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร

นายไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFICIENCY OF INTERIOR DAYLIGHTING PANELS

Mr. Krairit Rerkasem

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร
โดย	นายไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี)

ไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม : ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร.
(THE EFFICIENCY OF INTERIOR DAYLIGHTING PANELS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค, 229 หน้า.

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารเป็นแนวคิดที่ช่วยลดการใช้พลังงานในสถาปัตยกรรม ระบบหิ้งสะท้อนแสง(light shelves)จึงถูกพัฒนาเพื่อช่วยประหยัดไฟฟ้าระบบส่องสว่างในอาคาร แต่เนื่องจากแสงธรรมชาติมีข้อจำกัดด้านความสม่ำเสมอจึงมีผลให้ส่วนระนาบทำงานยังคงต้องการแสงสว่างที่เพียงพอเพิ่มเติม วิทยานิพนธ์นี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาแนวคิดในระบบหิ้งสะท้อนแสงด้วยการนำแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร (interior daylighting panels) มาใช้เสริมกับหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดแบบเดิม ด้วยหลักการให้แสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านข้าง ตกลงบนระนาบทำงานเพิ่มขึ้น และเสริมประสิทธิภาพของหิ้งสะท้อนแสงในการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในอาคารให้ถึงเกณฑ์ที่เพียงพอต่อการใช้งาน เพื่อลดการใช้แสงไฟประดิษฐ์ลงจากการใช้แสงธรรมชาติทดแทน

การศึกษากำหนดขอบเขตเป็นอาคารสำนักงาน ที่ตั้งในเขตละติจูด 14 องศาเหนือ และมีช่วงเวลาใช้งาน 8.00 -16.00 น. ทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของ interior daylighting panelsทั้งตัวแปรกายภาพด้านรูปแบบ วัสดุ ระดับติดตั้งและตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพด้านรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง ประเมินผลโดยใช้หุ่นจำลองในการวัดค่า daylight factor ที่เพิ่มขึ้นและระยะที่ความส่องสว่างฝานเกณฑ์ 2 %DF จากช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ ภายใต้สภาพท้องฟ้าลักษณะ clear sky และ overcast sky แล้วนำผลมาคำนวณเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน เพื่อหาความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่ได้และแสงประดิษฐ์ที่ต้องการเพิ่มมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานจากไฟประดิษฐ์ในแต่ละกรณี

จากการศึกษา พบว่า interior daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางด้านกายภาพ คือ ลักษณะโค้งระนาบนอนที่ พิจารณาใช้พื้นผิวที่มีการสะท้อนแสงลักษณะ spread reflect และติดตั้งที่ระดับประมาณ 2.75 เมตร จะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอต่อการใช้งานจากกรณีปกติ(base case)ที่ใช้ lightshelves เรียบที่ช่องเปิดอย่างเดียว 1.70 เมตร หรือ 42.50% ในทิศเหนือ และ เพิ่มขึ้น1.75 เมตร หรือ 53.85% ในทิศใต้ ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น 34.42 %ต่อปีในทิศเหนือและ 12.40 % ต่อปีในทิศใต้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าหากมีการใช้ interior daylighting panels ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงรูปทรงโค้ง จะสามารถเพิ่มระยะที่แสงสว่างเพียงพอได้อีก 10.53% ในทิศเหนือ และ 16.00% ในทิศใต้ อีกทั้งสามารถประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นได้อีก 17.68 %ต่อปีในทิศเหนือ และ14.13 % ต่อปีในทิศใต้อีกด้วย โดยข้อสรุปที่ได้จากการศึกษานั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอาคารลักษณะใกล้เคียงกันที่มีการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติฝานช่องเปิดด้านข้างได้ต่อไป

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต ไกรฤทธิ์

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

##5174184525 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : INTERIOR DAYLIGHTING PANELS / EXTERNAL LIGHTSHELVES

KRAIRIT RERKASEM : THE EFFICIENCY OF INTERIOR DAYLIGHTING PANELS.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. THANIT CHINDAWANIG, 229 pp.

Making use of natural light in buildings is a design concept for reducing energy consumption in architecture. An exterior light shelf system has been developed for energy-saving lighting systems in buildings. Because daylight is constrained by inconsistency, available light in the work place needs to be maximized. This thesis aimed to study the feasibility of lighting maximization concepts developed in light shelving systems by the use of interior daylighting panels in buildings. The principle of daylighting is to make use of natural light as it strikes a plane in a workspace. And effectiveness of the light shelves to increase the reflection of light within a building may be an effective way to reduce the use of artificial into the use of alternative daylighting

The office building which was the object of this study is located at 14 degrees latitude north. The study observations took place from 8:00 to 16:00. The study examined variables related to the performance of interior daylighting panels including physical aspects of panel design, material, installation and environmental variables that may enhance the performance of exterior light shelves. To evaluate their effectiveness, a model was used to measure the relative daylight factor and the distance from the light source as it passed through the shelves 2% DF north - south during both clear and overcast conditions. The results were used to calculate the average hourly and monthly amounts of light available from the sky. These data were used to compare the effectiveness of daylighting to artificial lighting and thus measure the performance of natural lighting in reducing energy consumption from artificial light in each case.

The study found that using interior daylighting panels is the most effective way to maximize natural light utilization. The curve of horizontal plane is using a surface that is spread reflect and the optimal panel height is approximately 2.75 meters. Their use can be effective in increasing the distance from the plane of the light source from a base value (using only exterior light shelves without interior daylighting panel) of 1.70 meters or 42.50% in the north. This increased to 1.75 m or 53.85% in the case of a south light source which resulted in an increase in efficiency of energy 34.42% per year in the north and 12.40% per year in the south. In addition, it was found that by using interior daylighting panels and exterior light shelves with a curved shape that can be extended lighting more 10.53% in the north and 16.00% in the south. Also, there will be an increase in energy savings of 17.68% per year in the north and 14.13% per year in the south with this type of shelf. The conclusions from this study can be applied in building construction for maximum utilization of natural lighting.

Department Architecture Student's Signature

Field of Study Architecture Advisor's Signature

Academic Year 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ในการสนับสนุนงานวิจัยจากหลายฝ่ายดังรายนามต่อไปนี้

สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ เครื่องมือในงานวิจัยและลงบทความเผยแพร่ผลงานในวารสารวิจัยพลังงาน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในงานวิจัย

รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ข้อมูล แนะนำแนวทาง วิธีการและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

รองศาสตราจารย์ ดร. พรรณชลัท สุริโยธิน กรรมการตรวจวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือด้านข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร. ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ ประธานกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลามาช่วยในการตรวจวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญา มหัทธนทวี กรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ภายนอก จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่สละเวลามาช่วยในการตรวจวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข

ท้ายที่สุดขอขอบคุณครอบครัวฤกษ์เกษม ที่ให้ความสำคัญกับการศึกษาตลอดมารวมถึงผู้ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือในวิทยานิพนธ์แต่ยังไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูปภาพ..... ฐ

สารบัญแผนภูมิ..... ด

บทที่1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น..... 3

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.7 วิธีดำเนินการวิจัยและระเบียบวิธีวิจัย..... 4

บทที่2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 6

2.1.1 แสงสว่างและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 6

2.1.2 พฤติกรรมของแสง..... 6

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง..... 9

2.1.4 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง..... 11

2.1.5 แสงธรรมชาติ..... 12

2.1.6 สภาพท้องฟ้า..... 14

2.1.7 ทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์..... 16

2.1.8 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์..... 18

2.1.9 การพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ..... 19

2.1.10 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง..... 23

2.1.11 ทฤษฎีเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร..... 25

2.1.12 หิ้งสะท้อนแสง..... 28

2.1.13 การผสานระหว่างแสงธรรมชาติกับแสงประดิษฐ์..... 31

2.1.14 การจัดวางแสงประดิษฐ์ที่สัมพันธ์กับการใช้งาน..... 34
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 35
บทที่3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 41
3.1 ตัวแปรในการศึกษา..... 41
3.1.1 ตัวแปรกายภาพของ Interior daylighting panels..... 42
3.1.2 ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพ Interior daylighting panels..... 46
3.1.3 การศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้งาน..... 48
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 49
3.3 วิธีการวิจัย..... 50
3.4 หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลอง..... 53
บทที่4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 57
4.1 ผลการวิเคราะห์..... 57
4.1.1 ผลการทดลองตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panels..... 57
- ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels..... 59
- ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels... 88
- ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้ง interior daylighting panels..... 117
4.1.2 ผลการทดลองตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพ Interior daylighting panels..... 147
- ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร.... 151
บทที่5 ผลการพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในและการบริโภคพลังงาน..... 156
5.1 การหาค่าความส่องสว่างภายในโดยอาศัยค่า daylight factor..... 156
5.2 การหาปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารที่ต้องการเพิ่ม..... 157
5.3 ผลการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานไฟฟ้ารายปีของการศึกษาในแต่ละกรณี..... 177
5.4 ผลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้ารายปีของการศึกษาในแต่ละกรณี..... 180
5.5 ผลการเปรียบเทียบค่า heat gain ที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงประดิษฐ์ รายปีของการศึกษาในแต่ละกรณี..... 183
บทที่6 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ..... 183
6.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย..... 186
6.1.1 สรุปผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่า daylight factor มากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน..... 186
6.1.2 สรุปผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการเพิ่มความส่องสว่างบนระนาบทำงานที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร..... 189
6.2 การนำไปประยุกต์ใช้งาน..... 191
6.3 ข้อเสนอแนะ..... 193

6.3.1 ข้อจำกัดในการวิจัย..... 193
6.3.2 แนวทางในการวิจัยในอนาคต..... 194
รายการอ้างอิง 195
ภาคผนวก..... 197
ภาคผนวก ก. แหล่งที่มาของสมการ..... 198
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้อง วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่างๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ..... 200
ภาคผนวก ค. แสดงข้อมูลค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลอง..... 201
ภาคผนวก ง. ค่าการสะท้อนแสงวัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... 219
ภาคผนวก จ. แสดงคุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการวิจัย..... 221
ภาคผนวก ฉ. การตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลอง (calibration) ที่ใช้ในงานวิจัย..... 222
ภาคผนวก ช. แสดงการพิจารณาค่า daylight factor กับข้อมูลปริมาณแสงในท้องฟ้า ปี พ.ศ. 2541..... 224
ภาคผนวก ซ. ตารางและแผนภูมิประกอบการหาค่า coefficient of utilization (CU)..... 227
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 229

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงการใช้พลังงานประเภทต่างๆแยกตามประเภทอาคารของ USAID……..	1
2.1	แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่แนะนำสำหรับพื้นที่ใช้งานของสำนักงาน.....	8
2.2	แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้า เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน.....	13
2.3	Evalution of indoor daylight situation by daylight factor……	22
2.4	แสดงค่า Daylight factor ที่เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ.....	22
2.5	เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน.	23
2.6	เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง CIE และ IESNA และมาตรฐานการกำหนดค่า daylight factor ตามประเภทพื้นที่ใช้งาน……..	24
2.7	แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ…….	24
2.8	สรุปผลการศึกษาตัวแปรจากการศึกษาประสิทธิภาพหิ้งสะท้อนแสงของ ชัยวัฒน์ มุติศานต์	35
2.9	แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร Johnson center……	36
2.10	แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร Automotive industry office.....	37
2.11	แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร United Gulf bank.....	38
2.12	แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร Hong Kong Shanghai bank.....	39
2.13	แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร KfW Ostarkade bank.....	40
3.1	แสดงการสรุปตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน.	43
3.2	แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารของ daylighting panel เรียบระนาบนอน.....	43
3.3	แสดงการสรุปตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง.	44
3.4	แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารของ daylighting panel เรียบระนาบเอียง.....	44
3.5	แสดงการสรุปตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน...	45
3.6	แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารของ daylighting panel โค้งระนาบนอน.....	45
3.7	แสดงการสรุปตัวแปรและสมมุติฐานของการทดลอง……..	51
3.8	แสดงการสรุปรายละเอียดของหุ่นจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	53
3.9	แสดงค่าและรูปแบบการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง……	54
4.1	ค่า daylight factor ของการใช้ light shelves แบบเรียบตรงเพียงอย่างเดียว(Base case).	57
4.2	แสดงการกำหนดตัวแปรกายภาพที่ใช้ในการทดลองด้านรูปแบบของ daylighting panel…	59
4.3	ค่า %DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ specular reflect. ระดับ 2.50 เมตร	60
4.4	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ specular reflect.ระดับ 2.75 เมตร	63
4.5	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ specular reflect.ระดับ 3.00 เมตร	66
4.6	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ spread reflect. ระดับ 2.50 เมตร	69
4.7	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ spread reflect. ระดับ 2.75 เมตร	72

4.8	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ spread reflect. ระดับ 3.00 เมตร	75
4.9	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ diffuse reflect. ระดับ 2.50 เมตร	78
4.10	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ diffuse reflect. ระดับ 2.75 เมตร	81
4.11	ค่า % DF ของการใช้ interior daylighting panel วัสดุ diffuse reflect. ระดับ 3.00 เมตร	84
4.12	สรุปผลตัวแปรกายภาพด้านรูปแบบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ daylighting panel.....	87
4.13	แสดงการกำหนดตัวแปรกายภาพที่ใช้ในการทดลองด้านผิววัสดุของ daylighting panel....	88
4.14	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ2.50 เมตร	89
4.15	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ2.75 เมตร	92
4.16	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ3.00 เมตร	95
4.17	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียงระดับ 2.50 เมตร	98
4.18	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียงระดับ 2.75 เมตร	101
4.19	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียงระดับ 3.00 เมตร	102
4.20	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 เมตร	107
4.21	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 เมตร	110
4.22	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 เมตร	113
4.23	สรุปผลตัวแปรกายภาพด้านพื้นผิววัสดุที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ daylighting panel.....	116
4.24	แสดงการกำหนดตัวแปรกายภาพในการทดลองด้านระดับติดตั้งของ daylighting panel...	117
4.25	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ specular reflect...	118
4.26	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุspread reflect.....	121
4.27	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect.....	124
4.28	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุspecular reflect...	127
4.29	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ spread reflect.....	130
4.30	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุdiffuse reflect.....	133
4.31	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ specular reflect.....	136
4.32	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุspread reflect.....	139
4.33	ค่า%DF ของการใช้ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect.....	142
4.34	สรุปผลตัวแปรกายภาพด้านระดับติดตั้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ daylighting panel....	145
4.35	สรุปผลการศึกษาตัวแปรกายภาพ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panel.	147
4.36	แสดงการกำหนดตัวแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของ daylighting panel.....	147
4.37	ค่า daylight factor ของการใช้ light shelves ลักษณะต่างๆ.....	148
4.38	ค่า%DF ของการใช้ interior daylighting panel โค้งร่วมกับ light shelves ลักษณะต่างๆ..	151
4.39	สรุปผลการศึกษาตัวแปรแวดล้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ daylighting panel.....	154
5.1	แสดงการหาค่าความส่องสว่างภายใน ของการใช้ interior daylighting panel โค้งระนาบนอน ร่วมกับ light shelves โค้ง ของช่องเปิดทิศเหนือ ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky…….	157

5.2	แสดงการหาค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม ของพื้นที่ที่มีการใช้ interior daylighting panel โค้งระนาบนอน ร่วมกับ light shelves โค้ง ของช่องเปิดทิศเหนือใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky.....	158
5.3 - 5.14	แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panel โค้งระนาบนอน ร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนมกราคม –เดือนธันวาคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.....	162
5.15	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดทั้งปีจากการใช้ daylighting panel ที่มีประสิทธิภาพที่สุด.....	175
5.16	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดทั้งปี จากการใช้ daylighting panel กรณีต่างๆ.....	176
6.1	สรุปผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panel……	186
6.2	สรุปผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน……	189
ข.	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้อง วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่างๆสำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ.....	200
ค.1 - ค.2	แสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษากรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case).....	201
ค.3 -ค.20	แสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษาตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel ที่ระดับ 2.50 m.....	202
ค21-ค.38	แสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษาตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel ที่ระดับ 2.75 m.....	207
ค39-ค.64	แสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษาตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel ที่ระดับ 3.00 m.....	212
ง.1 - ง.6	แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	219
จ.1	แสดงค่า transmittance ที่แตกต่างกันของวัสดุกระจก.....	221
จ.2	ข้อมูลคุณสมบัติกระจก 6 มม. ของบริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด(มหาชน).....	221
ฉ.1	แสดงการตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลอง (Calibration) ที่ใช้ในงานวิจัย.....	222
ช.1	ค่า Hourly mean values of global illuminance (klux) by calendar month (local time)	224
ช.2	ค่า Hourly mean values of diffuse illuminance (klux) by calendar month(local time)	225
ช.3	พิจารณาค่า Daylight factor ที่ DF = 2.0 % ของ hourly mean values of diffuse illuminance (lux).....	226
ซ.1 - ซ.5	ตารางประกอบการหาค่า coefficient of utilization (CU).....	227

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงแผนภาพแนวคิดการใช้ light shelves บนระนาบทำงาน.....	1
2.1	แสดงความถี่ และความยาวคลื่นพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ visible light.....	6
2.2	แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง.....	6
2.3	แสดงการสะท้อนแสงเสมือนกระจกเงา (specular reflection).....	7
2.4	แสดงการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection).....	7
2.5	แสดงลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflection).....	8
2.6	แสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน.....	8
2.7	แสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย.....	8
2.8	แสดงการหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลาง.....	9
2.9	แสดงการหักเหหรือสะท้อนแสงผ่านตัวกลางสองชนิด.....	9
2.10	แสดงลักษณะของปริมาณแสง luminous flux.....	10
2.11	แสดงการกระจายของฟลักซ์จะลดลงโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลัง สอง.....	10
2.12	แสดงการเกิดแสงจ้าในมุมต่างๆ.....	11
2.13	แสดง Sun position : couse of the earth with respect to the sun.....	12
2.14	แสดงองค์ประกอบของแสงธรรมชาติ.....	13
2.15	แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ clear sky.....	14
2.16	แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ partly cloudy sky.....	15
2.17	แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky.....	16
2.18	Insolation levels for direct light and diffuse light	16
2.19	แสดงคำแหน่งของดวงอาทิตย์ และวันเวลาที่สมดุลย์(equinox).....	17
2.20	แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี lumen method.....	20
2.21	แสดงองค์ประกอบของการพิจารณาความสว่างแบบ daylight factor.....	21
2.22	แสดงการคำนวณแสงสว่างด้วยวิธี daylight factor.....	21
2.23	การวัดปริมาณความสว่างภายใต้ sky dome or artificial sky.....	22
2.24	เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน จากหน้าต่างแบบต่างๆ.....	26
2.25	การผสานหน้าต่างช่วงกลางและช่วงบน(spilt window design)เพื่อเพิ่มค่าความส่องสว่างภายใน.....	26
2.26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของช่องแสงกับระยะของความส่องสว่างที่ได้รับ.....	27
2.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างที่ลดลงเมื่อระยะห่างจากช่องเปิดเพิ่มขึ้น.....	27
2.28	แสดงการออกแบบช่องแสงด้านเดียว / 2ด้าน ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร.....	27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.29	แสดงการติดตั้งช่องแสงไว้ใกล้กับผนังภายในอาคารเพื่อการสะท้อนแสง.....	28
2.30	แสดงสัดส่วนของแสงสะท้อนจากขอบหน้าต่างกับแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก.....	28
2.31	แสดงการใช้ขอบหน้าต่างลักษณะต่างๆเพื่อเสริมการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าในอาคาร.....	28
2.32	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในระหว่างอาคารที่มีการใช้ช่องเปิดปกติกับใช้หิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิด.....	28
2.33	แสดงรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง.....	29
2.34	แสดงรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง.....	29
2.35	แสดงปัจจัยที่มีอิทธิภาพกับการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง.....	30
2.36	แสดงการปรับมุมเอียงขึ้นของหิ้งสะท้อนแสง.....	30
2.37	แสดงรูปตัดหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถปรับแผ่นฟิล์มสะท้อนแสงได้ตามฤดูกาล.....	30
2.38	แสดงการใช้ Interior daylighting panel ในอาคารสำนักงาน.....	30
2.39	แสดงลักษณะของรูปทรงที่มีผลกับรูปแบบการสะท้อนแสง.....	31
2.40	แสดงการ Integration daylighting and artificial light.....	31
2.41	แสดงการ เปรียบเทียบตำแหน่งของการวางไฟประดิษฐ์ที่สัมพันธ์กับการใช้งาน.....	34
2.42	สรุปผลการศึกษาปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงของนายชัยวัฒน์ มุติศานต์.....	35
2.43	แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร Johnson center	36
2.44	แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร Automotive industry office / Warehouse.....	37
2.45	แสดงการนำแสงธรรมชาติผ่านด้านข้างอาคารด้วย light shelves และ controlled windows ในอาคาร United gulf Bank.....	38
2.46	แสดงการใช้ interior curved lightshelves ในอาคาร United gulf bank.....	38
2.47	แสดงการใช้ specular reflectors (another way of thinking about light shelves) บน atrium อาคาร Hong Kong Shanghai bank.....	39
2.48	แสดงการ Integration daylighting and artificial light โดย interior daylighting panel (ซึ่งพัฒนาจาก light shelves) ในอาคาร KfW Ostarkade bank building Ostarkade , Frankfurt.....	40
3.1	แสดง light shelves ภายนอกรูปทรงเรียบตรง พร้อมแนวคิดการนำแสงเข้ามาในอาคาร....	46
3.2	แสดง light shelves รูปทรงปรับมุม 30 องศา พร้อมแนวคิดการนำแสงเข้ามาในอาคาร.....	47
3.3	แสดง light shelves ภายนอกรูปทรงโค้ง พร้อมแนวคิดการนำแสงเข้ามาในอาคาร.....	47
3.4	แสดงอุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง.....	50
3.5	แสดงลักษณะของหุ่นจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	50
3.6	แสดงวิธีการเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างด้วยอุปกรณ์วัดแสง illuminance meter.....	52
3.7	แสดงขั้นตอนในการทำหุ่นจำลอง.....	53
3.8	แสดงการเลือกใช้ค่าการสะท้อนแสงวัสดุ พื้น , ผนัง และฝ้าเพดานที่เหมาะสม.....	54

3.9	แสดงมุม profile angle ที่ใช้ในการกำหนดระยะยื่นของ shading อาคารทิศเหนือ – ใต้ โดยใช้มุม 60 องศาสำหรับ shading ทิศเหนือ และ 45 องศาสำหรับ shading ทิศใต้.....	55
3.10	แสดงผังพื้นของหุ่นจำลอง ประกอบกับการจัดวางผังดวงโคมและพื้นที่ใช้งาน.....	56
3.11	แสดงรูปด้านหน้า (façade) ของหุ่นจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	56
4.1	แสดงการนำแสงเข้ามาในอาคารในกรณีปกติ (base case)……..	57
4.2	แสดง typical section ของช่องเปิดอาคารที่มีการใช้ daylighting panel รูปแบบต่างๆ.....	59
4.3	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.50 m..	60
4.4	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.75 m..	63
4.5	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 3.00 m..	66
4.6	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 2.50 m....	69
4.7	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 2.75 m….	72
4.8	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 3.00 m….	75
4.9	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 2.50 m…	78
4.10	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 2.75 m....	81
4.11	ประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panel วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 3.00m.....	84
4.12	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 m.	89
4.13	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 m.	90
4.14	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 m.	95
4.15	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 m.	98
4.16	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 m.	101
4.17	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 m.	104
4.18	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 m..	107
4.19	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 m…	110
4.20	ประสิทธิภาพด้านผิววัสดุของ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 m.	113
4.21	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ specular ..	118
4.22	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ spread	121
4.23	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ diffuse	124
4.24	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ specular..	127
4.25	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ spread …	130
4.26	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ diffuse ….	133
4.27	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ specular	136
4.28	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ spread	139
4.29	ประสิทธิภาพด้านระดับของ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ diffuse	142
4.30	typical section ของช่องเปิดอาคารที่ใช้ daylighting panel ร่วมกับ lightshelves ต่างๆ.	147

4.31	ประสิทธิภาพของการใช้ lightshelves ภายนอกลักษณะต่างๆเพียงอย่างเดียว.....	148
4.32	ประสิทธิภาพของการใช้ daylighting panel โค้งร่วมกับ lightshelves ลักษณะต่างๆ.....	151
5.1	แสดงตำแหน่งที่วัดค่าความส่องสว่างภายใน typical section ของหุ่นจำลอง.....	156
5.2	แสดงวิธีการกำหนด zonal cavity.....	159
6.1	แสดงสรุปผลตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด...	188
6.2	แสดงการสรุปผลตัวแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพ ของ interior daylighting panel ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด.....	189
6.3	แสดงรูปแบบช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ที่มีการใช้ light shelvesแบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว.....	192
6.4	แสดงรูปแบบช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ที่มีการใช้ interior daylighting panel โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบเรียบตรง.....	192
6.5	แสดงรูปแบบช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ที่มีการใช้ interior daylighting panel โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบโค้ง.....	193
ง.1	แสดงลักษณะวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	219
ฉ.1	แสดงการตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลอง (Calibration) ที่ใช้ในงานวิจัย.....	223
ช.1	Iso-contour plot of diffuse illuminance(klux) Local time.....	224
ช.2	Iso-contour plot of diffuse illuminance (klux) Local time.....	225
ช.3	Hourly mean values of diffuse illuminance (lux) by calendar month (local time) ที่ DF=2%.....	226

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1.1	แสดงอัตราการใช้พลังงาน (Annual energy consumption for typical office building)	1
1.2	แสดงขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.3	แสดงระเบียบวิธีวิจัย.....	5
3.1	แสดงการแจกแจงตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	41
3.2	แสดงลำดับของการศึกษาทดลอง.....	49
4.1- 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า%DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ light shelves แบบเรียบที่ช่องเปิดอย่างเดียว(base case)ในทิศเหนือ-ใต้ ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	58
4.3	ประสิทธิภาพการใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)	58
4.4-4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า%DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ specular รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.50 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	61
4.6	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ specular reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.50 m.....	62
4.7-4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า%DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ specular รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	64
4.9	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ specular reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 m.....	65
4.10-4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า%DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ specular รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	67
4.12	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ specular reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 m.....	68
4.13-4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ spread รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.50 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	70
4.15	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ spread reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.50 m.....	71
4.16-4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ spread รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	73
4.18	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ spread reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 m.....	74
4.19-4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ spread รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	76
4.21	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ spread reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 m.....	77
4.22-4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ diffuse รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.50 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	79
4.24	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ diffuse reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.50 m.....	80
4.25-4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ diffuse รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	82

4.27	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ diffuse reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 m…….	83
4.28-4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel วัสดุ diffuse รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	85
4.30	ประสิทธิภาพ daylighting panel วัสดุ diffuse reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 m…….	86
4.31-4.32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆ ระดับ 2.50 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky…..	90
4.33	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.50 m……	91
4..34-	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบนอน	93
4.35	วัสดุต่างๆ ระดับ 2.75 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	
4.36	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.75 m.....	94
4.37-4.38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆ ระดับ 3.00 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	96
4.39	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 3.00 m.....	97
4.40-4.41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panelเรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆระดับ 2.50 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	99
4.42	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.50 m.....	100
4.43-4.44	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆ ระดับ 2.75 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	102
4.45	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.75m.....	103
4.46-4.47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆ ระดับ 3.00 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	105
4.48	ประสิทธิภาพdaylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆที่ระดับ 3.00 m.....	106
4.49-4.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel โค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆ ระดับ 2.50 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	108
4.51	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.50 m.....	109
4.52-4.53	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel โค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆ ระดับ 2.75 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	111
4.54	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.75 m.....	112
4.55-4.56	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel โค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆ ระดับ 3.00 mในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	114
4.57	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 3.00 m……..	115
4.58-4.59	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบนอน วัสดุspecular ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	119
4.60	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ specular ที่ระดับต่างๆ....	120

4.61-4.62	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบนอน วัสดุspread ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky....	122
4.63	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ spread ที่ระดับต่างๆ.....	123
4.64-4.65	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบนอน วัสดุdiffuse ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	125
4.66	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ diffuse ที่ระดับต่างๆ.....	126
4.67-4.68	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบเอียง วัสดุspecular ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	128
4.69	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ specular ที่ระดับต่างๆ	129
4.70-4.71	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบเอียง วัสดุspread ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky....	131
4.72	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ spread ที่ระดับต่างๆ.....	132
4.73-4.74	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel เรียบระนาบเอียง วัสดุ diffuse ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky....	134
4.75	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ diffuse ที่ระดับต่างๆ.....	135
4.76-4.77	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel โค้งระนาบนอน วัสดุ specular ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky	137
4.78	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ specular ที่ระดับต่างๆ.....	138
4.79-4.80	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel โค้งระนาบนอน วัสดุ spread ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky...	140
4.81	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ spread ที่ระดับต่างๆ.....	141
4.82-4.83	แสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lighting panel โค้งระนาบนอนวัสดุ diffuse ที่ระดับต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	143
4.84	ประสิทธิภาพ daylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ diffuse ที่ระดับต่างๆ.....	144
4.85-4.86	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DFกับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ lightshelves ลักษณะต่างๆเพียงอย่างเดียว ในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.....	149
4.87	ประสิทธิภาพการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย light shelves ลักษณะต่างๆเพียงอย่างเดียว	150
4.88-4.89	กราฟแสดงความสัมพันธ์ %DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้ daylighting panel โค้ง ร่วมกับ lightshelves ลักษณะต่างๆในทิศเหนือ-ใต้ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear และ overcast sky.	152
4.90	ประสิทธิภาพของการใช้ daylighting panel โค้ง ร่วมกับ light shelves ลักษณะต่างๆ.....	153
5.1	แสดงการแบ่งพื้นที่เพื่อแสดงตำแหน่งที่ต้องการค่าความส่องสว่างภายในเพิ่ม.....	157
5.2	เปรียบเทียบการบริโภคพลังงานไฟฟ้า(kW-hr/year) ตลอดปีของการศึกษาในแต่ละกรณี...	177
5.3	แสดงการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานตลอดปีที่ลดลง ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ(มีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมง/วัน).....	178

5.4	แสดงการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานตลอดปีที่ลดลง ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ light shelves เรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case).....	179
5.5	แสดงการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานตลอดปีที่ลดลง ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ daylighting panel โค้ง ร่วมกับ light shelves แบบเรียบตรง.....	179
5.6	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดปี(บาท)ของการศึกษาในแต่ละกรณี.....	180
5.7	แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดปีที่ลดลง ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ(มีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมง/วัน).....	181
5.8	แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดปีที่ลดลง ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ light shelves เรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case).....	182
5.9	แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดปีที่ลดลง ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ daylighting panel โค้ง ร่วมกับ light shelves แบบเรียบตรง.....	182
5.10	แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain ที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงประดิษฐ์ ตลอดปีของการศึกษาในแต่ละกรณี.....	183
5.11	แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain จากแสงประดิษฐ์ที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ(มีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมง/วัน)	184
5.12	แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain จากแสงประดิษฐ์ที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ light shelves เรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)……..	185
5.13	แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain จากแสงประดิษฐ์ที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ daylighting panel โค้งร่วมกับ light shelves แบบเรียบตรง.....	185
6.1	แสดงสรุปประสิทธิภาพด้านระยะในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารด้วยกรณีต่างๆ....	187
6.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ-ใต้ร่วมกันของกรณีใช้ light shelves ที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case).....	192
6.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ-ใต้ร่วมกันของกรณีใช้ daylighting panel โค้งร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบเรียบตรง	192
6.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ-ใต้ร่วมกันของกรณีใช้ daylighting panel โค้งร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบโค้ง	193
ฉ.1	กราฟแสดงการตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลองที่ใช้ในงานวิจัย (calibration)	223
ช.1	Cumulative frequency distribution of global illuminance values of each month and of a year (working hour 8.00-17.00 น.).....	224
ช.2	Cumulative frequency distribution of diffuse illuminance values of each month and of a year (working hour 8.00-17.00 น.)…….	225
ซ.5	Luminaire dirt depreciation factors (LDD) for six luminaire categories (I to VI)……	228

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Background Study/Justification)

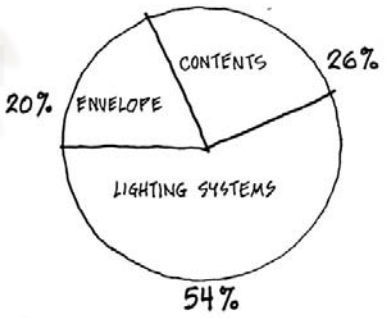
ปัจจุบันทั่วโลกมีความตระหนักเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมเพราะมีผลกระทบกับสิ่งมีชีวิตในทุกระดับ และปัญหาใหญ่ที่ไม่อาจปฏิเสธได้ก็คือ ปัญหาเกี่ยวกับสภาวะโลกร้อน (global warming) ที่มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการบริโภคพลังงานสิ้นเปลืองในสถาปัตยกรรม โดยจากการสำรวจของ USAID[1] พบว่า พลังงานที่ถูกใช้ในอาคารสถาปัตยกรรมมาจากระบบไฟฟ้าส่องสว่างถึง 15 -25 % เมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ นั้น เป็นผลมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่หมดไปกับแสงประดิษฐ์ อีกทั้งการใช้แสงประดิษฐ์ยังเกิดเป็นความร้อนที่เป็นภาระของระบบปรับอากาศอีกด้วย แนวทางที่ดีที่สุดที่จะช่วยประหยัดพลังงานที่หมดไปกับไฟฟ้าแสงประดิษฐ์คือการพิจารณาใช้แสงธรรมชาติทดแทน ซึ่งมีประสิทธิภาพและเป็นพลังงานชนิดหมุนเวียนทดแทนได้ (renewable energy)

ตารางที่ 1.1 แสดงการใช้พลังงานประเภทต่างๆแยกตามประเภทอาคารของ USAID

ลำดับ	ประเภทอาคาร	ระบบทำความเย็น	ระบบแสงสว่าง	อื่นๆ
1.	อาคารสำนักงาน	50.0 %	25.0 %	25.0 %
2.	อาคารโรงแรม	61.0 %	15.3 %	23.7 %
3.	อาคารศูนย์การค้า	60.0 %	25.0 %	15.0 %
4.	อาคารสถานพยาบาล	77.5 %	14.7 %	7.8 %

***อื่น ๆ หมายถึง ระบบความร้อนและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆที่ใช้ไฟฟ้า**

ที่มา : Lawrence Berkley Labolatory. Energy conservation in commercial building ,1985



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (Annual energy consumption for typical office building)

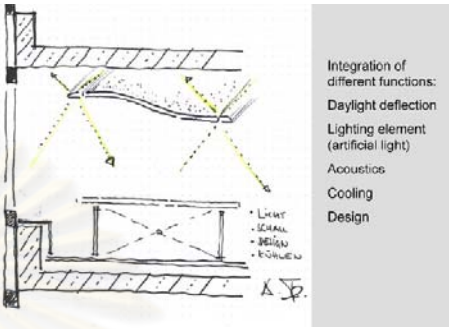
เทคนิคที่ได้รับความนิยมเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารที่มีการใช้ระนาบทำงานคือการใช้ระบบ หิ้งสะท้อนแสง (light shelves) ที่ประสานระหว่างอุปกรณ์บังแดดและหลักการสะท้อนแสงธรรมชาติขึ้นบนฝ้าเพดานเพื่อทำให้ค่าความส่องสว่างภายในสูงขึ้น แต่เนื่องจากแสงธรรมชาติมีข้อจำกัดทางด้านความสม่ำเสมอจึงมีผลทำให้บางช่วงเวลายังคงต้องอาศัยแสงประดิษฐ์เสริมบนระนาบของการใช้งาน แนวคิดของระบบ lightshelves จึงได้รับการศึกษาและพัฒนาต่อมาในรูปแบบของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร (interior daylighting panels) เพื่อใช้เพิ่มความส่องสว่างในเฉพาะส่วน แต่การพัฒนาดังกล่าวยังคงขาดการศึกษาในด้านของการนำ interior daylighting panels มาใช้ส่งเสริมประสิทธิภาพร่วมกันกับระบบ lightshelves ซึ่งเป็นหลักการที่มีแนวโน้มด้านการเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างภายในอาคาร

การศึกษานี้จึงมุ่งพัฒนาเทคนิคของ light shelves ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ด้วยแนวคิดการใช้ interior daylighting panels เสริมประสิทธิภาพ light shelves ที่ช่องเปิด ในการทำให้แสง

---

[1] United States Agency for International Development (ธนิต จินดาวณิค 2540 : 6)

ธรรมชาติที่ผ่านจากช่องเปิดด้านข้างตกลงบนระนาบทำงานและสะท้อนเข้าภายในอาคารมากขึ้น เพื่อลดการใช้แสงไฟประดิษฐ์ทั้งในส่วนของแสงเฉพาะที่ (task light) และแสงในพื้นที่ทั่วไป (ambient light) ลง โดยผลจากการศึกษานี้จะสามารถนำไปใช้ต่อยอดแนวคิดของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาทดแทนแสงประดิษฐ์ในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานต่อไป



<u>ภาพที่</u>1.1 แสดงแผนภาพแนวคิดการใช้ daylighting panel **บนระนาบทำงาน** (Higher education couse on lighting system design and simulation , 2552)

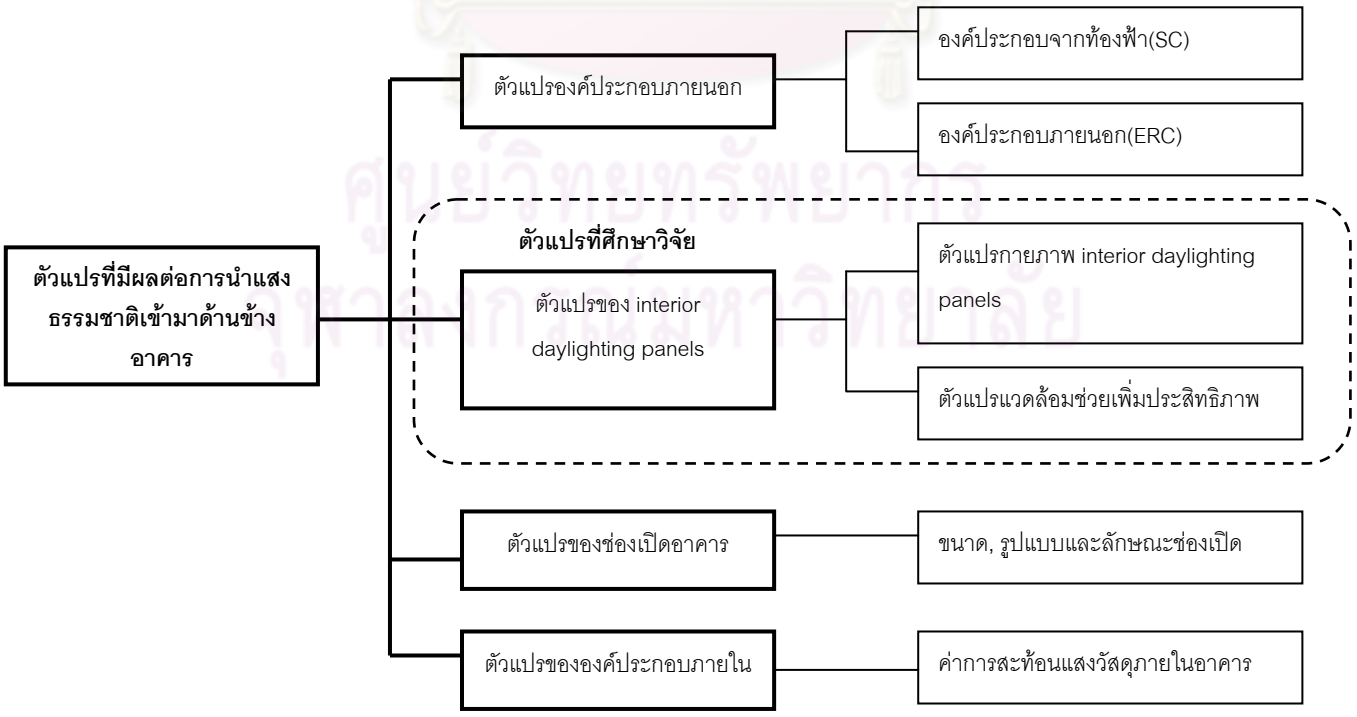
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาแนวคิดการนำแสงธรรมชาติเข้ามาทดแทนแสงประดิษฐ์เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารด้วยการใช้ interior daylighting panels เหนือระนาบทำงานเสริมประสิทธิภาพกับ light shelves

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยและตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้ interior daylighting panels เหนือระนาบทำงาน เสริม light shelves ที่ช่องเปิดอาคารเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย (Research Scope)

พิจารณาศึกษาในส่วนของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารเป็นหลักดังนี้



แผนภูมิที่ 1.2 **แสดงขอบเขตของการวิจัย**

1. **กำหนดขอบเขตในด้านการศึกษาเฉพาะตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพ** ของ daylighting panels เหนือระนาบทำงาน โดยแบ่งออกเป็นตัวแปรกายภาพของ lighting panel และตัวแปรแวดล้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพ lighting panel

- ตัวแปรด้านกายภาพของ lighting panels ที่ศึกษา ได้แก่ รูปแบบ ,พื้นผิววัสดุ , ระดับติดตั้ง
- ตัวแปรแวดล้อมที่มีผลในการส่งเสริมประสิทธิภาพ lighting panels ได้แก่ รูปทรง light shelves ที่ช่องเปิดอาคาร, ลักษณะของช่องเปิดและองค์ประกอบของช่องเปิด (โดยการศึกษานี้จะศึกษาเฉพาะในส่วนของรูปทรง light shelves ที่ช่องเปิดอาคาร)

2. **กำหนดขอบเขตทำการศึกษาด้วยหุ่นจำลอง** โดยศึกษาในส่วนของแสงธรรมชาติเป็นหลักภายใต้สภาพท้องฟ้าในลักษณะโปร่ง (clear sky) และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม (overcast sky) ซึ่งเป็นลักษณะท้องฟ้าที่พบได้ในประเทศไทย ทำการวัดผลด้วยวิธี daylight factor method

3. **กำหนดขอบเขตด้านทิศทางของแสงธรรมชาติที่ใช้ในการศึกษา** จะใช้แสงจากท้องฟ้าลักษณะ clear sky และแสงกระจาย(diffuse)จากท้องฟ้าลักษณะ overcast sky ผ่านช่องเปิดในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ เนื่องจากเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่น้อยกว่าด้านทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ที่ได้รับแสงแดดโดยตรง (direct light) และปริมาณความร้อนมาก

4. **กำหนดขอบเขตเพื่อนำผลประยุกต์ใช้** กับอาคารที่อาศัยระนาบทำงานในลักษณะของสำนักงานหรืออาคารการศึกษา แต่สำหรับตัวแทนของห้องที่ใช้จำลองจะศึกษาจากขนาดมาตรฐานจากอาคารประเภทสำนักงานเป็นหลัก ที่ตั้งในเขตละติจูดที่ 14 องศาเหนือ มีการใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน อยู่ระหว่าง 8.00 น.-16.00 น.

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption)

มุ่งประเด็นศึกษาประสิทธิภาพของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารจากการพัฒนาหลักการของ light shelves ด้วยแนวคิดการใช้ interior daylighting panels เสริมประสิทธิภาพกับ light shelves ที่ช่องเปิดอาคาร เพื่อทดแทนการใช้แสงประดิษฐ์

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย (Terminology)

1. Interior daylighting panels คือ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน ภายในอาคาร
2. Light shelves คือ หิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร
3. Illuminance คือ ค่าการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น lux (lumen per square meter)
   วัดด้วยอุปกรณ์ illuminance meter (DX - 200)
4. Luminance คือ ค่าความสว่าง มีหน่วยเป็น cd/m^2 (candela per square meter)
   วัดด้วยอุปกรณ์ luminance meter (Minolta LS-110)
5. (%)DF คือ ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างภายในและภายนอก
   คิดจาก $\frac{(\text{Ein} \times \text{dirt factor} \times \text{glazing transmittance})}{\text{Eext}} \times 100$

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Benefits/ applications of research findings)

1. เพื่อนำผลการศึกษาไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เพื่อลดการบริโภคพลังงานสิ้นเปลืองจากแสงประดิษฐ์

2. เพื่อนำผลมาพัฒนาต่อยอดแนวคิดของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารด้วยระบบ light shelves

1.7 วิธีดำเนินการวิจัยและระเบียบวิธีวิจัย (Research design- planning)

เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้หุ่นจำลองในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ interior daylighting panels เหนือระนาบทำงาน โดยมีลำดับในการศึกษาดังนี้

1. ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาด้วย light shelves เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแนวคิดและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ

2. สร้างสมมุติฐานและสรุปตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้ daylighting panels เหนือระนาบทำงานเสริม light shelves จากการศึกษาทฤษฎี เพื่อเข้าสู่กระบวนการทดลอง

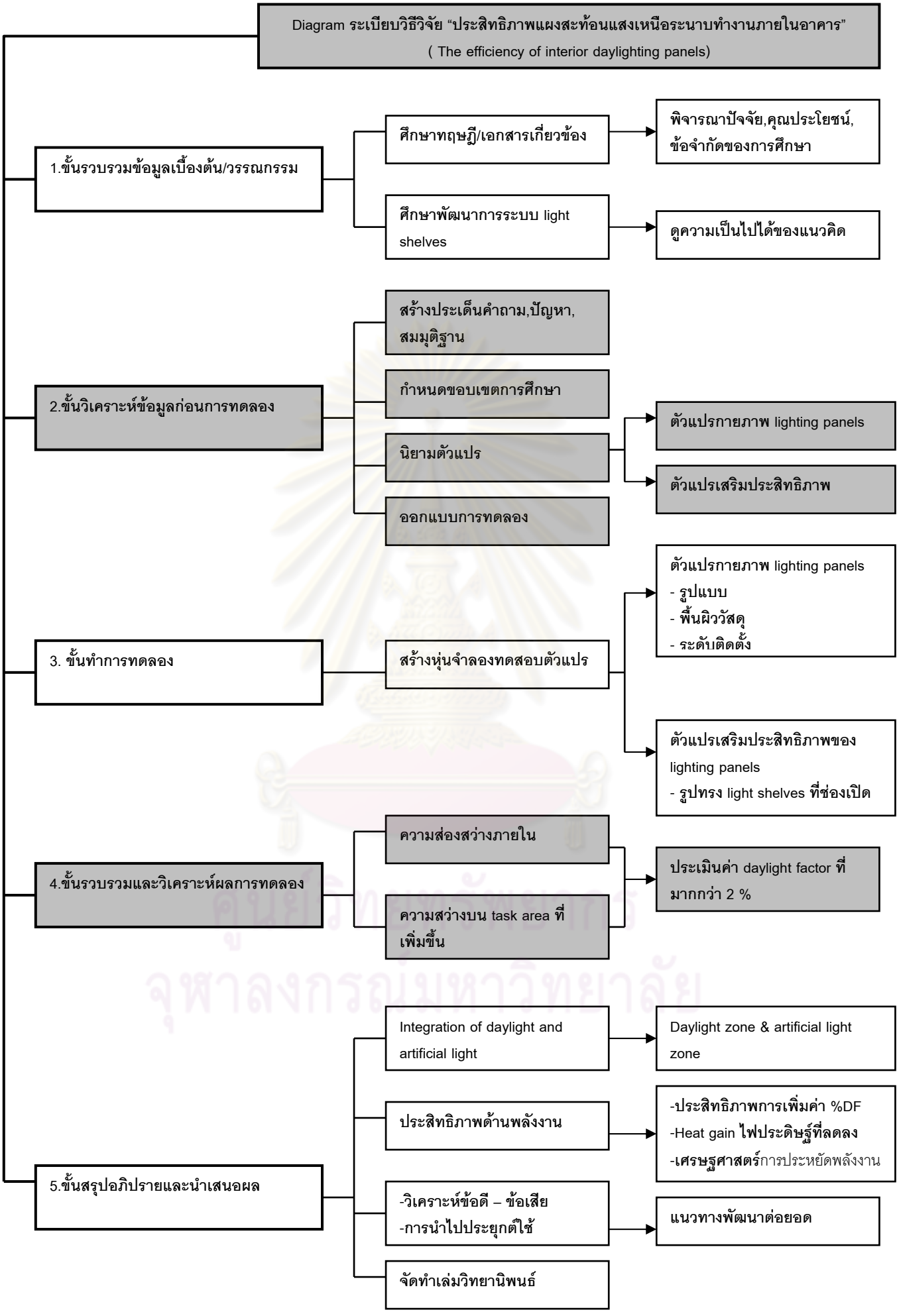
3. ทำการทดลองตัวแปรด้วยหุ่นจำลองขนาด 8 x 16 เมตรที่มาตราส่วน 1: 15 ศึกษาภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky และ overcast sky วัดค่าความส่องสว่างโดยเครื่องมือ illuminance meter (DX-200) ที่ระดับ work plane 0.75 m. ทุกช่วงระยะ 1 เมตรจากช่องเปิด

4. รวบรวมและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลอง จากการประเมินระยะจากช่องเปิดอาคารที่ได้ค่า daylight factor มากกว่า 2% (300 - 500 lux) และปริมาณความส่องสว่างบน task area ใต้ daylighting panels ที่เพิ่มขึ้น

5. นำผลการทดลองที่ได้จากการสรุปแต่ละตัวแปรที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้ interior daylighting panels มาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน (Jirattananon and Chaiwiwatworakul ,2001: A-16.1) เพื่อหาความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่ได้รับและแสงประดิษฐ์ที่ต้องการเพิ่ม (integration of daylight and artificial light)

6. สรุปผลการทดลองจากการประเมิน(เปรียบเทียบในรูปแบบกราฟและแผนภูมิ)
   - ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าdaylight factor บนระนาบทำงานและส่วนลึกของห้อง
   - การบริโภคพลังงานที่ลดลง
   - ค่า heat gain ของแสงประดิษฐ์ที่สามารถลดลงได้
   - เศรษฐศาสตร์ประมาณการค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (kW-hr)

7. อภิปรายและเสนอแนะผลการทดลองในการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด



แผนภูมิที่ 1.3 แสดงระเบียบวิธีวิจัย

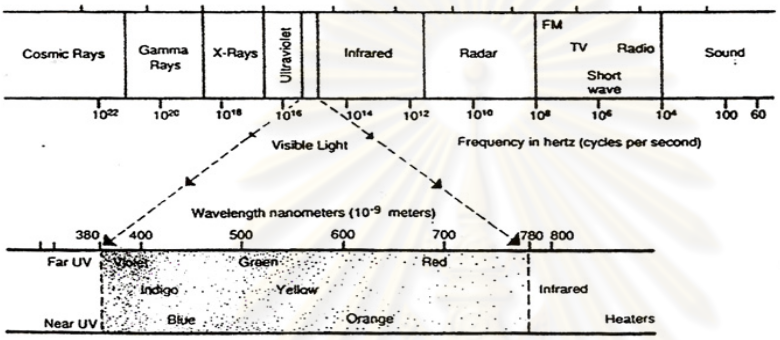
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 แสงสว่างและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวนำ แสงมีความเร็วสูงถึง 3 $x10^8$ เมตร/วินาที ความยาวคลื่นและความเร็วขึ้นกับตัวกลางที่แสงเคลื่อนผ่าน แต่ความถี่ของแสงจะคงที่ไม่ขึ้นกับตัวกลาง สามารถแบ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากดวงอาทิตย์เป็น 3 ย่านได้ดังนี้



ภาพที่ 2.1 **แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและ** visible light

1) รังสีแกมมา เอกซเรย์ อัลตราไวโอเลต แต่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านนี้จะไม่สามารถลงมาถึงพื้นโลกได้เพราะถูกดูดด้วยโอโซนในชั้นบรรยากาศ

2) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นย่าน 290 – 1400 นาโนเมตรลงมายังพื้นโลก แต่มีทั้งคลื่นชนิดที่มองไม่เห็นและมองเห็น(380 – 760 นาโนเมตร) โดยย่านที่ไวต่อสายตามากที่สุดได้แก่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร(คลื่นที่ความยาวนี้มีแสงสีเหลือง)

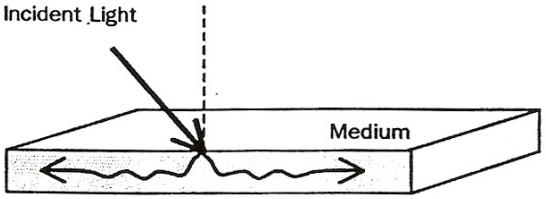
3) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1400 นาโนเมตร จะไม่สามารถลงมาถึงพื้นโลกเพราะถูกดูดด้วยละอองน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

2.1.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดสู่ตัวกลางชนิดต่างๆ นับตั้งแต่ อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง ฯลฯ พฤติกรรมของแสงจะแตกต่างกันออกไปเพราะทิศทางของแสงถูกเปลี่ยนไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น โดยพฤติกรรมของแสงสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. **การดูดกลืน** (Absorption)

ปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง เช่นการฉายแสงสีขาวลงบนวัตถุสีเขียว แสงสีอื่นจะถูกดูดกลืนยกเว้นแสงสีเขียวเท่านั้นที่สะท้อนออกสู่สายตาของผู้สังเกตุ โดยทั่วไปเมื่อแสงถูกดูดกลืนจะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานไปเป็นพลังงานความร้อน

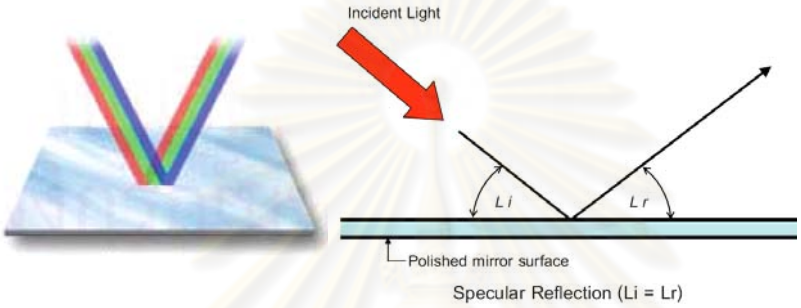


ภาพที่ 2.2 **แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง**
(Redrawn from Moore,1993:280)

2. การสะท้อน (Reflection)

เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบลงบนตัวกลางแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะของการสะท้อนแสงสามารถพิจารณาได้เป็น

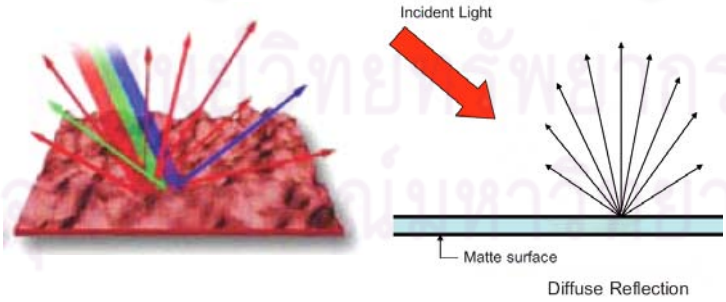
การสะท้อนเหมือนกระจกเงา (Specular reflection) เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่เป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (polish surface) ลักษณะเดียวกับกระจกเงา มุมตกกระทบ (incident angle) จะเท่ากับมุมสะท้อน (reflected angle) เช่น โลหะขัดเงา , vacuum deposited วัสดุลักษณะนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงและมีค่าการสะท้อนแสงกระจายต่ำ จึงทำให้ควบคุมทิศทางการสะท้อนได้



ภาพที่ 2.3 **แสดงการสะท้อนแสงเสมือนกระจกเงา** (specular reflection)

การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection) เป็นรูปแบบการสะท้อนเมื่อแสงตกกระทบวัตถุทึบแสงที่มีผิวหยาบไม่สม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะออกไปในหลายๆ ทิศทางเพราะไม่สามารถควบคุมทิศทางการสะท้อนได้ ส่วนมากมุมของแสงสะท้อนที่กระจายออกไปจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบแต่จะให้ความสว่างเท่ากันทุกมุมมองในบริเวณกว้างตามทฤษฎี Lambert'Law

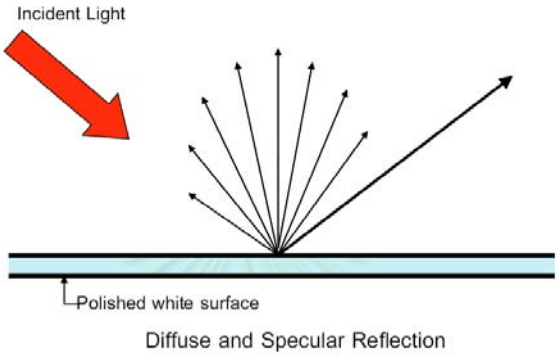
หากผิววัตถุนั้นมีลักษณะไม่เรียบอย่างสม่ำเสมอ (perfect diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะการกระจายแสงแบบสมบูรณ์ (perfect diffusing reflection)ที่ให้ความสว่างที่เท่าๆกันในทุกๆ มุมที่สะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอ (semi diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะ (semi diffusing reflection)



ภาพที่ 2.4 **แสดงการสะท้อนแบบกระจาย** (diffuse reflection)

แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะเป็นลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเหมือนกระจกเงา (specular reflection) และการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection)

การสะท้อนแบบกระเจิงแสง (Spreading reflection) พื้นผิวแบบกระเจิงแสง จะแตกลำแสงตกกระทบให้สะท้อนในมุมที่จำกัด การสะท้อนแบบกระเจิงแสงจะเกิดขึ้นและถูกควบคุมโดยรูปแบบ ขนาดรูปร่าง ความนูน ความเป็นร่องหรือสันของแผ่นสะท้อน



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflection)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่แนะนำสำหรับพื้นที่ใช้งานของสำนักงานและส่วนการศึกษา (Egan, 1983:28)

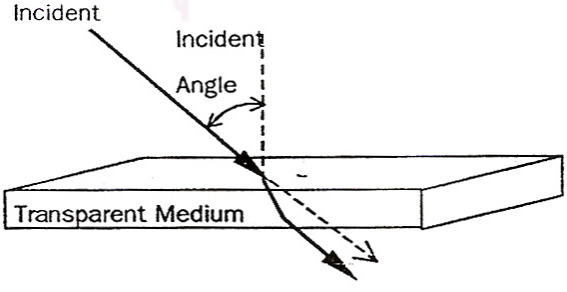
		Reflectance (%)	
		Class room	Office
1.	Ceilings	70-90	> 80
2.	Walls	40-60	50-70
3.	Partitions	-	40-70
4.	Floors	30-50	20-40
5.	Furniture and machines	-	25-45
6.	Desk and bench tops	35-50	35-50

3. การส่องผ่าน (Transmission)

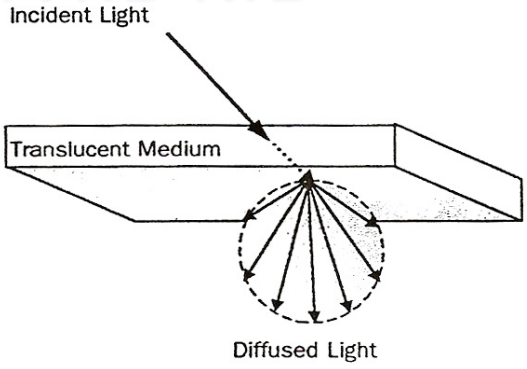
เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลางแล้วทะลุผ่านไปอีกด้าน โดยปกติเมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่แสงสามารถส่องผ่านได้แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับและจะเหลืออีกส่วนหนึ่งทะลุผ่าน โดยที่ปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับรวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

1 = Absorptance + Reflectance+Transmittance .....(2.1)

ลักษณะการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของตัวกลางคือ ตัวกลางโปร่งใส (transparant Medium) คือเมื่อแสงเกิดการส่องผ่านตัวกลางแล้วจะเกิดการหักเห และตัวกลางโปร่งแสง (translusent Medium) คือเมื่อแสงเกิดการส่องผ่านตัวกลางจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจาย



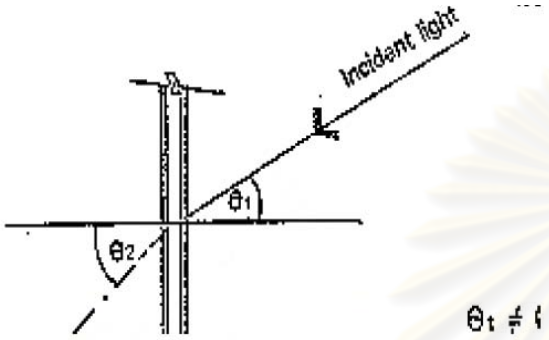
ภาพที่ 2.6 แสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน (Redrawn from Stein and Reynolds ,1992 :915)



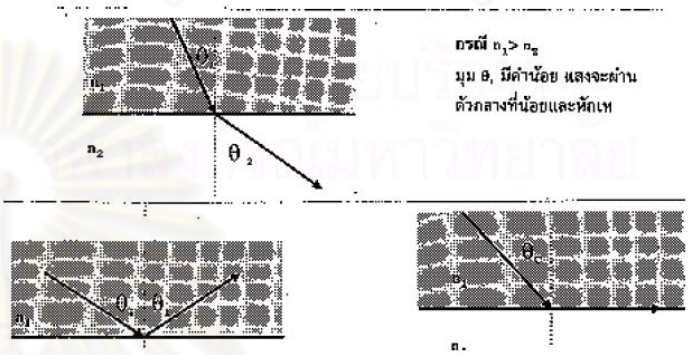
ภาพที่ 2.7 แสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย(Redrawn from Moore ,1993 :282)

4. **การหักเห** (Refraction)

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบตัวกลางจะเกิดการทะลุผ่านและหักเหไปจากแนวเดิมแสงเมื่อผ่านตัวกลางผิวเรียบจะเกิดการหักเหหรือสะท้อนกลับ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ถ้ามุมตกกระทบ $\theta 1$ น้อย แสงก็จะผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้ามุมตกกระทบ $\theta 1$ มีค่ามากขึ้นถึงค่าหนึ่งที่แสงไม่ผ่านตัวกลาง และไม่สะท้อนด้วยในกรณีนี้มุมตกกระทบนี้เรียกว่า มุมวิกฤติ θc และถ้ามุมตกกระทบ $\theta 1$ มีค่ามากกว่ามุมวิกฤติก็ทำให้แสงที่ตกกระทบสะท้อนกลับออกมาแบบที่จะผ่านตัวกลางไป



ภาพที่ 2.8 **แสดงการหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลาง**



ภาพที่ 2.9 **แสดงการหักเหหรือสะท้อนแสงผ่านตัวกลางสองชนิด**

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อนสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$n1 \sin\theta 1 = n2 \sin\theta 2 \quad \text{.....(2.2)}$$

n_1, n_2 คือดัชนีหักเหของวัสดุ 1 และ 2 ตามลำดับ

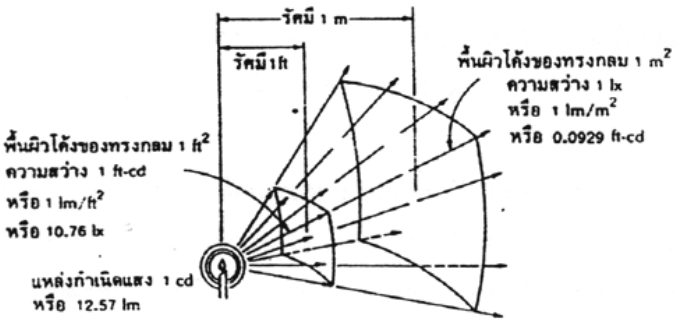
5. **การดูดซับ** (Absorption and Regradation)

Absorption คือกระบวนการที่พลังงานของการแพร่รังสี ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การแพร่ของรังสีที่มองเห็นจะถูกดูดกลืนในทุกพื้นผิวการสะท้อน พื้นผิวแบบด้าน (matte black surface) ดูดกลืนรังสีตกกระทบในช่วงที่มองเห็น มักจะใช้สำหรับ light sink

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง

1. **แคนเดลา** (Candela) เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่างหรือกำลังการส่องสว่าง ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบน blackbody ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของ platinum และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

2. **Luminious (Intensity)** แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อย luminious flux ออกมาโดยรอบทิศทาง luminious Intensity คือปริมาณของ luminious flux ที่วัดได้ในหน่วยของ lumen เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง ในรูปของปริมาณ luminious flux ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ



ภาพที่ 2.10 **แสดงลักษณะของปริมาณแสง** luminous flux
(**พิบูลย์ ดิษฐอุดม** , 2521: 13)

3. **ฟุตแคนเดิล** (Footcandle)

ถ้าหากเรานำแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา ไปวางที่จุดศูนย์กลางทรงกลมรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน จะตกลงทุก 1 ตารางฟุตของผิวทรงกลม ดังนั้นปริมาณการส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต และหากทรงกลมมีรัศมี 1 เมตร ปริมาณการส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต

4. **การส่องสว่าง** (Illumination)

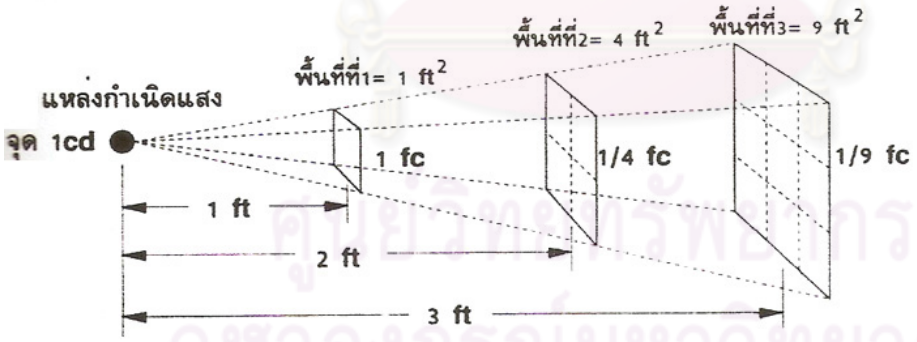
ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มของการส่องสว่าง (luminious Intensity) ของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสองจากพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิลหรือ ลักซ์

$$E = I / D^2 \quad \text{หน่วย Fc หรือ Lx} \qquad \text{.....(2.3)}$$

E = ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นผิวงาน

I = ความเข้มของการส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง

D = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงแหล่งที่ต้องการคำนวณ



ภาพที่ 2.11 **แสดงการกระจายของฟลักซ์จะลดลงโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง** (Redrawn from Kaufman ,1984.)

5. **ลูมิแนนซ์ หรือความสว่าง**

ลูมิแนนซ์ หมายถึง ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุหรือเรียกว่า ความสว่าง หน่วยเป็น แคนเดลา / ม^2 ด้วยแสงปริมาณเดียวกันที่กระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ ลูมิแนนซ์ต่างกัน ลูมิแนนซ์ สัมพันธ์กับอิลูมิแนนซ์ดังสมการ

$$L = P \times E/\P \qquad \text{.....(2.4)}$$

L = ลูมิแนนซ์ แคนเดลา / ม^2

ρ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของสัสคุ

E = อิลูมิแนนซ์ ลักซ์

การมองเห็นวัตถุได้ดีหรือไม่ขึ้นกับ ลูมิแนนซ์หรือแสงที่เข้าตาซึ่งขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น วัตถุที่มีผิวด้านเมื่อถูกแสงสว่างจะมองเห็นได้ดีกว่าวัตถุที่มีผิวมัน เพราะถ้ามีแสงตกกระทบวัตถุที่มีผิวมัน แสงสะท้อนไปในทิศทางเดียวกันและไม่เข้าตา ทำให้มองไม่เห็นวัตถุ หรือถ้าหากเข้าตาก็คงมองไม่เห็นเพราะเกิดแสงบาดตา

2.1.4 คุณสมบัติอื่น ๆ ของแสง

1. **ความเปรียบต่างของความส่องสว่าง** (Luminance Contrast)

ความเปรียบต่างความส่องสว่าง คือ ความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างของวัตถุที่มองเห็น กับความสว่างของฉากที่รองรับ ถ้าการเปรียบต่างของความส่องสว่างเพิ่มขึ้น จะทำให้การมองเห็นชัดขึ้นปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุ คือ ความเข้มแสงซึ่งมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล ส่วน ความส่องสว่างของวัตถุที่มองเห็นและความส่องสว่างของฉากที่รองรับ มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต (Fl) การเปรียบต่างความส่องสว่าง มีสมการดังนี้

$$\text{Contrast} = |Lt - Lb| / Lb \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ Lt เป็นความส่องสว่างของวัตถุที่มองเห็น

Lb เป็นความส่องสว่างของฉากที่รองรับ

2. **ความจ้า** (Brightness)

ความจ้า เป็นผลจากแสงสะท้อนออกจากผิววัตถุเข้าสู่ตาเรา เมื่อแสงตกลงบนผิววัตถุ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกมา ความจ้าจะขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการส่องผ่านหรือความสามารถในการสะท้อนแสงของวัตถุ และความสามารถในการปรับตัวของสายตา ความจ้ามีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต (footlambert) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

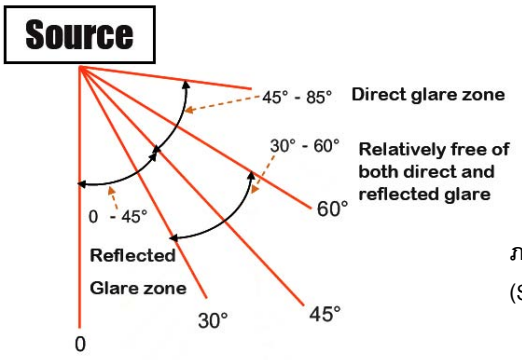
$$FL = Fc * \rho \quad \text{หรือ} \quad FL = Fc * \tau \quad \text{.....(2.6)}$$

โดยที่ FL คือ ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต

Fc คือ ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

ρ คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ (%)

τ คือ ค่าการส่องผ่านของวัตถุ (%)



ภาพที่ 2.12 **แสดงการเกิดแสงจ้าในมุมต่าง ๆ** (Stein and Reynolds, 1992: 958)

3. **แสงบาดตา** (Glare)

แสงบาดตา คือแสงที่เข้าตาทำให้มองเป็นวัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็นเลย ซึ่งเกิดมาจากระดับความแตกต่างของความส่องสว่าง จนเป็นแสงที่ไม่ต้องการให้อยู่ในมุมมอง เนื่องจากความจ้าที่มากจนเกินไปของแหล่งกำเนิดแสง 1 จุด หรือมากกว่า จนทำให้เกิดความไม่สบายตาในการมอง แสงบาดตาสามารถแบ่งออกได้เป็น

Disability glare เป็นแสงจ้าที่จะทำลายความสามารถในการมองเห็น

Discomfort glare เป็นแสงจ้าที่ทำให้เรารู้สึกไม่สบายตาในการมอง โดยไม่ได้ทำลายความสามารถในการมองเห็นแต่อย่างใด แต่จะรบกวนการมองทำให้รู้สึกรำคาญสายตาและเสียสมาธิ

Veiling reflected เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการสะท้อนแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องลงไปบน task ที่มีการส่องสว่างที่น้อยกว่า

Reflected glare เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการมอง task ที่รับแสงจากแหล่งกำเนิดแล้วสะท้อนเข้าสู่ตาเรา

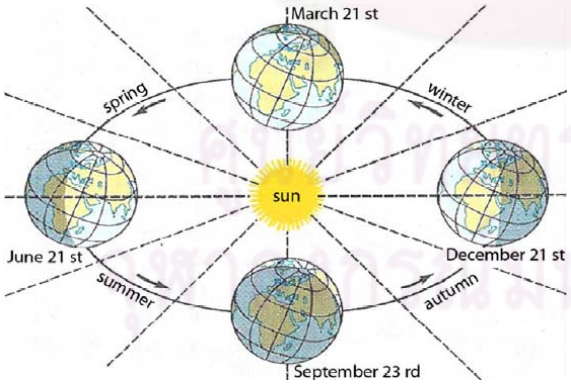
แสงบาดตาจากโคมวัดกันด้วยมุมที่ทำกับแนวดิ่งจากโคมมายังตาในส่วนที่เกินกว่า 45 องศาขึ้นไป ถ้ามองโคมที่มุมมากกว่า 45 องศาแล้ว ยังมีแสงเข้าตามากก็แสดงว่าโคมนั้นมีแสงบาดตา

5. **ประสิทธิผล** (Luminous efficiecy) หมายถึง ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดแสงย่อมมีประสิทธิผลแตกต่างกันเช่น

- หลอดอินแคนเดสเซนต์หรือหลอดไส้ทั่วไป มีค่าประสิทธิผลประมาณ 10-15 ลูเมน/วัตต์
- หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T12-T8) มีค่าประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมน/วัตต์
- แสงธรรมชาติ มีค่าประสิทธิผลประมาณ 110-115 ลูเมน/ วัตต์

การให้แสงสว่างโดยคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงาน ควรเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีค่าประสิทธิผลสูง ซึ่งจะได้แสงที่มีปริมาณมาก เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานเพียงส่วนน้อย

2.1.5 **แสงธรรมชาติ** (Daylighting)

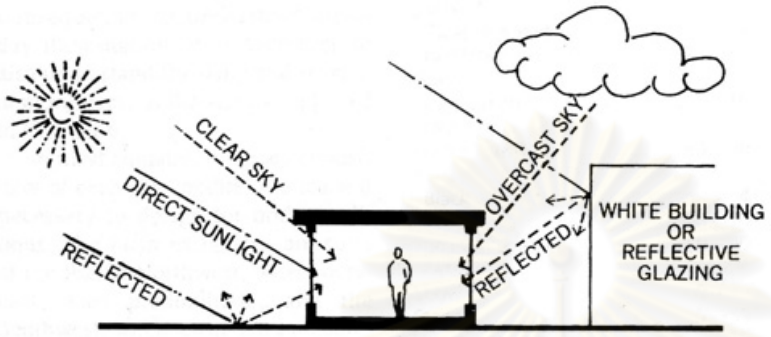


ภาพที่ 2.13 **แสดง** Sun position : couse of the earth with respect to the sun

แสงธรรมชาติเป็นแสงที่ให้พลังงานคลื่นแสงครบถ้วน โดยวัตถุที่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสงธรรมชาติจะให้สีของวัตถุที่ถูกต้องที่สุด โดยในธรรมชาติจะมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ แสงแดดตรง (direct sun) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse illuminance) ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำมาใช้ในอาคาร

แสงกระจายจากท้องฟ้า(Diffuse illuminance) เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศเขตร้อนแบบร้อนชื้น (tropical zone) ทำให้มีปริมาณแสงสว่างที่จ้าเกือบตลอดทั้งปี โดยปกติแล้วปริมาณของแสงแดดตรงนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณความส่องสว่าง หากปริมาณของแสงแดดตรงมาก

ปริมาณความแสงสว่างก็มีค่ามากเช่นกัน การนำแสงธรรมชาติไปใช้ในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพ ต้องทำการป้องกันแสงแดดตรงที่ก่อให้เกิดความร้อน และแสงบาดตา ควรใช้เพียงความส่องสว่างจากแสงกระจาย ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลสถิติการวัดค่าปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม ในช่วงเวลา 6.00-18.00 น. ในเขตกรุงเทพมหานคร มาใช้ในการศึกษาประเมินค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติ



ภาพที่ 2.14 **แสดงองค์ประกอบของแสงธรรมชาติ** (Lechner,2001:365)

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้า เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน

MONTH	Hourly mean values of diffuse illuminance (klux) by calendar month (local time)											
/TIME	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
6.00	0.00	0.00	0.00	3.65	4.03	4.20	3.97	3.60	3.27	0.00	0.00	0.00
7.00	5.54	5.13	7.61	9.87	11.93	11.48	10.72	9.52	9.69	9.35	8.21	7.59
8.00	13.43	14.28	18.88	20.27	24.78	22.27	21.37	22.97	20.58	20.99	17.08	14.96
9.00	25.63	26.74	28.66	29.26	37.31	33.49	32.15	35.21	29.77	29.08	26.56	20.01
10.00	33.81	34.95	36.00	33.37	45.92	39.48	40.00	44.32	38.68	35.87	34.46	25.19
11.00	35.17	41.05	38.39	36.28	49.17	43.97	44.53	49.34	41.79	39.30	38.21	29.79
12.00	41.06	43.68	39.49	36.49	44.53	43.38	45.13	50.87	44.62	44.97	37.01	31.68
13.00	44.53	45.31	39.83	41.72	41.79	42.04	44.78	50.80	42.90	39.62	36.01	31.28
14.00	39.96	41.55	38.54	39.01	36.68	43.46	42.50	45.24	38.55	34.14	34.72	30.04
15.00	34.63	35.78	36.43	37.19	30.22	37.08	36.42	37.48	33.16	29.32	26.55	24.51
16.00	24.06	28.13	26.73	26.72	24.56	28.28	28.04	29.00	23.77	21.26	17.84	17.63
17.00	12.83	15.02	18.13	16.21	17.12	18.02	20.45	19.14	13.88	10.13	9.66	8.36
18.00	5.58	5.76	7.83	7.70	7.92	7.59	8.14	8.35	5.56	4.58	0.00	3.78

ที่มา: Jirattananon and Chaiwiwatworakul , 2001: A-16.1

โดยจะนำข้อมูลค่าปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าของกรุงเทพมหานคร มาคำนวณเปรียบเทียบหาค่า daylight factor (%DF) ขั้นต่ำที่ค่าความสว่างผ่านเกณฑ์ 300 lux

2.1.6 **สภาพท้องฟ้า** (Sky condition)

โดยทั่วไปสภาพของท้องฟ้าสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1. **สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม** (Clear Sky) ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบคือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse Illumination) และแสงจากดวงอาทิตย์ (direct Sun) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (solar altitude) เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง ประมาณ 3 เท่า และความส่องสว่างของพื้นผิวแนวระนาบเนื่องแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนท้องฟ้า (half sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล และมีค่าเฉลี่ย 1,000 ฟุตแคนเดิล

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

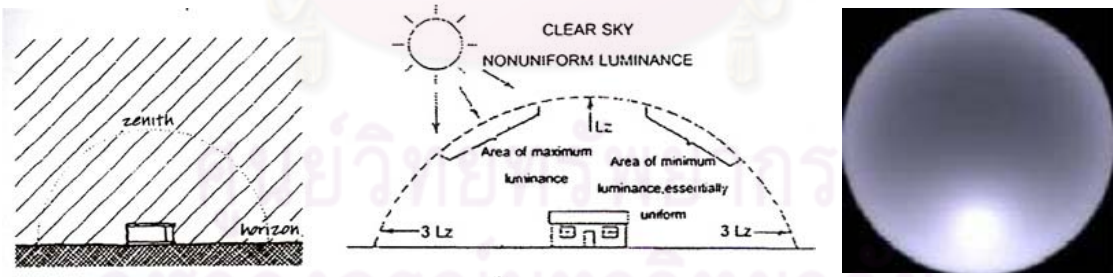
กรณีเกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวสมการได้แก่

$$EH = 1345+14,795 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.7)}$$

กรณีเกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว สมการได้แก่

$$\log EH = 4.466+0.31 \log A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.8)}$$

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับมุม azimuth และ altitude หรือมุม bearing ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่าง หรือด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุม bearing มีค่ามากกว่า 90 องศา (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุ หรือพื้นผิวใดๆ ที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย



ภาพที่ 2.15 **แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ** clear sky ((1) Brown and Dekey ,2001:27 (2) Stein and Raynolds,1992: 974)

2. **สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน** (Partly Cloudy Sky) การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆตลอดเวลา โดยทั่วไปการพิจารณาค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า แบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนนี้ หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบาง ไม่หนาทึบ (น้อย) ค่าความสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่ามากกว่าค่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10 -15 % เนื่องจากการสะท้อนแสงของเมฆ (Nadamura and Oki, 1983) ในขณะที่การวิจัย (Krochmen,1968) พบว่าค่าความสว่างของท้องฟ้าแบบมี

เมฆปกคลุมบางส่วนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Ehp = 570\ A \quad \text{.....(2.9)}$$

EHp คือค่าความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบภายใต้ท้องฟ้า partly cloudy sky มีหน่วยเป็น ลักซ์

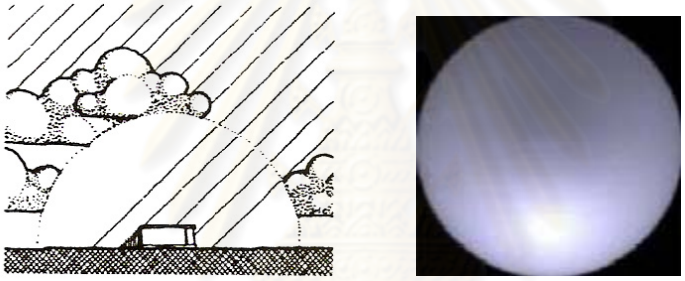
A คือ solar altitude

จากการศึกษา (The gillete prediction model, 1985) อาศัยดรรชนีเมฆ หรือ cloud ratio หาความสัมพันธ์ของความส่องสว่างของท้องฟ้าอันเกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Elvegard and Sjostedt, 1940) พบความสัมพันธ์เพื่อหาค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบแนวนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$EH = 0.35\ Es + 0.89\ Ec \quad \text{.....(2.10)}$$

โดย Es คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงตรงของดวงอาทิตย์

Ec คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงกระจายภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง



ภาพที่ 2.16 **แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ** partly cloudy sky (Brown and Dekey ,2001:27)

3. **สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง (Overcast Sky หรือเรียกว่า cie sky)** ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (non uniform brightness) ซึ่งความสว่างในระดับสูงสุด (zenith – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (horizon – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่ามีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องด้วยค่าความสว่างของท้องฟ้าที่จุดใดๆ จะพิจารณาจากมุม altitude ของดวงอาทิตย์เหนือระดับแนวระนาบซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$L_A = L_z\,(1+2\sin A)/3 \quad \text{.....(2.11)}$$

โดย L_A คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือแนวระนาบในทุกทิศทาง

L_z คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่จุดสูงสุด (zenith)

ดังนั้นความสว่างที่ตำแหน่งแนวระนาบ หรือ ที่มุม A = 0 องศาจะมีค่า = $L_z/3$

ส่วนค่าความสว่างที่ระดับสูงสุด zenith luminance จากการศึกษา (Krochman and Sidel) พบว่า

$$L_z = 123+8600\sin A\ (cd/sqm) \quad \text{.....(2.12)}$$

โดย A คือ solar altitude

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณีคือ มีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอกัน (uniform brightness)

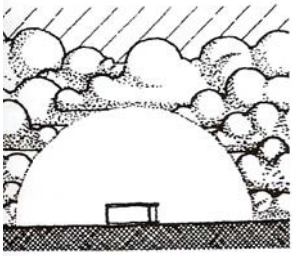
ความสว่างในระดับสูงสุด (zenith – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (horizon – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

จากการวิจัย (Krochmen, 1963) พบว่า ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ overcast skyจะแปรผันตาม solar altitude สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

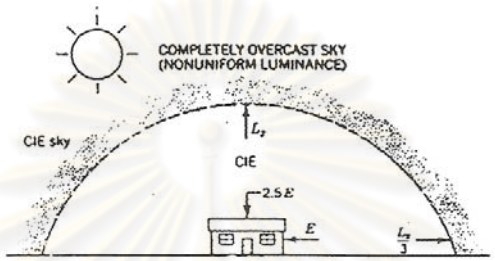
$$E_H = 300+21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \qquad (2.13)$$

โดย E_H คือค่าความสว่างภายนอก(lux)ที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้า overcast sky

A คือ solar altitude



(1)



(2)

ภาพที่ 2.17 **แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ** overcast sky ((1) Brown and Dekey ,2001:27 (2) Stein and Raynolds,1992: 974)

การพิจารณาสภาพของท้องฟ้า สามารถพิจารณาโดยอาศัยข้อมูลที่เก็บเป็นรายชั่วโมง ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 –10 (กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา) โดยที่

ค่าระหว่าง 0-3 จัดเป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear Sky)

ค่าระหว่าง 3-7 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy Sky)

ค่าระหว่าง 7-10 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)

weather conditions	sunny	partially overcast	overcast
global radiation	600 to 1000 W/m²	200 to 400 W/m²	50 to 150 W/m²
percentage of diffuse radiation	10 to 20 %	20 to 80 %	80 to 100 %

ภาพที่ 2.18 Insolation levels for direct light and diffuse light (Hageman , Gebaudeintegrierte Photovoltalk , 2002)

2.1.7 **ทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์** : (Solar Geometry)

โลกหมุนรอบตัวเองพร้อมๆ ไปกับการโคจรเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ใน 1 วันหรือ 24 ชั่วโมงโลกจะหมุนรอบตัวเองครบรอบ จึงทำให้ดูเหมือนว่าดวงอาทิตย์โคจรรอบโลก แต่ละจุดบนพื้นโลกจะมีตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นวงรี พร้อมกับการหมุนรอบตัวเองในแกนเอียง 23.5 องศา ทำให้ตำแหน่งที่แท้จริงของดวงอาทิตย์ในจุดต่างๆ มีความซับซ้อนยากในการที่จะหาค่าที่เที่ยงตรงทั้งในเรื่องของมุมและเวลาที่เปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของโลกและดวงอาทิตย์ การหาค่านี้จึงมักจะทำให้ใกล้เคียงค่าที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด มีการกำหนดเส้น

สมมุติขึ้นมากมาย เพื่อการหาประโยชน์และหลีกเลี่ยงโทษจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งเส้นเหล่านี้จะอ้างอิงกับเส้นละติจูด, ลองติจูด ซึ่งบ่งบอกตำแหน่งของจุดสังเกต และแกนเอียงของโลก

1. **เส้นรุ้ง** (Latitude) เป็นเส้นสมมุติที่ลากรอบโลกขนานกับเส้นศูนย์สูตร โดยแบ่งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ออกเป็น90 องศาเท่าๆ กัน

2. **เส้นแวง** (Longitude) เป็นเส้นสมมุติที่ลากจากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้ และในการหาตำแหน่งบนพื้นโลกให้เทียบจากเส้นปฐมเมอร์ริเดียน (prime meridian)

3. **เส้นศูนย์สูตร** (Equator) เป็นเส้นสมมุติที่ลากรอบโลกผ่านระหว่างกึ่งกลางขั้วโลกเหนือและใต้

4. **ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอ้างอิงด้วยมุม 2 มุม คือ**

1) **มุมแอ็ลติจูด** (Altitude) คือมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อระนาบพื้นโลก ณ. จุดสังเกตุในแนวตั้ง วัดตามเข็มนาฬิกา ช่วงเวลาที่มีค่ามากที่สุดคือ เวลาที่ดวงอาทิตย์ผ่าน meridian (เส้นโค้งวงกลมที่พาดผ่าน zenith ในแนวเหนือใต้ เมื่อจุด zenith คือจุดที่อยู่เหนือขึ้นไปตรงกับจุดที่สังเกตุในแนวตั้ง) ได้แก่ช่วงเวลาเที่ยงวัน ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกจะมีค่าเป็น 0 องศา ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดที่สังเกตด้วย

2) **มุมอะซิมุต** (Azimuth) คือมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับเส้นแกนเหนือใต้ที่แท้จริงในแนวระดับ จะมีค่ามากที่สุด คือ 90 ^{0}เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นและตกและจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลางแกนเหนือหรือใต้หรือมีค่าเท่ากับ 0 ^{0} ในแต่ละเส้นรุ้งแอลติจูดของดวงอาทิตย์จะสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำสุดในฤดูหนาว และตำแหน่งที่ใกล้เส้นศูนย์สูตร (equator) ค่าสูงสุดของมุมทางตั้งดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (altitude of sun) จะเปลี่ยนแปลงแต่ละเส้นรุ้ง 23.5 องศาทุกๆ ปี

5. **วันเวลาที่สมดุลย์** (Equinox)

วันที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร ทุกแห่งบนโลกจะมีเวลากลางวันเท่ากับกลางคืน (12 ชั่วโมง)

สำหรับในวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่าวันที่เวลาสมดุลย์ในฤดูใบไม้ผลิ (vernal equinox)

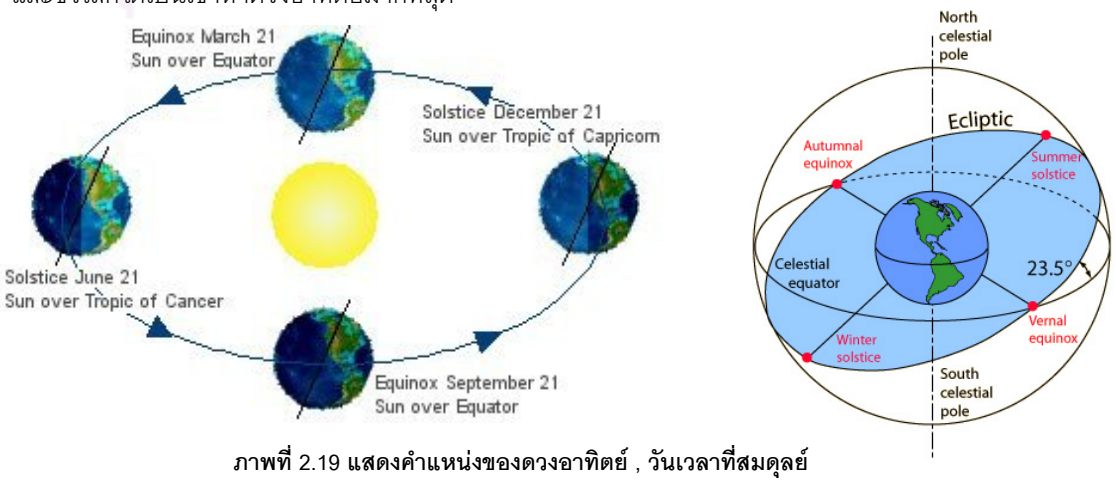
สำหรับในวันที่ 23 กันยายน เรียกว่าวันที่เวลาสมดุลย์ในฤดูใบไม้ร่วง (autumnal equinox)

6. **วันเริ่มฤดูร้อน** (Summer Soltice)

วันเริ่มฤดูร้อน คือวันที่ 22 มิถุนายน เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดส่วนขั้วโลกใต้จะเบนออกจากดวงอาทิตย์

7. **วันเริ่มฤดูหนาว** (Winter Soltice)

วันเริ่มฤดูหนาว คือวันที่ 22 ธันวาคม เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุดและขั้วโลกใต้เบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด



ภาพที่ 2.19 **แสดงคำแหน่งของดวงอาทิตย์ , วันเวลาที่สมดุลย์** (equinox),summer solstice **และ** winter solstice

2.1.8 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar radiation) เกิดจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแลกเปลี่ยนกับผิวโลกที่มีระยะห่างจากกัน 93ล้านไมล์ เป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้น (short-wave radiation) ในช่วงคลื่นรังสีอุลตร้าไวโอเลต (ultravioletregion) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.29 – 0.40 นาโนเมตร ช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.4 – 0.7 นาโนเมตร และช่วงใกล้อินฟราเรด (the near infrared region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.7 – 3.5 นาโนเมตร โดยมีสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 7%, 39%,และ 52% ตามลำดับ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่นอกบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่างกันอันเนื่องมาจากแกนโลกที่เอียง และวงโคจรของโลกที่มีลักษณะเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ห่างดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม (ASHRAE, 1993)

2. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก (Terrestrial radiation) เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกและวัตถุบนพื้นผิวโลกเป็นการแผ่รังสีคลื่นยาว (long– wave radiation) ในช่วงคลื่นเหนืออินฟราเรด (the far infrared region) โดยสามารถพิจารณาออกได้เป็น

• รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Direct solar radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางและพลังงาน

• รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ (Diffuse solar radiation) เป็นพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นรังสีดวงอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่ได้รับจากท้องฟ้าทั้งหมด

• รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์ (Reflected solar radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับจากพื้นที่ผิวที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับ

• รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (Total or global solar radiation) คือพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์บนระนาบระดับต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่

3. ความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (The relationship between daylight and solar radiation) จากการวิจัย (Hopkinson, 1966) พบว่าปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25° และจะเท่ากับ 90 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5° ถึง 25° ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ อีกเช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพบรรยากาศเป็นต้น

2.1.9 การพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ

การประเมินแสงธรรมชาติ (Daylighting evaluation issues) สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1) การคำนวณปริมาณแสงสว่าง (illuminance calculation)

2) การวัดระดับปริมาณแสงสว่าง (illuminance measurement)

3) การคำนวณแสงจ้า (glare index calculation)

4) การเปรียบเทียบค่าส่องสว่าง (luminance ratio : LR)

1) การคำนวณปริมาณแสงสว่าง เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายใน โดยวัดค่าเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล หรือลักซ์ ในการคำนวณมีองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญ คือ สภาพท้องฟ้า ดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบที่สะท้อนแสง ระหว่างกัน (interreflected component) สภาพท้องฟ้าและดวงอาทิตย์เป็นองค์ประกอบที่ทำให้เกิดความสว่างโดยตรง ส่วนองค์ประกอบที่สะท้อนแสงระหว่างกันเป็นผลจากการที่แสงอาทิตย์ (sunlight) และแสงจากท้องฟ้า (skylight) ตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุแล้วสะท้อนมายังจุดที่ต้องการ การคำนวณปริมาณการส่องสว่างขององค์ประกอบเหล่านี้ทำได้โดยการคำนวณที่จุด (point) ที่กำหนดหรือค่าเฉลี่ยของทั้งพื้นผิว มีวิธีการในการคำนวณอยู่ 3 วิธี คือ

1.1) Lumen Method

1.2) Daylight Factor Method

1.3) Flux Transfer Method

ในงานวิจัยนี้จะเสนอเพียง lumen method และ daylight factor method ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.1) Lumen Method ถูกพัฒนาขึ้นใช้ในปี ค.ศ.1950 โดย Griffith และทีมงาน (Griffith et al., 1957) ผู้ซึ่งพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของแสง (coefficient of utilization) เป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่งในระดับที่กำหนดภายในอาคาร จากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องแสงเข้ามาในขณะนั้น ในบางครั้งอาจเรียกวิธีการนี้ว่า lumen Input method หรือ total flux method การพิจารณามีความแตกต่างจากวิธีการ daylight factor method ที่ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคารที่มีพื้นที่ห้องขนาดใหญ่ ซึ่ง ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้วิธี daylight factorไม่ได้ หากห้องที่พิจารณามีพื้นที่ขนาดเล็ก ปริมาณแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร และแสงสะท้อนจากพื้นผิวภายในมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในห้องนั้น จึงต้องพิจารณาโดยวิธี lumen method ซึ่งรวมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติ

การพิจารณาโดยวิธี lumen method ถือว่าระดับของช่องเปิดที่อยู่ในระดับเท่ากันหรือสูงกว่าระดับ working plane เท่านั้นที่จะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในระดับ working plane ส่วนช่องเปิดที่อยู่ระดับต่ำกว่าถือว่ามีผลน้อยมาก และความกว้างของช่องแสงถือว่ามีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติโดยวิธี lumen method มีสมการมาตรฐานในการคำนวณ ดังนี้

$$E_{ap} = E_{ev} * A_g * T_g * CU \quad \text{.....(2.14)}$$

เมื่อ Esp = ค่าระดับความส่องสว่างภายในที่จุดใด ๆ ที่พิจารณา

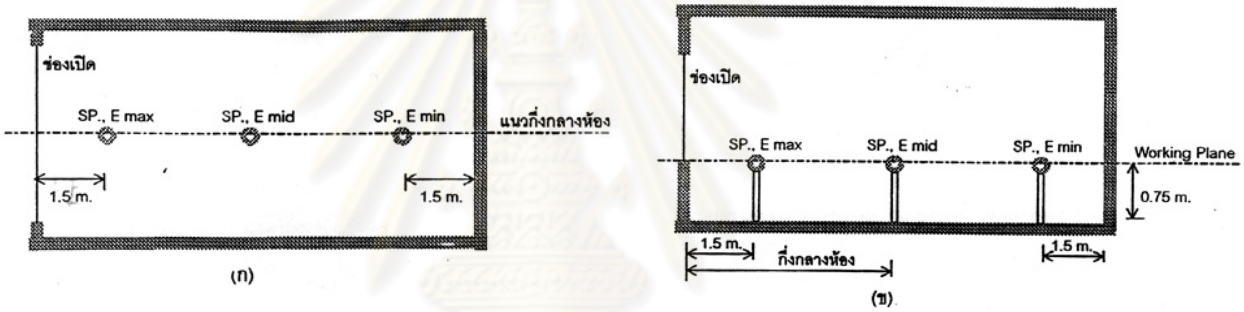
Eev = ค่าระดับความส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าหรือจากพื้นดินที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้ง

Ag = พื้นที่ส่วนของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้

Tg = ค่าการส่องผ่านของวัสดุของช่องเปิด

CU = Coefficient of Utilization หรือค่าความสามารถในการนำแสงมาใช้

การพิจารณาค่า CU สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ จุดใด ๆ ในห้องต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิด ประกอบด้วยแสงจากท้องฟ้าและแสงสะท้อนของพื้นดินดังนั้นค่า CU จะถูกพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบของขนาด รูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของห้องในระดับระนาบที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และองค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้อง ค่าสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย Kส่วนค่าการส่องสว่างภายนอก Eev จะพิจารณาเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกัน คือ ค่าการส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าโดยมีทิศทางจากบนลงล่าง (downward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย Esv และค่าการส่องสว่างภายนอกอันเนื่องมาจากแสงสะท้อนจากพื้นดินมีทิศทางจากล่างขึ้นบน เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย Egv



ภาพที่ 2.20 **แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี** lumen method
(ก) ผังพื้นแสดงตำแหน่ง Sp , E **(ข) รูปตัดแสดงตำแหน่ง** Sp ,E

นอกจากนี้ยังมีการใช้คำนวณปริมาณแสงสว่างจากแสงธรรมชาติรวมกับการคำนวณจากแสงประดิษฐ์ โดยวิธีของ IES (IES method) ในการออกแบบหน้าต่างหรือช่องเปิดด้านบนในพื้นที่ขนาดใหญ่ ประยุกต์เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแสงที่ผ่านช่องเปิด ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (light loss factor) ของแสงประดิษฐ์ และระดับแสงธรรมชาติภายใน ปัจจุบันใน IESNA lighting handbook (IESNA 1993) ได้แสดงตารางของค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานและสูตรการคำนวณต่างๆ ทั้งสำหรับช่องเปิดด้านข้างและช่องเปิดด้านบน

1.2) Daylight factor Method ถูกพัฒนาขึ้นในอังกฤษปี ค.ศ. 1920 และโดย The Commission International De L'eclairage (CIE) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในยุโรป สามารถใช้ได้กับหน้าต่างได้ทุกขนาดและสามารถคำนวณได้ทุกจุดในพื้นที่ วิธีการนี้ใช้ได้เฉพาะกับสภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky และ clear skyเท่านั้น โดยการหาค่า daylight factor หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณความสว่างภายนอกต่อภายในที่จุดใดๆ บนพื้นระนาบนอน โดยเป็นแสงจากท้องฟ้าที่ไม่มีอุปสรรคกีดขวาง (ไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์) แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ปริมาณแสงที่ตกลงบนจุดที่ต้องการหาค่าแบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ

1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า Sky Component (SC) โดยสภาพของท้องฟ้าจะเห็นได้ในหลาย

สภาพ เช่น ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (clear sky) หรือที่ปกคลุมด้วยเมฆจนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (complete overcast sky) เหล่านี้มีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น

2. องค์ประกอบภายนอก Externally Reflected Component (ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารภายนอกข้างเคียง แสงส่องผ่านเข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงขึ้นอยู่กับทิศทางหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ

3. องค์ประกอบภายใน Internally Reflected Component (IRC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารโดยได้รับแสงจาก SC และ ERC และปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ เช่นเดียวกับ ERC การกำหนดค่า daylight factor (%DF) ก็คือ สัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใด ๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร โดยไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่โดนแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (excluded direct sun) ค่าที่ได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ผลรวมของทั้ง 3 จะเป็นค่า Daylight Factor (DF = SC + ERC + IRC) The building research establishment (formerly building research station) ในอังกฤษได้พัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการประมาณค่าขององค์ประกอบทั้ง 3 ได้อย่างรวดเร็วขึ้นสำหรับสภาพท้องฟ้า แบบ overcast sky และ clear sky อุปกรณ์ประกอบด้วย protractor, โต๊ะ และ monogram

สูตรคำนวณค่า Daylight factor (%DF.)

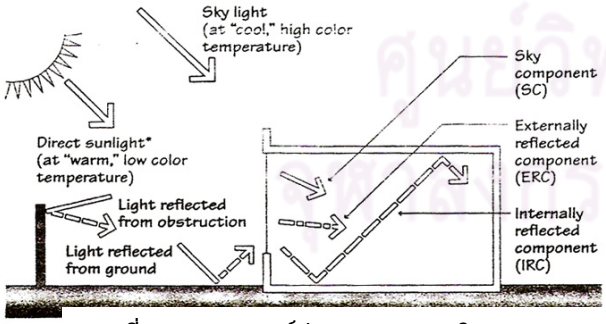
จากสูตร **%**DF = (Ein x dirt factor x glazing transmittance) x 100 .....(2.15)

Eext

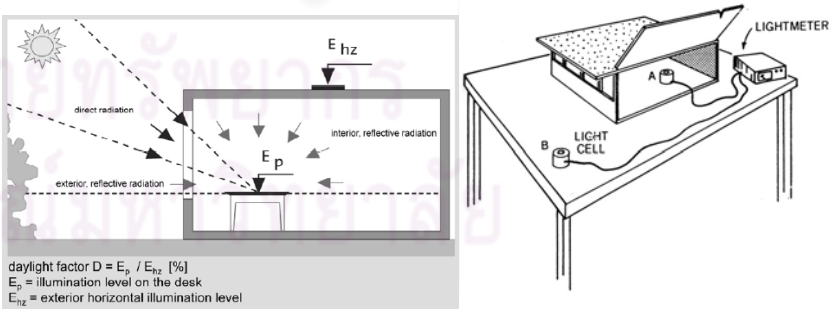
โดย E_{in} = inside illuminance at a fixed point

E_{ext} = outside horizontal illuminance

เช่น หาก DF. มีค่าเท่ากับ 10% หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้น ๆ ได้รับปริมาณแสงเท่ากับ 10% ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ



ภาพที่ 2.21 **แสดงองค์ประกอบของการพิจารณาความสว่างแบบ** daylight factor (Egan and Olgyay,2002: 303)



ภาพที่ 2.22 **แสดงการคำนวณแสงสว่างด้วยวิธี** daylight factor (A.wagner, Energieeffiziente Fenster and Verglasung ,2007)

แม้ว่าค่า DF จะไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของแสงที่แน่นอน แต่สามารถเป็นตัวชี้ได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ หรือมีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ มีการกำหนดช่วงของค่า %DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ เช่น

daylight factor	< 1%	> 1% < 2%	> 2% < 4%	> 4% < 7%	> 7% < 12%	> 12%
	very low	low	moderate	medium	high	very high
Zone of the room	far away from the window 3 or 4 times of the window height				close to the window	
impression of brightness	dark		bright		very bright	
visual impression of the room	this zone.....seems to be separated.....from this zone					
athmosphere	the room seems to be closed				the room opens to the exterior	

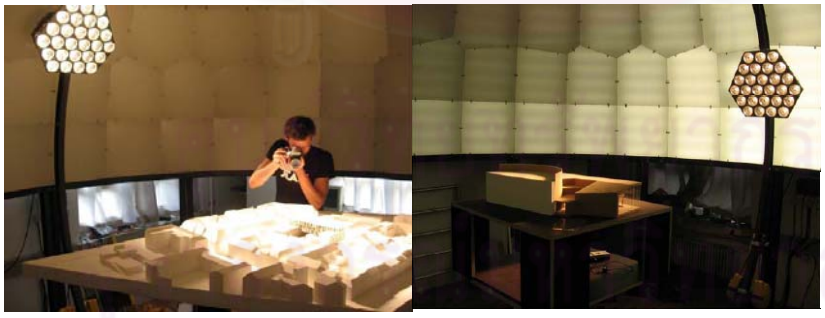
ตารางที่ 2.3 Evalution of indoor daylight situation by daylight factor (Bundesamt fur Konjunkturfragen, Ravel, Licht , Grundlagen der Beleuchtung,1994)

ตารางที่ 2.4 แสดงค่า daylight factor ที่เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ

No.	ลักษณะของการใช้งาน	ค่า daylight factor (%)	หมายเหตุ
1	การอ่านหนังสือ และการใช้งานปกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5 - 2.5	การศึกษาพิจารณาใช้ 2 %(300-500 lux) สำหรับสำนักงาน(โดยดูการพิจารณาค่า daylight factor ที่2%DF เทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือนได้จากภาคผนวก ช.3)
2	การอ่านหนังสือ หรืองานที่ต้องใช้สายตาในที่หนึ่งๆในช่วงเวลานานพอสมควร หรืองานที่อาจจะต้องมีอุปกรณ์เสริม ซึ่งไม่มีอันตรายมาก	2.5 - 4.0	
3	งานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ต้องระมัดระวังอันตราย	4.0 - 8.0	

ที่มา : B. Stein and J. Reynolds, Mechanical and electrical equipment for building, 11th ed. (New York : John Wiley & Sons Co., 1998) , 197

2. **การวัดปริมาณความสว่าง** ในหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงหรือท้องฟ้าจำลอง ไม่เพียงแต่จะเป็นการพิจารณาระดับปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น แต่ช่วยในการพิจารณาทางด้านการมองเห็นด้วยตาด้วย การใช้อุปกรณ์ในการวัดแสง (photometric measurement) วัดค่าในหุ่นจำลองเป็นค่าปริมาณความส่องสว่างที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพราะว่าการใช้วิธีนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่องค์ประกอบต่างๆ อยู่ภายใต้สภาพความจริงและสัดส่วนของหุ่นจำลองก็ใกล้เคียงกับสภาพของอาคารจริง ด้วยเหตุผลเหล่านี้เมื่ออาคารมีความซับซ้อนมากการศึกษาด้วยหุ่นจำลองจะให้ผลของปริมาณค่าความสว่างที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด



ภาพที่ 2.23 การวัดปริมาณความสว่างภายใต้ sky dome or artificial sky (fbta,2009)

3. **การคำนวณอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง** (Luminance ratio) มีวิธีการอยู่หลายวิธีที่จะศึกษาในส่วนของคุณภาพของแสง (visual quality) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของความสว่างในตำแหน่งที่ทำการวัด (visual task area) กับพื้นที่โดยรอบ โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้กับค่าที่แนะนำไว้ จะเป็นประโยชน์สำหรับการพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของแสง

2.1.10 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง

การกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆ กันนั้นโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA), IES (BS) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้สอยและสภาพอากาศ มีผลทำให้ค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งได้แก่ มาตรฐาน CIE (International Commission on Illumination) จะกำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย หรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ เช่น

- ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปรกติให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่าง ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าผู้ที่ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

	ประเภทการใช้งาน(a)	มาตรฐาน CIE(lx)	มาตรฐาน IES(lx)	พื้นที่ใช้งาน (lx)(b)
1.	ทางเดินและพื้นที่ทำงานภายนอก	20-30-50	20-30-50	Public spaces with dark surrounding
2.	ทางเดินภายใน และการแวะผ่านระยะสั้น	50-75-100	50-75-100	Simple orientation for shot temporary visits
3.	ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100-150-200	100-150-200	Working space where visual tasks are only occasionally performed
4.	งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงาน ,งานชิ้นใหญ่	200-300-500	200-300-500	Performance of visual tasks of high contrast or large size
5.	งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300-500-750	200-300-500	
6.	งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	Performance of visual tasks of medium contrast or small size
7.	งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	750-1000-1500	500-750-1000	
8.	งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000-1500-2000	1000-1500-2000	Performance of visual tasks or very small size
			2000-3000-5000	Performance of visual tasks of low contrast or very small size,Prolonged period
9.	งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด	>2000	5000-7500-10,000	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
			>10,000	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

ที่มา: (a) ชำนาญ ห่อเกียรติ , 2540 : 1-6

(b) IES, Illuminating Engineering Society : Reference volume,1981 : A 3

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง CIE และ IESNA และมาตรฐานการกำหนดค่า daylight factor ตามประเภทพื้นที่ใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lx) CIE (a)	ค่าการส่องสว่าง (lx) IES (b)	ค่า Daylight factor (%)DF (c)		
			เฉลี่ย	ขั้นต่ำ	จุดที่วัด
พื้นที่ทั่วไป					
ทางเดิน	50-100-150	50-75-100	2.0	0.6	พื้น
บันได-บันไดเลื่อน	100-150-200	100-150-200	2.0	0.6	ลูกนอน
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
พื้นที่สำนักงาน					
พื้นที่ทั่วไป	300-500-750	500-750-1000	5.0	2.5	Work plane
คอมพิวเตอร์,พิมพ์ดีด	300-500-750	500-750-1000	5.0	2.5	Work plane
เขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	5.0	2.5	Work plane
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500			Work plane
โถงทางเข้า		100-150-200	2.0	0.6	
พื้นที่ห้องสมุด					
หิ้งหนังสือ	150-200-300	200-300-500	5.0	1.5	Vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300-500-750	200-300-500	5.0	1.5	Work plane
เคาวน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	5.0	2.0	Work plane
ห้องประชุม					
เอนกประสงค์	150-200-300	200-300-500	5.0	2.5	Work plane

ที่มา (a) : คมกฤช ซูเกียรติมั่น ,2540:46 อ้างถึงใน (a) ชำนาญ ห่อเกียรติ , 2540: 1-6

(b) : IES, Illuminating Engineering Society : Reference Volume,1981 : A 3

(c) : (BSI Draft for development : อ้างถึงใน The chartered institution of building services engineers London, 1987: 31)

ตารางที่ 2.7 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ

		อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ
1.	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบ	1 to 1/3
2.	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่มืดกว่า	1 to 1/10
3.	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่สว่างกว่า	1 to 10
4.	ระหว่างอุปกรณ์โคมไฟ (หรือช่องเปิด) กับพื้นที่โดยรอบ	20 to 1
5.	ทุกตำแหน่งในมุมมองที่มองเห็น	40 to 1

2.1.11 ทฤษฎีเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านความส่องสว่างที่มีคุณภาพ และลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยรูปแบบของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารสามารถจำแนกได้ 2 รูปแบบได้แก่ 1. การนำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาทางด้านข้างอาคาร (Side-lighting)

2. การนำแสงธรรมชาติผ่านทางด้านบนอาคาร (Top-lighting)

โดยการศึกษาจะศึกษาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือการนำแสงธรรมชาติผ่านมาทางด้านข้างอาคาร

1. แสงธรรมชาติจากด้านข้างอาคาร (Side-lighting)

เป็นแสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารจากแหล่งกำเนิดแสงได้หลายทาง เช่น แสงจากท้องฟ้า (SC) แสงจากการสะท้อน surface ภายนอกอาคาร (ERC) และการสะท้อนแสงภายในอาคาร (IRC) จากการศึกษาพบว่า ข้อดีคือช่วยสร้างทัศนะวิสัยที่ดี เหมาะสมกับการใช้งาน แต่ก็มีข้อเสียมาจากการที่หน้าต่างประเภทนี้อยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถทนต่อความจ้าเมื่อมองได้เพียงที่ระดับ 170 ฟุตแลมเบิร์ตเท่านั้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2541 : 94 อ้างถึงใน Flynn,1988) ในการใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องใช้กระจกของช่องแสงที่มีความสามารถในการตัดแสงร่วมด้วย(มีค่า SC ต่ำ) เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายทางด้านสายตาเมื่อมองสู่ภายนอก แต่กระจกตัดแสงจะส่งผลให้มีแสงธรรมชาติที่มีความส่องสว่างเพียงพอต่อการใช้งานเพียง 2-3 เมตรจากช่องเปิดอาคารเท่านั้น ซึ่งแนวคิดการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่านั้นจะต้องนำเข้ามาได้ลึกที่สุด จึงควรมีการเลือกใช้ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานภายใน

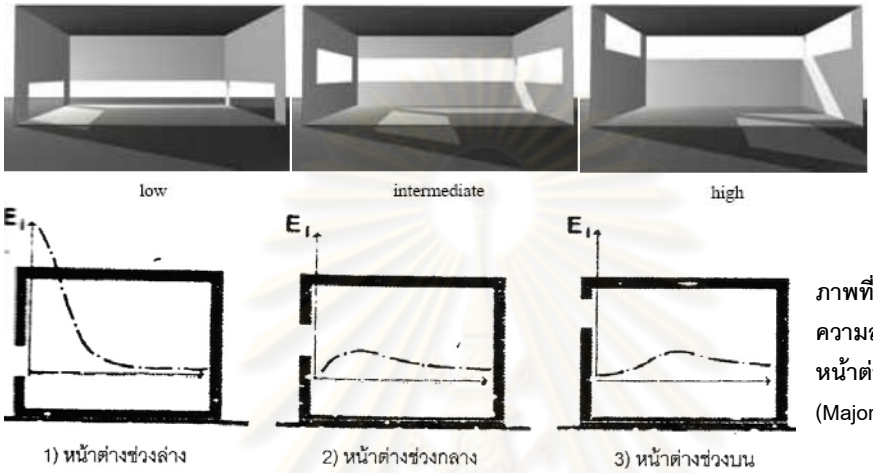
ปริมาณความสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงาน (Working plane) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงกับระนาบนั้นๆ โดยองศาที่แสงตกกระทบนี้ จะแปรผกผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ ถ้ามุมยิ่งน้อยปริมาณแสงสว่างบนระนาบใช้งานก็จะยิ่งมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างคุ้มค่า

2. ตำแหน่งของหน้าต่างด้านข้าง มีผลต่อประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร สามารถจำแนกได้ดังนี้

1) หน้าต่างช่วงล่าง (Lower windows) มีความสูงจากพื้น 0.90-1.50 เมตร ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณโดยรอบ ซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับสายตา เช่น แสงสะท้อนจากพื้นดิน พื้นผิวที่สะท้อนแสง ใช้กับส่วนทางเดินที่ไม่จำเป็นต้องใช้แสงที่มากหรือบริเวณที่ต้องการเน้นความสนใจส่วนพื้น โดยข้อดีของหน้าต่างช่วงล่างนี้คือไม่มีปัญหาเรื่องความจ้าและความร้อนจากแสงแดด แต่ก็มีข้อเสียเกี่ยวกับความเปรียบต่าง (contrast) ระหว่างแนวผนังช่วงบนเหนือหน้าต่างกับบริเวณฝ้าเพดาน และการจำกัดทัศนะวิสัยทางการมอง

2) หน้าต่างช่วงกลาง (Middle windows) เป็นรูปแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไป มีความสูงจากระดับพื้นห้อง 0.90-2.00 เมตร ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณโดยรอบ หน้าต่างช่วงกลางนี้ช่วยสร้างทัศนะวิสัยทางการมองที่ดีกว่าแบบอื่นเนื่องจากอยู่ในระดับสายตามุ่งความสนใจในระดับของการทำงานต่างๆ ที่ต้องการความรู้สึกเป็นทางการและปลอดภัย แต่ในด้านประสิทธิภาพในการรับแสงสะท้อนจากพื้นดินไม่ดีเท่าหน้าต่างช่วงล่าง และการกระจายแสงไม่ดีเท่าหน้าต่างช่วงบน โดยความจ้าจะอยู่บริเวณที่ใกล้หน้าต่าง อาจต้องมีการพิจารณาการใช้ความลาดเอียงของกระจกและอุปกรณ์บังแดดประกอบ

3) หน้าต่างช่วงบน (Upper windows) สูงจากพื้น 2.00 ม. ขึ้นไป แสงธรรมชาติทั้งแสงแดดตรงและแสงกระจาย ผ่านเข้ามาภายในได้ลึกกว่าทุกแบบ ทำให้เกิดการมุ่งความสนใจสู่ส่วนเพดาน เกิดบรรยากาศความน่าพักผ่อนสำหรับพื้นที่พักผ่อนหรือบริเวณอื่นที่ต้องการแสงบริเวณการทำงานน้อย และเนื่องจากอยู่เหนือระดับสายตาจึงไม่มีปัญหาเรื่องความจ้าของแสง แต่ก็มีข้อเสียเกี่ยวกับทัศนะวิสัยทางด้านการมองที่ด้อยกว่าแบบอื่น และค่าความส่องสว่างบริเวณใกล้ช่องแสงจะไม่เพียงพอ

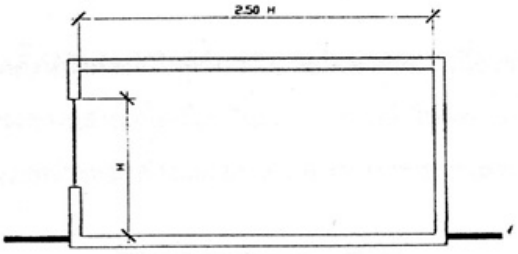


ภาพที่ 2.24 **เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน จากหน้าต่างแบบต่าง ๆ** (Majoros,1998 :38)

อย่างไรก็ตามการออกแบบหน้าต่างที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในได้เพียงพอและลึกที่สุด คือการพิจารณาการใช้หน้าต่างแบบแยกส่วน (split window design) ที่มีการประสานระหว่างหน้าต่างช่วงกลางกับหน้าต่างช่วงบน

ภาพที่ 2.25 **แสดงการผสานหน้าต่างช่วงกลางและช่วงบน**(spilt window design)**เพื่อเพิ่มค่าความส่องสว่างภายใน** (Majoros ,1998 :38)

3. **หลักการออกแบบหน้าต่างด้านข้าง** สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบหน้าต่างคือ ทิศทางของหน้าต่าง (orientation)เป็นลำดับแรก ซึ่งมีผลกับคุณภาพของแสง, การมองเห็น และความร้อนที่ได้รับ ลำดับถัดมาคือการพิจารณาความสัมพันธ์ของขนาดหน้าต่างมีผลต่อสภาพการส่องสว่างภายใน โดยทั่วไปสัดส่วนหน้าต่างมีความสัมพันธ์กับลักษณะการส่องสว่าง 2 กรณี คือ ความสัมพันธ์กับปริมาณแสงและลักษณะการกระจายแสงที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายในแนวกว้าง แนวยาวและแนวตั้ง โดยความลึกของห้องนั้นไม่ควรเกิน 2.5 H เมื่อ H คือความสูงของช่องแสง

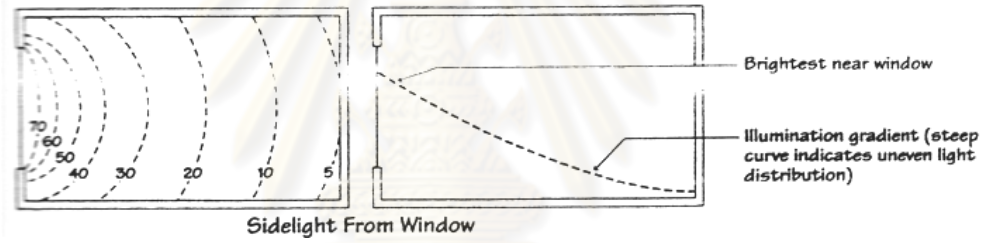


ภาพที่ 2.26 **แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของช่องแสงกับระยะของความส่องสว่างที่ได้รับ**

ซึ่งความสูง และความกว้างของหน้าต่างจะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความลึกในการส่องสว่างของแสงที่ผ่านเข้ามาภายใน ส่วนความกว้างจะมีผลต่อปริมาณการส่องสว่างภายใน

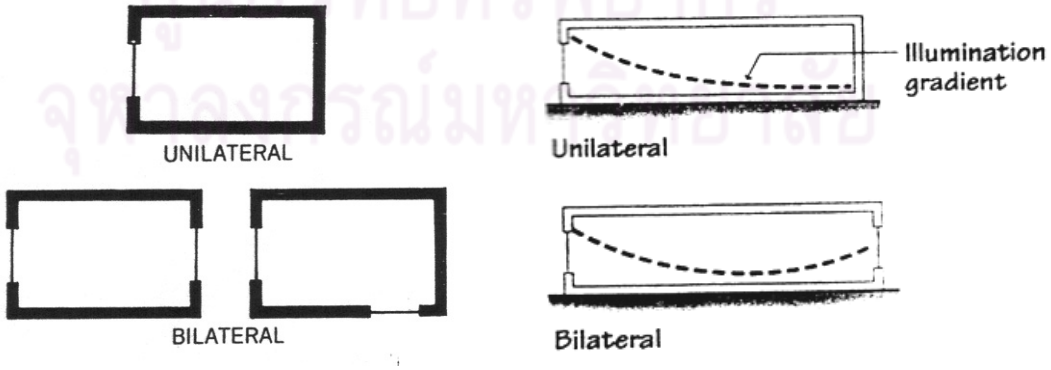
4. ข้อควรพิจารณาในการออกแบบหน้าต่างของอาคาร

1) การเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารนั้น ทำได้โดยการติดตั้งหน้าต่างที่ตำแหน่งสูงและกำหนดระยะฝ้าเพดานที่สูง จะช่วยกระจายแสงไปได้ไกลขึ้น(ดูรูปที่2.28) การเปรียบเทียบปริมาณของค่าความสว่างภายในจากหน้าต่างแบบต่างๆประกอบ) นอกจากนั้นหน้าต่างแนวนอนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้มากกว่าทางแนวตั้ง ซึ่งพื้นที่หน้าต่างควรมากกว่า 20 % ของพื้นห้อง (Lechner , 2001:376) ซึ่งแสงสว่างจะมีปริมาณสูงสุดบริเวณหน้าต่าง และลดลงตามระยะที่มากขึ้น



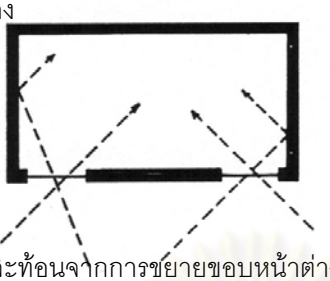
ภาพที่ 2.27 **แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างที่ลดลงเมื่อระยะห่างจากช่องเปิดเพิ่มขึ้น** (Egan and Olgyay,2002 : 319)

2) การนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารเพื่อเพิ่มปริมาณการส่องสว่าง และลดความจ้าที่เกิดจากความเปรียบต่างภายในอาคารควรติดตั้งหน้าต่างตั้งแต่ 2 ด้านขึ้นไป จะมีประสิทธิภาพดีกว่าหน้าต่างเพียงด้านเดียว



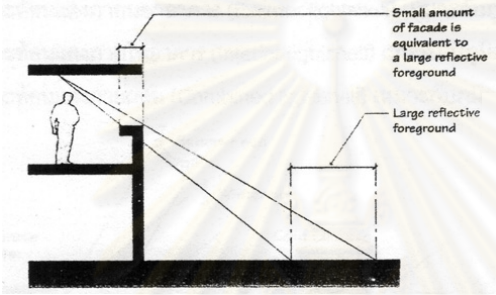
ภาพที่ 2.28 **แสดงการออกแบบช่องแสงด้านเดียว / 2ด้าน ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร** (Egan and Olgyay,2002 : 112)

3) ควรติดตั้งหน้าต่างไว้ใกล้กับผนังภายในอาคาร เนื่องจากผนังภายในอาคารจะเป็นเสมือนตัวที่ช่วยสะท้อนรังสีตรงของแสงอาทิตย์ให้เป็นแสงกระจาย มีผลทำให้ห้องสว่างขึ้นและช่วยลดค่าความเปรียบต่างระหว่างหน้าต่างและผนังลง



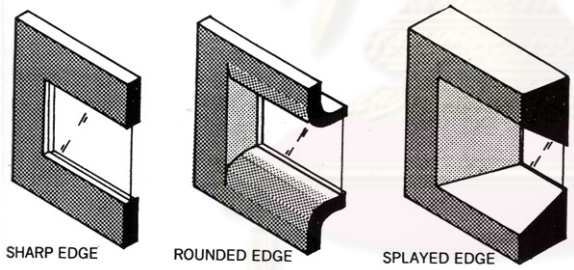
ภาพที่ 2.29 **แสดงการติดตั้งช่องแสงไว้ใกล้กับผนังภายในอาคารเพื่อการสะท้อนแสง** (Lechner , 2001 : 376)

4) ปริมาณแสงสะท้อนจากการขยายขอบหน้าต่างแนวนอนจะเท่ากับแสงสะท้อนจากพื้นดินด้านล่างซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างภายใน



ภาพที่ 2.30 **แสดงสัดส่วนของแสงสะท้อนจากขอบหน้าต่างกับแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก** (Egan and Olgyay,2002 : 93)

5) การขยายขอบหน้าต่าง ไม่ว่าจะเป็นลักษณะเรียบตรงหรือผิวโค้งมีส่วนช่วยกระจายแสงจากภายนอกเข้าภายในอาคาร ทำให้ระดับความส่องสว่างภายในเพิ่มขึ้น

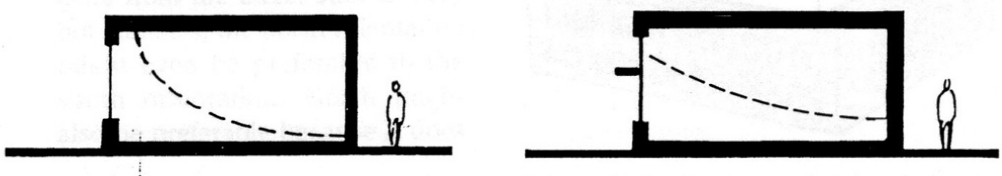


ภาพที่ 2.31 **แสดงการใช้ขอบหน้าต่างลักษณะต่าง ๆเพื่อเสริมการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าในอาคาร** (Lechner ,2001 : 377)

6) พิจารณาการใช้อุปกรณ์บังแดดและหิ้งสะท้อนแสงเพื่อป้องกันรังสีตรงจากแสงอาทิตย์และช่วยสะท้อนแสงขึ้นบนฝ้าเพดานเพื่อกระจายแสงให้เกิดความสม่ำเสมอ

2.1.12 **หิ้งสะท้อนแสง** (Light shelves)

Light shelves เป็นเทคโลยีที่รวมประสิทธิภาพของแผงกันแดด(shading device) และอุปกรณ์ในการสะท้อนแสงไว้ในสิ่งเดียวกัน โดยใช้กับหน้าต่างแบบแยกส่วน (split windows) ทำให้สามารถป้องกันแดดให้กับหน้าต่างส่วนล่างและสะท้อนแสงผ่านหน้าต่างส่วนบนขึ้นสู่ฝ้าเพดาน ทำช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่างภายในอาคาร



ภาพที่ 2.32 **แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในระหว่างอาคารที่มีการใช้ช่องเปิดปกติกับใช้หิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิด** (Lechner , 2001 : 371)

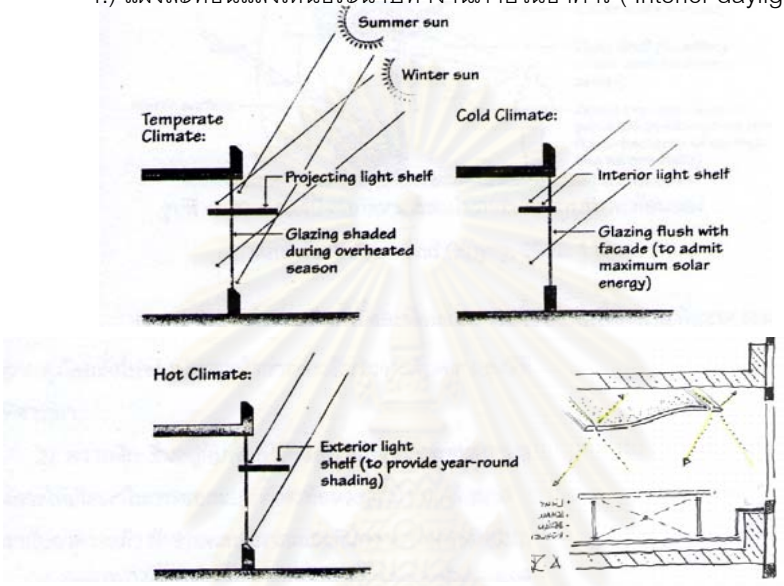
1. **รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง** มีความแตกต่างกันไป โดยการพิจารณาใช้ระบบหิ้งสะท้อนแสงกับอาคารนั้นควรพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเป็นหลัก โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

1.) หิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (Exterior lightshelves) สำหรับภูมิอากาศเขตร้อน

2.) หิ้งสะท้อนแสงภายในอาคาร (Interior lightshelves) สำหรับภูมิอากาศเขตหนาว

3.) หิ้งสะท้อนแสงแบบผสม (Combined lightshelves) สำหรับภูมิอากาศเขตอบอุ่น

4.) แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร (Interior daylighting panels)



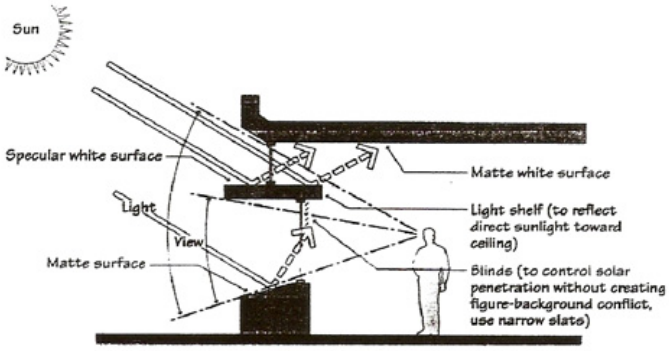
ภาพที่ 2.33 **แสดงรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง** (Egan and Olgyay,2002 : 120)

ภาพที่ 2.34 **แสดงรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง** (Claude,1986 : 121)

2. **แนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร** ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนี้

1) รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง

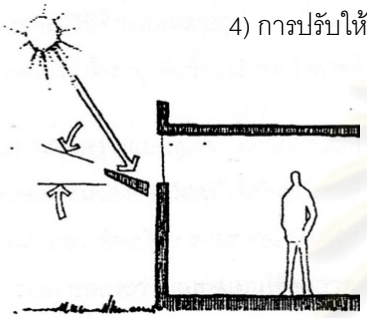
2) ความสูงในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง จะต้องคำนึงถึงระดับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสะท้อนของแสงอาทิตย์ขึ้นบนฝ้าเพดานเป็นสำคัญ จึงควรติดตั้งที่ระดับเหนือศรีษะ 1.65 - 2.00 ม. ซึ่งเป็นระดับความสูงที่ดีที่สุด เพราะอยู่เหนือสายตาและเป็นระดับความสูงโดยทั่วไปของประตู-หน้าต่าง



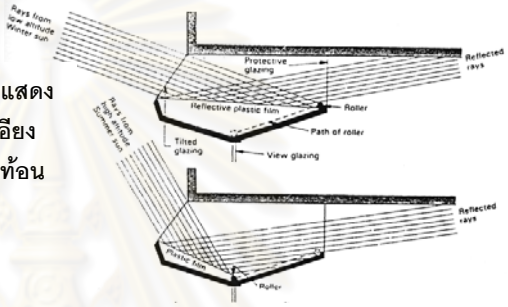
ภาพที่ 2.35 แสดงปัจจัยที่มีอิทธิภาพกับการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง (Egan and Olgyay, 2002 : 117)

3) ความลึก ขึ้นอยู่กับพื้นที่ใช้สอยภายใน ตลอดจนทิศทาง , ตำแหน่งและความสูงของหน้าต่าง ที่ต้องการบังแดดให้กับช่องเปิดและ ลดความต่างระหว่างปริมาณความส่องสว่างบริเวณใกล้หน้าต่างและส่วนที่ไกลออกไป

4) การปรับให้หิ้งสะท้อนแสงมีมุมเอียงขึ้นมีส่วนช่วยในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในมากขึ้น



ภาพที่ 2.36 แสดงการปรับมุมเอียงขึ้นของหิ้งสะท้อนแสง (Moore ,1991:89)



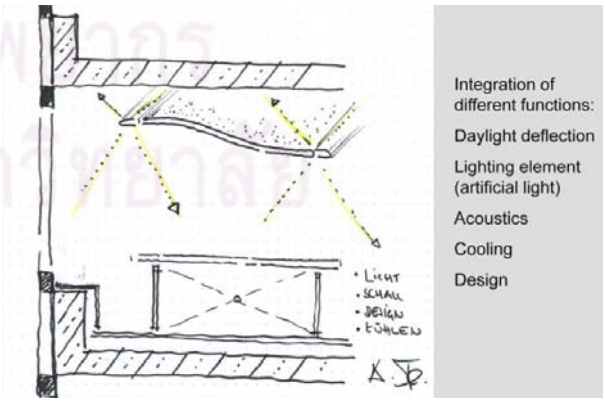
ภาพที่ 2.37 แสดงรูปตัดหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถปรับแผ่นฟิล์มสะท้อนแสงได้ตามฤดูกาล (Light : The lumious environment ,125)

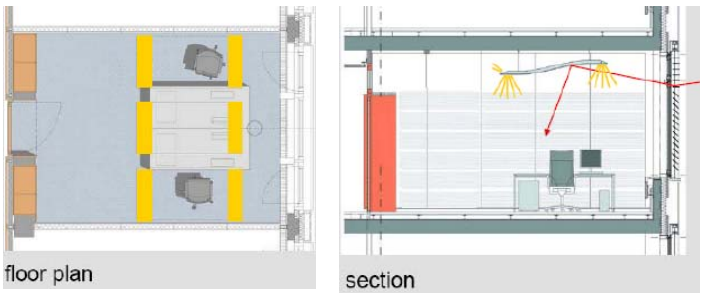
5) วัสดุและพื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสงที่มีลักษณะมันเงา มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น อีกทั้งการเลือกวัสดุที่เหมาะสมและดูแลรักษาได้ง่าย ก็จะส่งผลต่อความสามารถในการสะท้อนแสงเช่นกัน

3. แนวทางการออกแบบ Interior daylighting panels หรือแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร

โครงการสัมมนา Higher education couse on lighting system design and simulation (2552) กล่าวถึง interior daylighting panels ว่าเป็นการพัฒนาแนวคิดมาจากระบบหิ้งสะท้อนแสงและประกอบด้วยคุณสมบัติ (integration of difference functions) ดังนี้

1) Daylighting deflection
2) Integration of daylight and artificial light
3) Acoustics
4) Cooling
5) Design





ภาพที่ 2.38 แสดงการใช้ Interior daylighting panel ในอาคารสำนักงาน (Higher education couse on lighting system design and simulation , 2552)

ซึ่งแนวทางในการออกแบบ daylighting panels ควรคำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพดังนี้

1) รูปทรงของ interior daylighting panels พบว่า ผิวตรงจะทำให้แสงสะท้อนมีลักษณะเป็นลำแสงที่ควบคุมทิศทางได้ ในขณะที่ผิวโค้งจะเกลี่ยแสงสะท้อนให้เกิดการกระจาย

ภาพที่ 2.39 **แสดงลักษณะของรูปทรงที่มีผลกับรูปแบบการสะท้อนแสง** (Lechner,2001 : 382)

2) คุณสมบัติของวัสดุ มีผลต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงของ daylighting panels ในลักษณะการเป็น reflector เพื่อเพิ่มความส่องสว่างบน task area จากการศึกษาพฤติกรรมของแสงต่อแผ่นสะท้อนแสง (reflector)สามารถจำแนกชนิดของพื้นผิว (surface) ได้ดังนี้

- Specular surface
- Diffuse surface
- Spreading surface
- Absorption and regradation surface

ซึ่งจะพบว่าวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงและมีค่าการสะท้อนแสงกระจายต่ำ จึงทำให้ควบคุมทิศทางการสะท้อนแสงลงบนพื้นที่ที่ต้องการได้

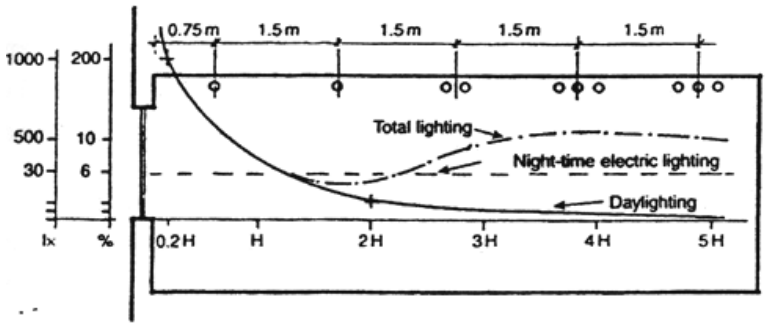
3) ความสูง/ระดับในการติดตั้งมีอิทธิพลต่อระดับความสว่างบน task area และการเกิดแสงบาดตาจากการวิเคราะห์มุมเงยของผู้ใช้งาน

4) ขนาดของ interior daylighting panels พิจารณาใช้ระยะห่างของการเรียงไฟประดิษฐ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นตัวกำหนดขนาดที่ครอบคลุมพื้นที่ทำงานหรือ task area

5) ระยะและการเรียงตัวเป็นแถวที่ห่างจากช่องเปิดน้อยจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความส่องสว่างบน task area ได้มากกว่าแถวที่อยู่ห่างจากช่องเปิดอาคารออกไป

2.1.13 การผสานระหว่างแสงธรรมชาติกับแสงประดิษฐ์

ความแปรปรวนของแสงธรรมชาติทำให้ความส่องสว่างภายในอาคารสำนักงานไม่คงที่ จึงไม่สามารถตอบสนองต่อสภาวะน่าสบายทางด้านสายตาได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการใช้แสงประดิษฐ์เสริมจากแสงธรรมชาติจึงมีความจำเป็น ที่ควรนำมาพิจารณา



ภาพที่ 2.40 **แสดงการ** Integration daylighting and artificial light (The luminous environment , 1986 : 141)

1. **การออกแบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร** จัดเป็นสิ่งสำคัญมากในการให้ความสว่างภายในอาคาร ต้องพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานทั้งในแง่ของปริมาณความส่องสว่าง และคุณภาพของแสง รวมถึงตำแหน่งการจัดวางดวงโคมด้วย ในการออกแบบระบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคารมีวิธีการคำนวณหลายรูปแบบ ซึ่งแล้วแต่ผู้ออกแบบจะเลือกใช้ตามความเหมาะสม

การคำนวณการส่องสว่างแบบลูเมน ส่วนมากใช้กับพื้นที่ที่ต้องการความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ และรวมถึงผลกระทบของการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้เป็นผนัง พื้นและเพดาน เหมาะสำหรับอาคารประเภทที่ควบคุมการใช้ปริมาณแสงมากเช่น ห้องเรียน สำนักงาน ห้องประชุม เป็นต้น การคำนวณวิธีนี้มีข้อเสียตรงที่ค่อนข้างเสียเวลามาก โดยการคำนวณการส่องสว่างแบบลูเมนใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$E = N \times L \times MF \times CU / A \quad \text{.....(2.16)}$$

โดย E คือ ความส่องสว่างมีหน่วยเป็นลักซ์ (lx)

N คือ จำนวนหลอดไฟ

L คือ ปริมาณแสง มีหน่วยเป็น ลูเมน/หลอด

MFคือ เฟคเตอร์การบำรุงรักษา

CUคือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน

A คือ พื้นที่มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

ค่า E , MF และ CU เป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานของบริษัทที่นำผลิตหลอดไฟ เช่น ค่า E เป็นค่าที่กำหนดมาตรฐานความสว่างภายในพื้นที่ส่วนนั้น ตามมาตรฐานของ IES หรือ CIE แล้วแต่การเลือกใช้ของผู้ออกแบบ เช่น ความสว่างของพื้นที่ทำงานในส่วนสำนักงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ 500 lux เป็นต้น

ค่า MF เป็นการพิจารณาถึงความบ่อยครั้งในการดูแลทำความสะอาดหลอดไฟ ซึ่งมีผลต่อการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า เช่น พื้นที่ที่ทำความสะอาดบ่อย จะมีค่า MF สูง เช่นห้องเด็กอ่อนในโรงพยาบาลมีค่า MF=0.9 ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีการทำความสะอาดเป็นครั้งคราวใช้ MF = 0.75 -0.80 แต่ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีการทำความสะอาดน้อย เช่น ห้องเก็บของ มีค่า MF =0.5 เป็นต้น

ในส่วนของค่า CU เป็นอัตราส่วนของสัดส่วนของปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมและ สะท้อน พื้น ผนัง และเพดานก่อนลงมาที่โต๊ะ ต่อปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอด โดยค่า CU เป็นค่าที่ผู้ผลิตระบุมาพร้อมกับตารางคุณสมบัติของหลอดนั้นๆ

ก่อนที่จะทราบถึงค่า CU จากตารางของผู้ผลิตหลอดไฟ ต้องทราบถึงค่า RCR (Room Cavity Ratio) สำหรับโคมมาตรฐานของประเทศอเมริกา หรือ ค่า K (K Index) ตามมาตรฐานของยุโรปและประเทศญี่ปุ่น เพื่อนำไปเปิดตารางหาค่า CU ได้อย่างถูกต้อง โดยที่ค่า RCR และ K คำนวณได้จากสมการ

$$RCR = 5 \times H \times (L+W) / (L \times W) \quad \text{.....(2.17)}$$

$$K = (L \times W) / (L \times W) \quad \text{.....(2.18)}$$

โดยที่ L คือ ความยาวของห้อง มีหน่วยเป็นเมตร

W คือ ความกว้างของห้อง มีหน่วยเป็นเมตร

H คือ ความสูงจากโต๊ะทำงานถึงตำแหน่งของดวงโคม มีหน่วยเป็นเมตร

2. พลังงานไฟฟ้าจากการเพิ่มค่าความสว่างภายในอาคาร โดยคำนวณหาปริมาณพลังงาน ไฟฟ้าจากการเพิ่มค่าความสว่างภายใน โดยแสงประดิษฐ์ ซึ่งพิจารณาได้จากสมการคือ

$$\text{Total watt of lamp} = \frac{\text{illuminance x Area}}{\text{Efficacy x (CU x LLF)}} \quad \text{.....(2.19)}$$

โดย Total watt of lamp คือพลังงานที่ใช้ในส่วนของการให้ความสว่างเพิ่ม ไม่รวมการสูญเสียพลังงานของบัลลาร์ต (วัตต์-ชั่วโมง)

Illuminance	คือ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งานที่ต้องการเพิ่ม (lx)
Area	คือ พื้นที่ที่พิจารณาเพิ่มค่าความสว่าง (ตารางเมตร)
Efficacy	คือ ประสิทธิผลของดวงโคม หรือหลอดไฟ
CU	คือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน(coefficient of utilization)
LLF	คือ ค่าตัวประกอบที่มีผลทำให้ปริมาณแสงลดลง (light loss factor)

โดย LLF = RSDD x LDD x LSD x LLD x BF x LAT x VLF x LBO.....(2.20)

RSDD	คือ ความเสื่อมของพื้นผิวห้องสกปรก (room surface dirt depreciation)
LDD	คือ ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของหลอดไฟ (lamp lumen depreciation)
LSD	คือ ความสกปรกของดวงโคม (luminaire surface depreciation)
LLD	คือ ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (luminaire dirt depreciation)
BF	คือ ค่าตัวประกอบของบัลลาร์ต (ballast factor)
LAT	คือ ค่าตัวประกอบอุณหภูมิโดยรอบของหลอด (luminaire ambient temperature)
VLF	คือ ค่าแรงดันกำลังไฟฟ้าของหลอด (voltage to luminaire)
LBO	คือ ค่าตัวประกอบของหลอดไฟเสีย (lamp burn out)

ซึ่ง RSDD LDD และ LLD เป็นค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่วนค่า BF x LAT x VLF x LBO x LSD โดยทั่วไปนั้นมีค่าเท่ากับ 1

3. การคิด Heat gain ของแสงประดิษฐ์ และการประมาณการค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี

จากสูตร

- Heat gain from artificial light (Btu/hr.) = total (Watt) x Uf(0.8) x 3.4 Btu/watt-hr.....(2.21)

โดย Utilization factor (decimal)	= 1
convertion of heat to space	= 0.8
convertion factor	= 3.4 Btu/watt-hr

- Lighting Energy load (kW) = total connected lighting (Watt) x No.of hours /1000.....(2.22)

2.1.14 การจัดวางแสงประดิษฐ์ที่สัมพันธ์กับการใช้งาน

การศึกษาการวางแสงไฟประดิษฐ์ที่สัมพันธ์กับการใช้งานนั้นจะยังประโยชน์กับการกำหนดขนาด, ตำแหน่ง,ระดับและระยะของการใช้ interior daylighting panels เสริมประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร ซึ่งมีข้อควรพิจารณาดังนี้

1. การจัดรูปแบบดวงโคมให้สัมพันธ์กับผังห้องสามารถจัดได้ใน 2 ลักษณะ คือการจัดดวงโคมแบบตามขวางของห้องและแบบตามยาวของห้อง

2. เนื่องจากเป็นการศึกษาร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติ จึงควรพิจารณาชนิดของหลอดไฟเหมาะสมอันได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด daylight ซึ่งมีประสิทธิผล (ลูเมน/วัตต์)สูง, มีดัชนีความถูกต้องของสี 90-95 % และมีอุณหภูมิสี(color temperature)ที่เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับแสงธรรมชาติ

3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงตามยาว ให้การกระจายแสงในด้านข้างของหลอด เมื่อพิจารณาถึงการจัดวางตำแหน่งดวงโคมจะพิจารณาใช้มุมครึ่งความเข้มแสง(half beam angle) ที่ครอบคลุมพื้นที่ต่อเนื่องในการกำหนดระดับความสูงดวงโคม

4. การกำหนดระดับความสูงของดวงโคมที่สูงกว่า 2.35 เมตรจะช่วยให้โอกาสเกิดแสงจ้าจากดวงโคมลดลง เนื่องจากมุมเงยของผู้ใช้งานจะเพิ่มขึ้นและยอมรับระดับความจ้าได้เพิ่มขึ้น

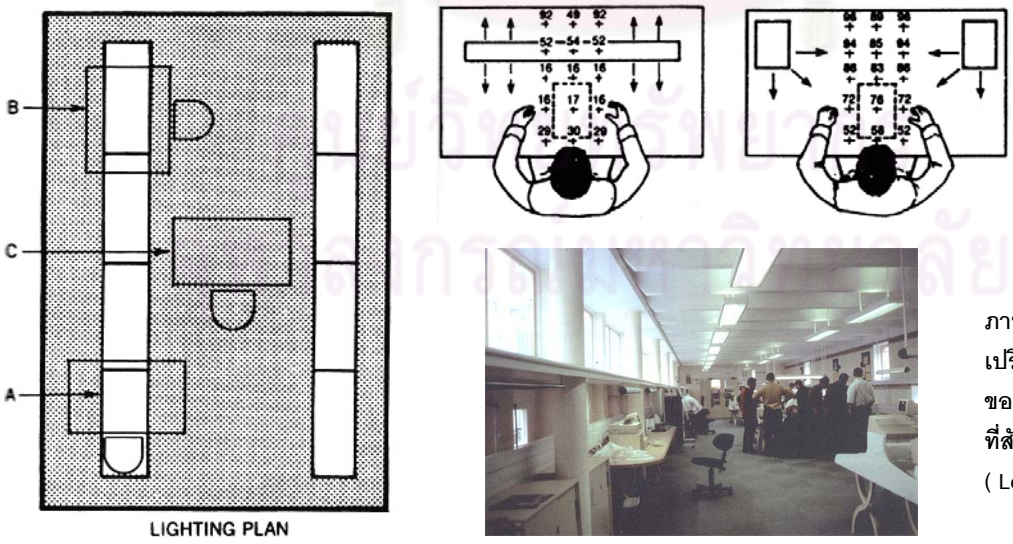
5. การคำนวณจำนวนหลอดไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการจะคำนวณด้วยวิธี Zonal cavity method ซึ่งเป็นการพิจารณาระดับความสว่างเฉลี่ยทั้งห้องที่ระดับใช้งาน (work plane)

จากสูตร $L = (E \times A) / [CU \times (LLD \times LDD)]$.....(2.23)

E = ความสว่าง (illumination) A = พื้นที่ที่พิจารณา (ตร.ม.)

L = ปริมาณแสงทั้งหมดที่ส่องสว่างจากดวงโคม(Lumen) CU= สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์

LLD = ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ LDD=ค่าความเสื่อมจากความสกปรกโคม



ภาพที่ 2.41 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งของการวางไฟประดิษฐ์ที่สัมพันธ์กับการใช้งาน (Lechner , 2001 : 348)

จากภาพแสดงการเปรียบเทียบการวางแถวของไฟประดิษฐ์ที่สัมพันธ์กับการใช้งาน จะพบว่ารูปแบบการวางดวงโคมกับโต๊ะทำงาน C จะเป็นลักษณะที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ (Lechner , 2001 : 348)

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

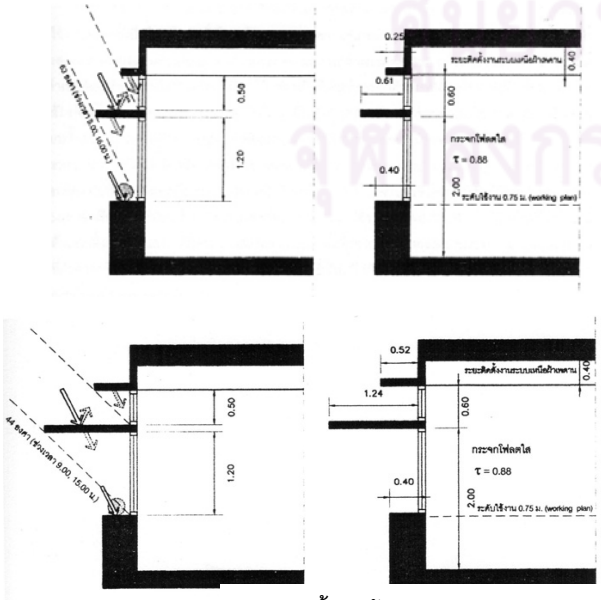
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยของ ชัยวัฒน์ มุติศานต์ เรื่องปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

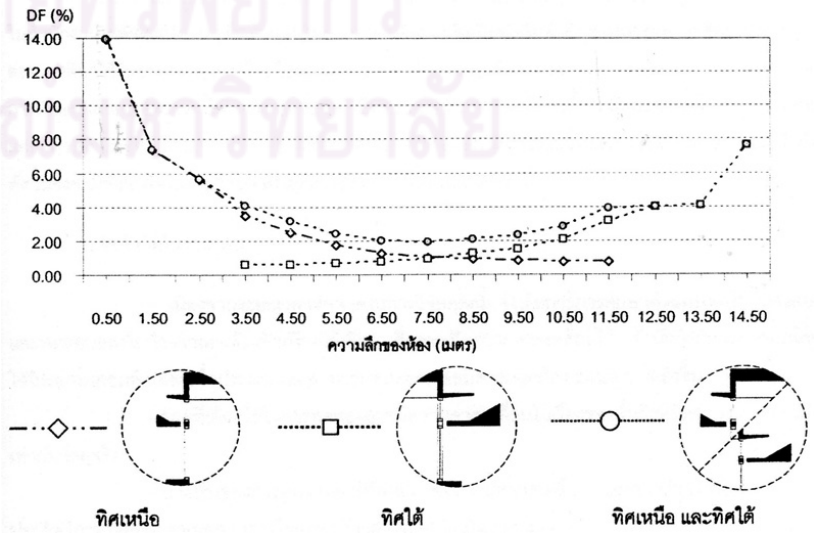
จากการศึกษางานวิจัยของ ชัยวัฒน์ มุติศานต์ สามารถสรุปรูปแบบตัวแปรของ light shelves ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อนำมาต่อยอดการศึกษาได้ดังนี้

ตารางที่ 2.8 สรุปผลการศึกษาตัวแปรกายภาพ และตัวแปรแวดล้อมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหิ้งสะท้อนแสงของชัยวัฒน์ มุติศานต์ (ชัยวัฒน์ , 2548 : 134)

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง	ระยะที่แสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน	
		ทิศเหนือ-ทิศใต้	ทิศเหนือ(m.)	ทิศใต้(m.)
ตัวแปรกายภาพหิ้งสะท้อนแสง				
1.	รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	หิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอกอาคาร	4.18	3.59
2.	ระยะความลึกของหิ้งสะท้อนแสง	ขนาดปกติ		
3.	รูปแบบการสะท้อนของวัสดุ	Specular reflect.	4.80	4.03
4.	ระดับความสูงที่ใช้ในการติดตั้ง	ติดตั้งที่ความสูง 2.00 เมตร	4.18	3.59
5.	มุมองศาที่ใช้ในการติดตั้ง	ติดตั้งที่มุม 0 องศา	4.43	3.80
ตัวแปรแวดล้อมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหิ้งสะท้อนแสง				
1.	ขอบหน้าต่าง	แบบภายนอกอาคาร	4.43	3.80
2.	มุมองศาขอบหน้าต่าง	0 องศา		
3.	อุปกรณ์บังแดดแนวนอน	แบบยื่นตรง	4.18	3.59
4.	กระจกช่องเปิด	กระจกโฟลตใส		
การทดลองปรับองศาหิ้งสะท้อนแสงเพื่อหาต้นแบบหิ้งสะท้อนแสง				
1.	องศาหิ้งสะท้อนแสง	หิ้งสะท้อนแสงมุม 30 องศา	5.18	4.61



ตัวแทนหิ้งสะท้อนแสง



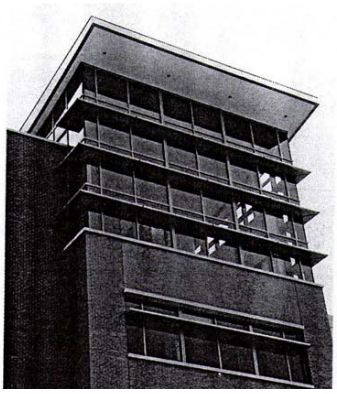
ต้นแบบหิ้งสะท้อนแสงที่มีการปรับมุม 30 องศา

ภาพที่ 2.42 สรุปผลการศึกษาปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงของนายชัยวัฒน์ มุติศานต์ (ชัยวัฒน์ , 2548)

2.2.2 กรณีศึกษาพัฒนาการหิ้งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

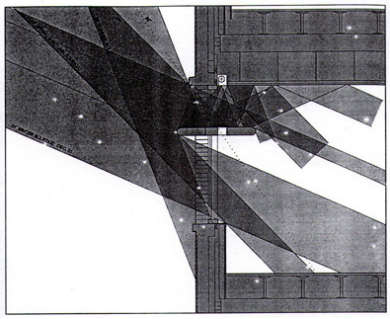
1. กรณีศึกษาหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร

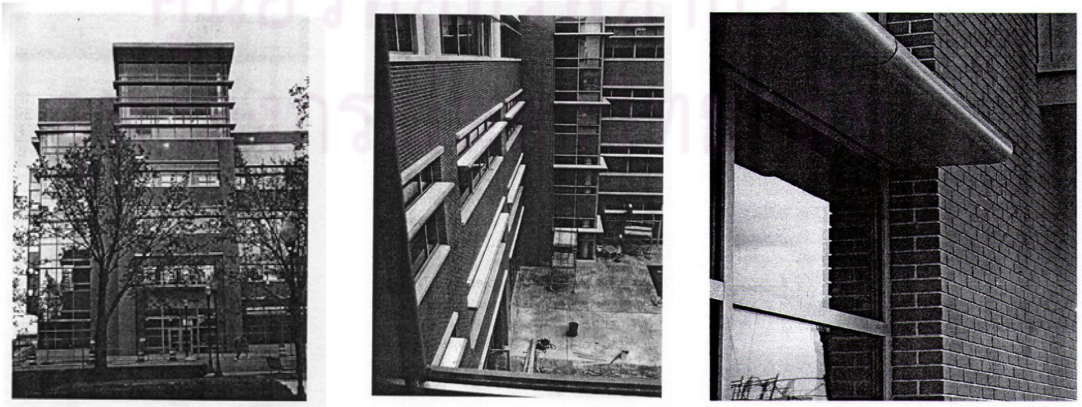
1) อาคาร Johnson center



ตารางที่ 2.9 แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร Johnson center

	กรณีศึกษา	รายละเอียด
1.	ชื่ออาคาร	อาคาร Johnson center
2.	สถาปนิกผู้ออกแบบ	William Mcdonough และทีมงาน Charlottesville Virgina
3.	ประเภทของอาคาร	Office building
4.	รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Light shelves แบบผสมรูปทรงเรียบตรง
5.	ขนาด light shelves	1.00 เมตร
6.	คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	พื้นผิวมันวาวสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflect.)
7.	ตำแหน่งติดตั้ง Light shelves	2.00 ม.
8.	สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ใช้ขอบหน้าต่างทั้งภายนอกและภายใน
9.	รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านกระจกใสรอบช่องเปิดของสำนักงานเพื่อมุมมองที่ดีและให้ทุกพื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติ ใช้การบังแดดให้ช่องเปิดและสะท้อนแสงเข้าภายในผ่านช่องแสงส่วนบน (clerestory) ด้วยระบบหิ้งสะท้อนแสงและมีการบังแดดหิ้งสะท้อนแสงในอาคารด้วยระยะยื่นเหนือหน้าต่างยาวประมาณ 45 cm.
10.	วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ป้องกันแสงแดดตรง,ความร้อนและแสงจ้า ด้วยหิ้งสะท้อนแสงแบบแยกชิ้น ข้อเสีย : กระจกช่องแสงส่วนล่างได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงเกิดเป็นความร้อนสะสม



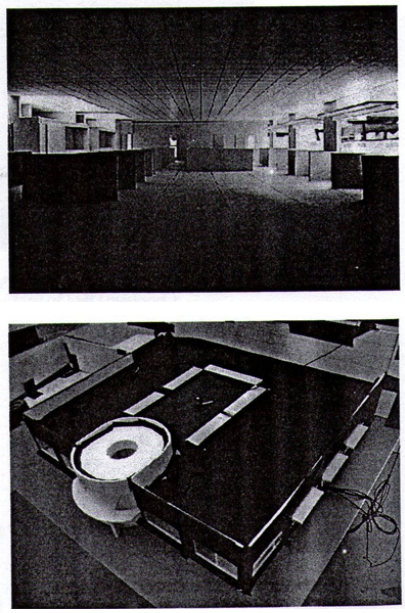


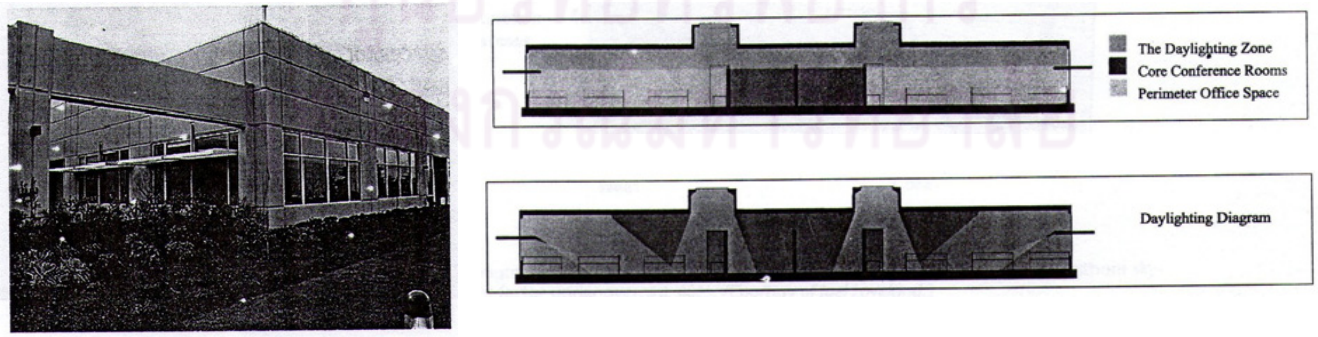
ภาพที่ 2.43 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร Johnson center (Ander, 1995 : 143 -147)

2) อาคาร Automotive industry office / Warehouse

ตารางที่ 2.10 แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร Automotive industry office

	กรณีศึกษา	รายละเอียด
1.	ชื่ออาคาร	อาคาร Automotive industry office / Warehouse
2.	สถาปนิกผู้ออกแบบ	Group Mackenzie,Robert Thompson, Project Architecture,Portland,Oregon
3.	ประเภทของอาคาร	Office building
4.	รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Light shelves แบบผสมรูปทรงเรียบตรง
5.	ขนาด light shelves	1.50 เมตร
6.	คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	พื้นผิวด้านสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflect.)
7.	ตำแหน่งติดตั้ง light shelves	2.00 ม.
8.	สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ใช้ช่องแสงด้านบน top light เสริม
9.	รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างของอาคารในทิศตะวันออก-ตะวันตก ที่ฝังลึกจากแนวผนังเข้าไป ใช้การบังแดดและสะท้อนแสงเข้าภายในอาคารด้วยหิ้งสะท้อนแสงแบบผสม นอกจากนี้ยังได้มีการนำช่องแสงด้านบน (sky light) เข้ามาผสานการใช้งานกับช่องเปิดด้านข้างเพื่อให้ระดับการส่องสว่างภายในมีความสม่ำเสมอยิ่งขึ้น
10.	วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : การใช้ top light เสริม side light ทำให้พื้นที่ภายในมีความสว่างมาก ข้อเสีย : อาคารเปิดช่องเปิดแนวออก-ตกทำให้ได้รับแดดและเกิดความร้อนมาก

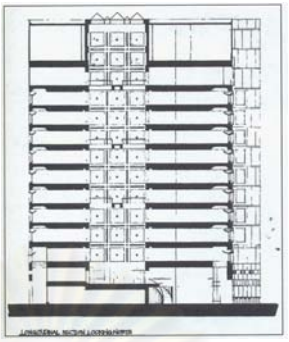


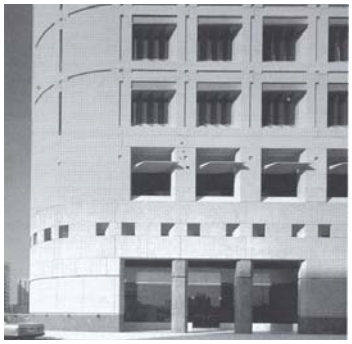


ภาพที่ 2.44 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร Automotive industry office / Warehouse ด้วยเทคนิคการใช้ช่องแสงด้านข้างร่วมกับช่องแสงส่วนบน (Ander, 1995 : 130 – 136)

2. กรณีศึกษาหิ้งสะท้อนแสงภายในอาคารและเหนือระนาบใช้งาน

1) อาคาร United gulf bank

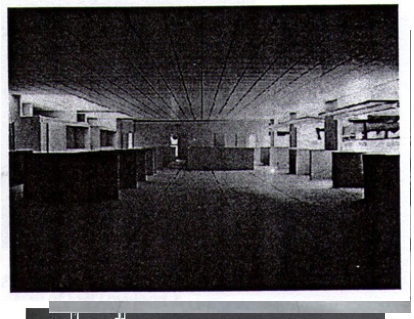


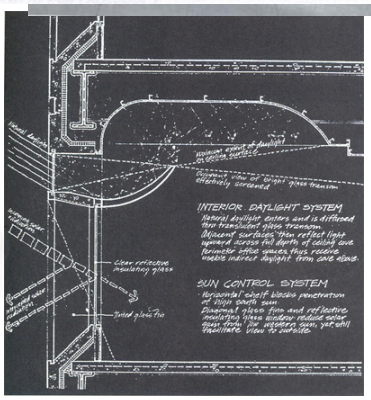


ภาพที่ 2.45 แสดงการนำแสงธรรมชาติผ่านด้านข้างอาคารด้วย light shelves และ controlled windows ในอาคาร United gulf Bank (Gregg D. Ander,1995:117-120)

ตารางที่ 2.11 แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร United Gulf bank

	กรณีศึกษา	รายละเอียด
1.	ชื่ออาคาร	อาคาร United gulf bank
2.	สถาปนิกผู้ออกแบบ	Skidmore,Owings & Merrill LLP (Adrain Smith, FAIA และทีมงาน)
3.	ประเภทของอาคาร	Office building
4.	รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Light shelves ภายในรูปทรงโค้ง
5.	ขนาด light shelves	1.20 เมตร
6.	คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	พื้นผิวมันวาวสะท้อนแสงเสมือนกระจกเงาบางส่วน (spread reflect.)
7.	ตำแหน่งติดตั้ง light shelves	2.00 ม.
8.	สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ปรับฝ้าเพดานโค้งและปรับองศาของขอบหน้าต่าง
9.	รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างอาคารที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง ซึ่งมีผลทำให้เปลี่ยนแสงตรงที่ผ่านกระจกโปร่งแสงมานั้นเป็นแสงกระจาย ขึ้นสู่ฝ้าเพดานโค้งด้านบนและกระจายความสว่างได้อย่างทั่วถึงพื้นที่ใช้งานด้านล่าง
10.	วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ให้แสงที่นุ่มนวล จากผิวโค้งของหิ้งสะท้อนแสงและฝ้าเพดานภายใน ข้อเสีย : กระจกช่องแสงส่วนล่างได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงเกิดเป็นความร้อนสะสม





ภาพที่ 2.46 แสดงการใช้ interior curved lightshelves ในอาคาร United gulf bank (Gregg D. Ander,1995:117-120)

2) อาคาร Hong Kong Shanghai bank , Hong Kong

ตารางที่ 2.12 แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร Hong Kong Shanghai bank

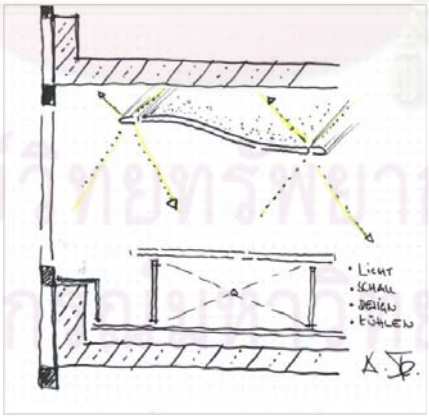
	กรณีศึกษา	รายละเอียด
1.	ชื่ออาคาร	อาคาร Hong Kong Shanghai bank , Hong Kong
2.	สถาปนิกผู้ออกแบบ	Norman Foster
3.	ประเภทของอาคาร	Office building
4.	รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Reflectors (another way of thinking about light shelves)
5.	ขนาด light shelves	ทั้งฝ้าเพดานภายในอาคารส่วน Atrium
6.	คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	Specular reflectors สะท้อนแสงแบบกระจกเงา
7.	ตำแหน่งติดตั้ง light shelves	บนฝ้าเพดานภายในอาคาร
8.	สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ใช้ฝ้าเพดานโค้งและระดับในการบังคับแสงสู่ส่วนที่ต้องการ
9.	รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาด้านข้างอาคารผสานกับการใช้ reflectors วัสดุ specular ภายใต้แนวคิดเดียวกับระบบ light shelves ในการสะท้อนแสงลงสู่พื้นที่ใช้งานด้านล่างของส่วน atrium
10.	วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ช่วย reflect แสงที่ผ่านมาจากด้านข้างอาคารตกบนพื้นที่ใช้งานภายในอาคารมากขึ้น ข้อเสีย : วัสดุ specular อาจทำให้เกิดแสง glare บริเวณใกล้ช่องแสง

ภาพที่ 2.47 **แสดงการใช้** specular reflectors (another way of thinking about light shelves) **บน** atrium **อาคาร** Hong Kong Shanghai bank (Alison G.Kwok and Walter T. Grondzik : 84)

3) อาคาร KfW Ostarkade bank building Ostarkade,Frankfurt

ตารางที่ 2.13 แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร KfW Ostarkade Bank

	กรณีศึกษา	รายละเอียด
1.	ชื่ออาคาร	อาคาร KfW Ostarkade bank building Ostarkade,Frankfurt
2.	สถาปนิกผู้ออกแบบ	
3.	ประเภทของอาคาร	Office building
4.	รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Interior daylighting panels แบบ curve
5.	ขนาดของ lighting panels	1.50 เมตร
6.	คุณสมบัติวัสดุของ panels	ใช้พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจาย
7.	ตำแหน่งติดตั้ง lighting panels	2.50 ม.
8.	สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ lighting panels	ช่องแสงลักษณะ split windows เพื่อแยกส่วนรับแสงกับทัศนียภาพ
9.	รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาทางด้านข้างอาคาร ผสานกับการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งในการสะท้อน แสงธรรมชาติให้กระจายรวมกับแสงประดิษฐ์ลงสู่พื้นที่ทำงานภายในอาคาร
10.	วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ทำให้แสงธรรมชาติตกบนระนาบทำงานหรือ task area มากขึ้น ข้อเสีย :



ภาพที่ 2.48 **แสดงการ** Integration daylighting and artificial light **โดย** interior daylighting panels (**ซึ่งพัฒนาจาก** light shelves)**ในอาคาร** KfW Ostarkade bank building Ostarkade , Frankfurt **(**Higher education couse on lighting system design and simulation **, 2552)**

บทที่ 3

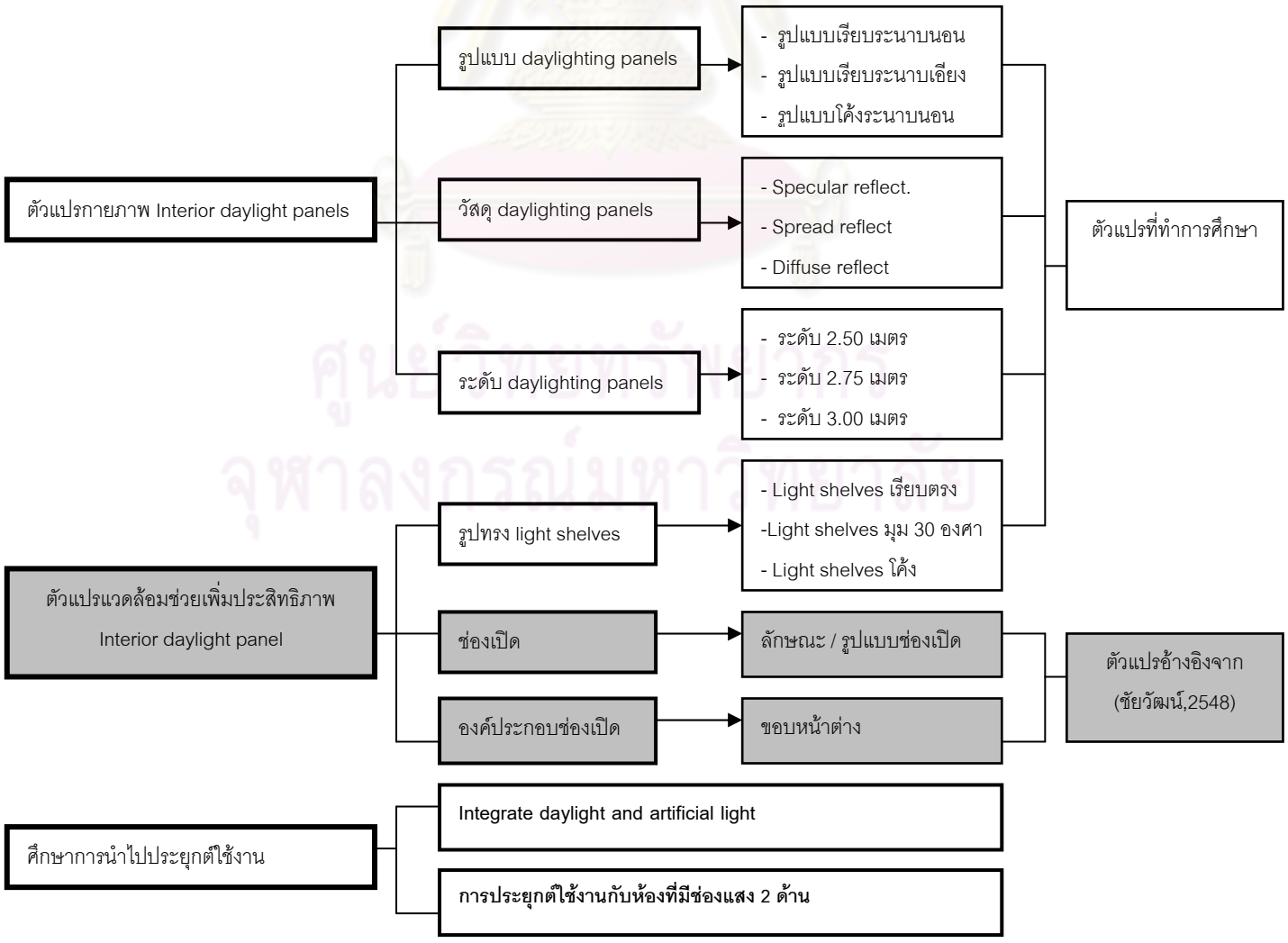
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวแปรในการศึกษา

แนวคิดของวิจัยต้องการศึกษาการเสริมประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารด้วยแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร(interior daylighting panels) ผ่านทางช่องเปิดด้านข้างของอาคารในแนวทิศเหนือ-ใต้ของอาคารสำนักงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์จากการใช้ ระบบหิ้งสะท้อนแสงเพียงอย่างเดียว โดยจากการศึกษากรณีศึกษาและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panels นั้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. **ตัวแปรกายภาพของ** interior daylighting panels
2. **ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพ**

สำหรับในการทดลองเปรียบเทียบตัวแปรนั้นศึกษาในส่วนของปัจจัยกายภาพของ Interior daylighting panels เป็นหลัก ในส่วนของตัวแปรแวดล้อมเรื่องช่องเปิดและองค์ประกอบช่องเปิดจะอ้างอิงจากผลการศึกษาของชัยวัฒน์ มุติศานต์ เรื่อง “ ปัจจัยกายภาพของหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้าในอาคาร “ เพื่อนำรูปแบบของตัวแปรแวดล้อมแต่ละตัวแปรที่มีประสิทธิภาพที่สุดมาเป็น base case ของการทดลอง โดยจะสามารถจำแนกรายละเอียดของการศึกษาทดลองได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 3.1 **แสดงการแจกแจงตัวแปรที่ทำการศึกษา**

3.1.1 **ตัวแปรกายภาพของ** Interior daylighting panels ที่มีผลต่อการศึกษาประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

<u>ตัวแปรกายภาพอิสระ</u> จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ตัวแปรดังนี้

1. **การศึกษารูปแบบของ** Interior daylighting panels เพื่อศึกษาตัวแปรทางด้านรูปแบบ/รูปทรงกับประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามา โดยกำหนดรูปแบบที่ศึกษาเป็น 3 รูปแบบ คือ

1) รูปแบบเรียบระนาบนอน

2) รูปแบบเรียบระนาบเอียง

3) รูปแบบโค้งระนาบนอน

2. **การศึกษาพื้นผิววัสดุของ** Interior daylighting panels เพื่อศึกษารูปแบบการสะท้อนของวัสดุ/surface ที่มีค่าการสะท้อนแสงแตกต่างกันกับประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามา โดยกำหนดรูปแบบของวัสดุ/surface ที่ศึกษาเป็น 3 รูปแบบ คือ

1) พื้นผิวที่มีการสะท้อนแสงแบบ specular reflection

2) พื้นผิวที่มีการสะท้อนแสงแบบ spread reflection

3) พื้นผิวที่มีการสะท้อนแสงแบบ diffuse reflection

โดยพิจารณาเลือกใช้วัสดุในการทดลองที่มีค่าการสะท้อนแสงตามตัวแปรที่ศึกษา(ดูภาคผนวก ค. ประกอบ) ดังนี้

- การสะท้อนแสงแบบ specular reflection ศึกษาแทนด้วยสติกเกอร์สีมันวาวที่มีค่าการสะท้อนแสง 97.31 %

- การสะท้อนแสงแบบ spread reflection ศึกษาแทนด้วยแผ่นพีวีซีสีขาวกึ่งมันที่มีค่าการสะท้อนแสง 86.20 %

- การสะท้อนแสงแบบ diffuse reflection ศึกษาแทนด้วยผ้าเลนิน (linin) สีขาว ที่มีค่าการสะท้อนแสง 65.92 %

3. **การศึกษาระดับของ** Interior daylighting panels เพื่อศึกษาตัวแปรด้านความสูงในการติดตั้งกับประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามา โดยกำหนดระดับของการติดตั้งเป็น 3 ระดับ คือ

1) ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตร (ระดับเสมอขอบบนของหน้าต่างส่วนบน)

2) ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร (ระดับระหว่างขอบหน้าต่างส่วนบนกับฝ้าเพดาน)

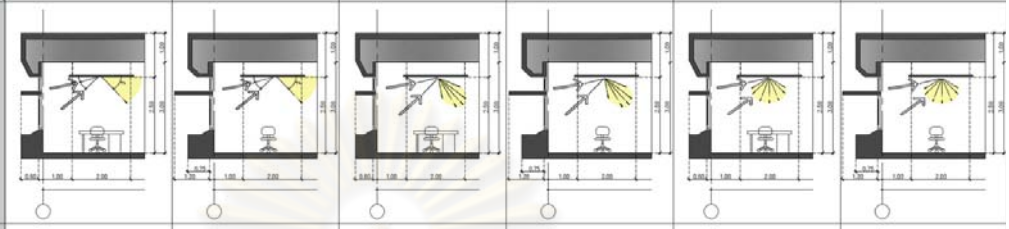
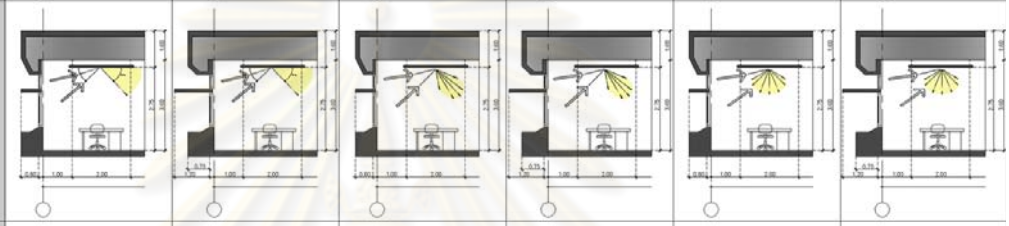
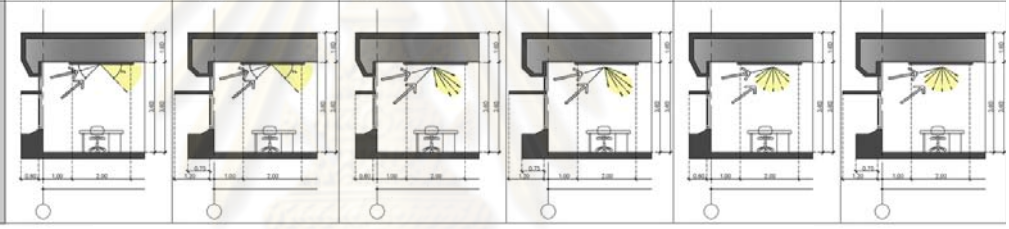
3) ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตร (ระดับเสมอฝ้าเพดาน)

<u>ตัวแปรกายภาพควบคุม</u>

4. **ขนาดของ** Interior daylighting panels อ้างอิงจากระยะห่างของการจัดวางแถวดวงโคม (layout the luminaire) ที่เหมาะสมกับการใช้งานในการกำหนดขนาด Interior daylighting panels

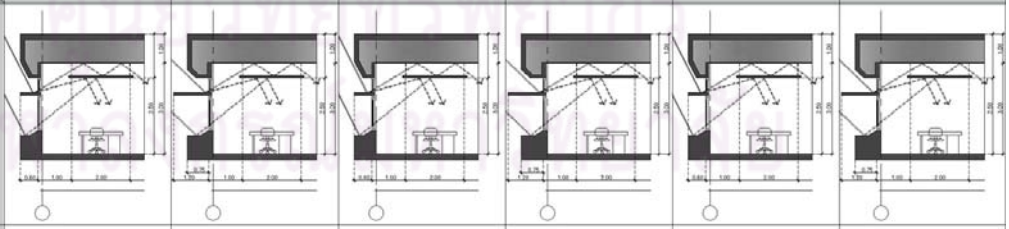
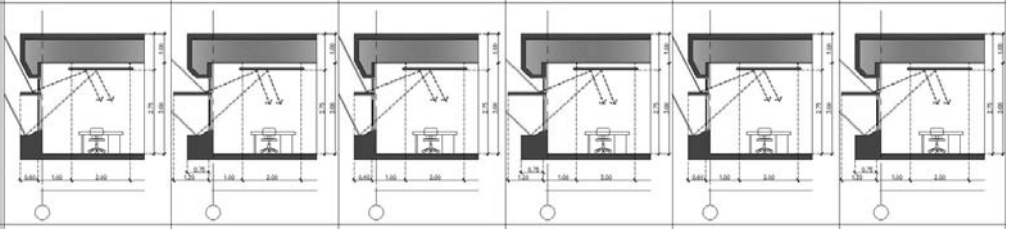
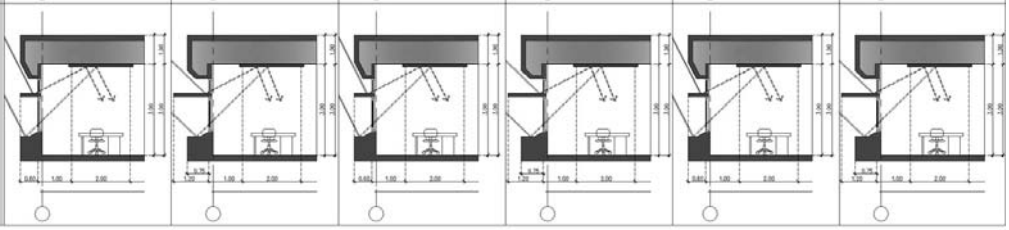
ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ daylighting panels

รูปแบบที่ 1 (เรียบระนาบนอน) 36 การทดลอง

วัสดุ / ระดับ(m.)	Specular Reflect.		Spread Reflect.		Diffuse Reflect.	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

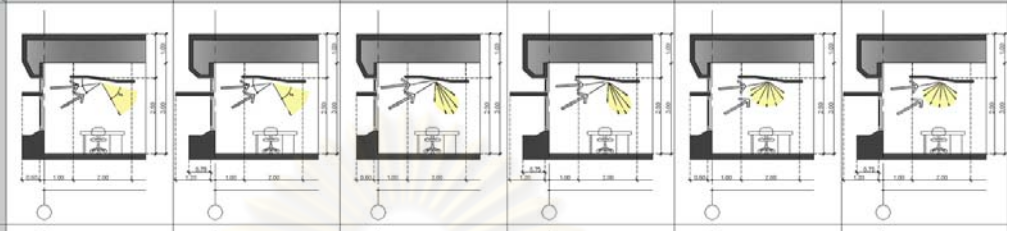
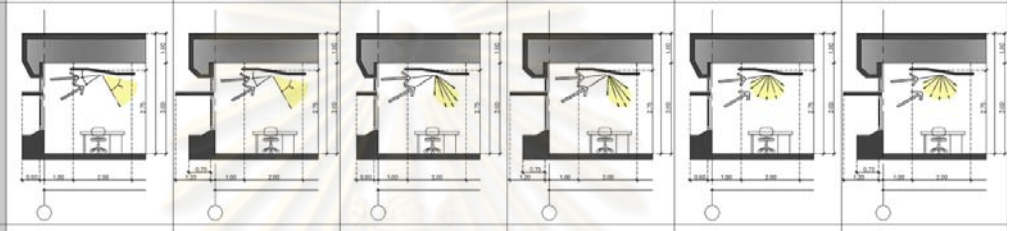
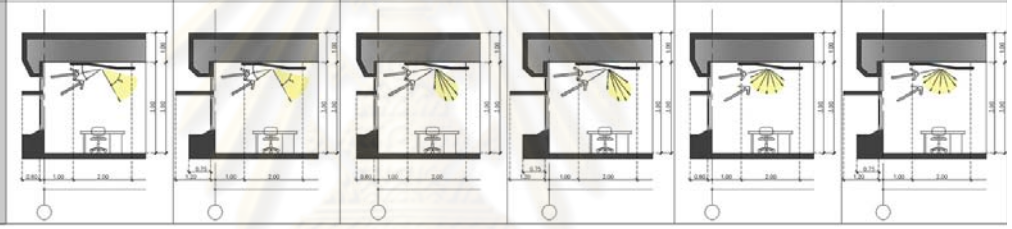
ตารางที่ 3.2 Diagram แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

ของ interior daylighting panels เรียบระนาบนอน

วัสดุ / ระดับ(m.)	Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

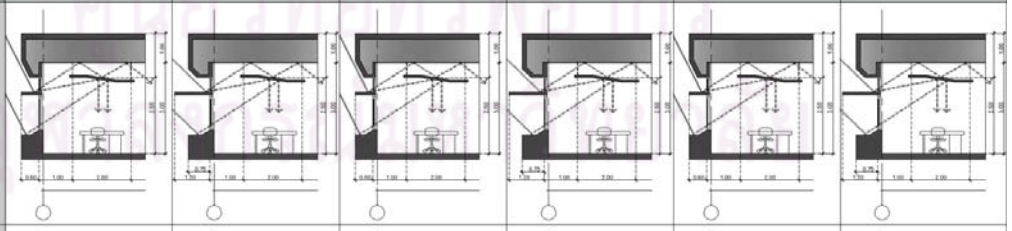
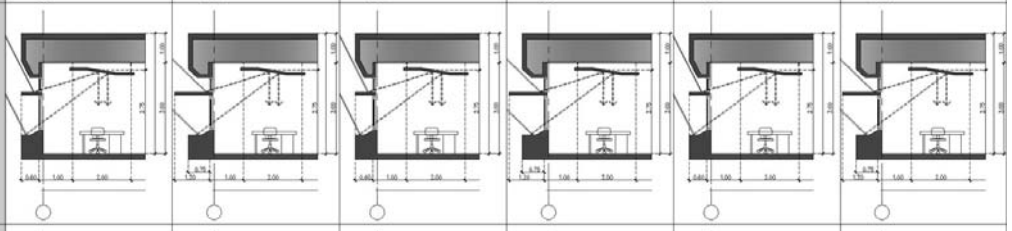
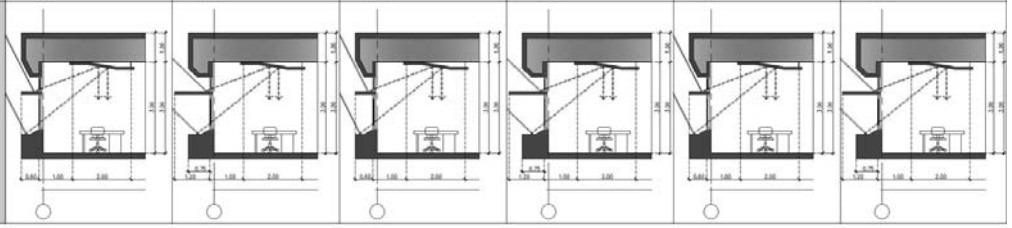
ตารางที่ 3.3 แสดงตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ daylighting panels

รูปแบบที่ 2 (เรียบระนาบเอียง) 36 การทดลอง

วัสดุ / ระดับ(m.)	Specular Reflect.		Spread Reflect.		Diffuse Reflect.	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

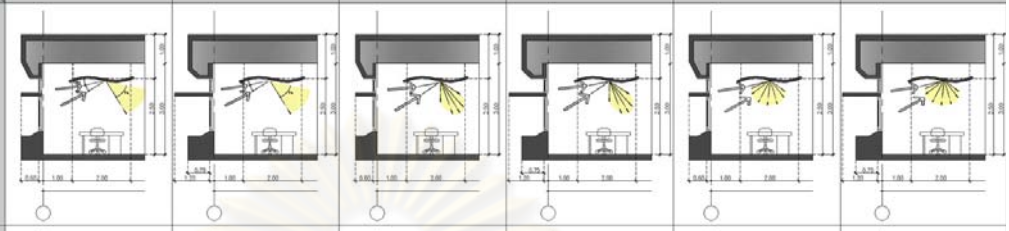
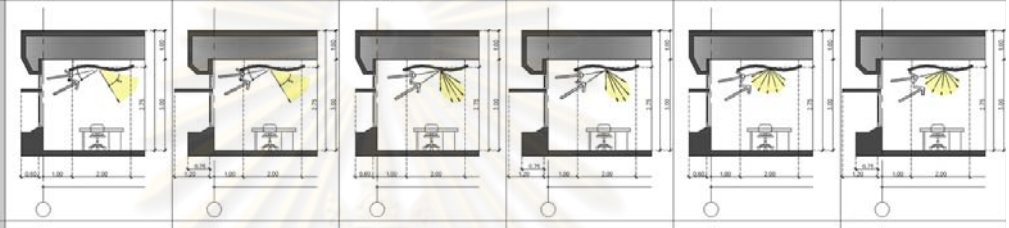
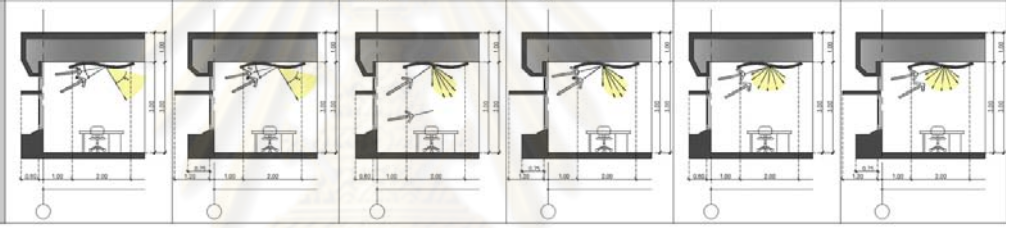
ตารางที่ 3.4 Diagram แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

ของ interior daylighting panels เรียบระนาบเอียง

วัสดุ / ระดับ(m.)	Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

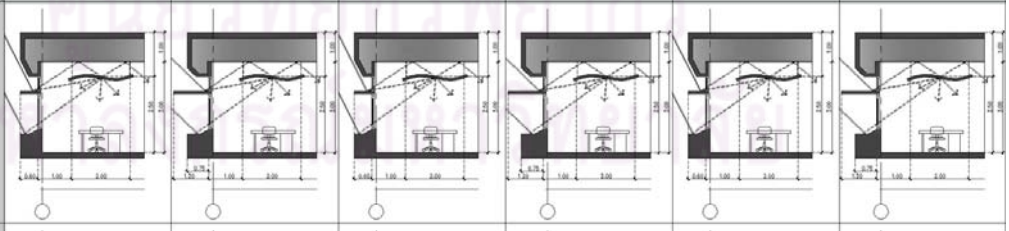
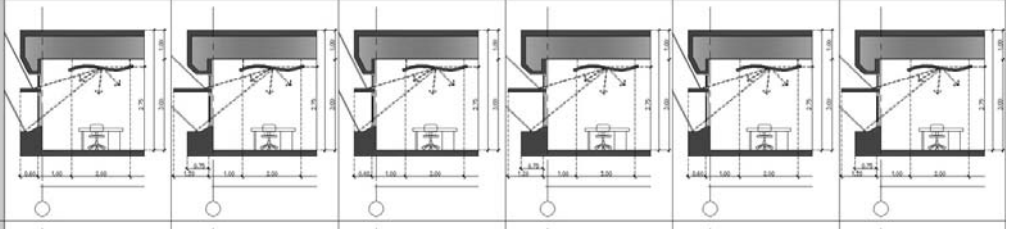
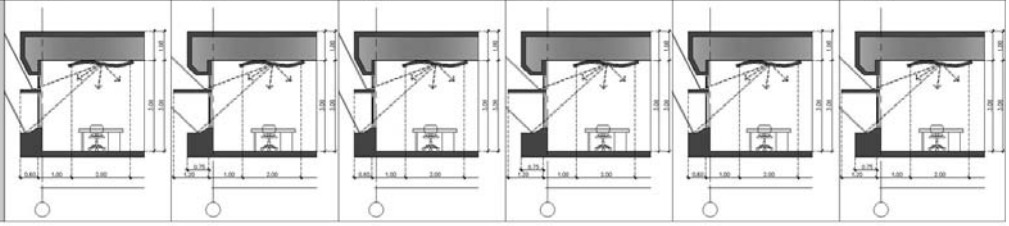
ตารางที่ 3.5 แสดงตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ daylighting panels

รูปแบบที่ 3 (โค้งระนาบนอน) 36 การทดลอง

วัสดุ / ระดับ(m.)	Specular Reflect.		Spread Reflect.		Diffuse Reflect.	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

ตารางที่ 3.6 Diagram แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

ของ interior daylighting panels โค้งระนาบนอน

วัสดุ / ระดับ(m.)	Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

3.1.2 **ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้** Interior daylighting panels

จากการศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมจะพบว่าองค์ประกอบอื่นๆของช่องเปิด สามารถเป็นอุปกรณ์สะท้อนแสงธรรมชาติเข้าภายในอาคารเพื่อเพิ่มค่าความส่องสว่างได้ ในการศึกษาจึงพิจารณาตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ Interior daylighting panels ได้ดังนี้

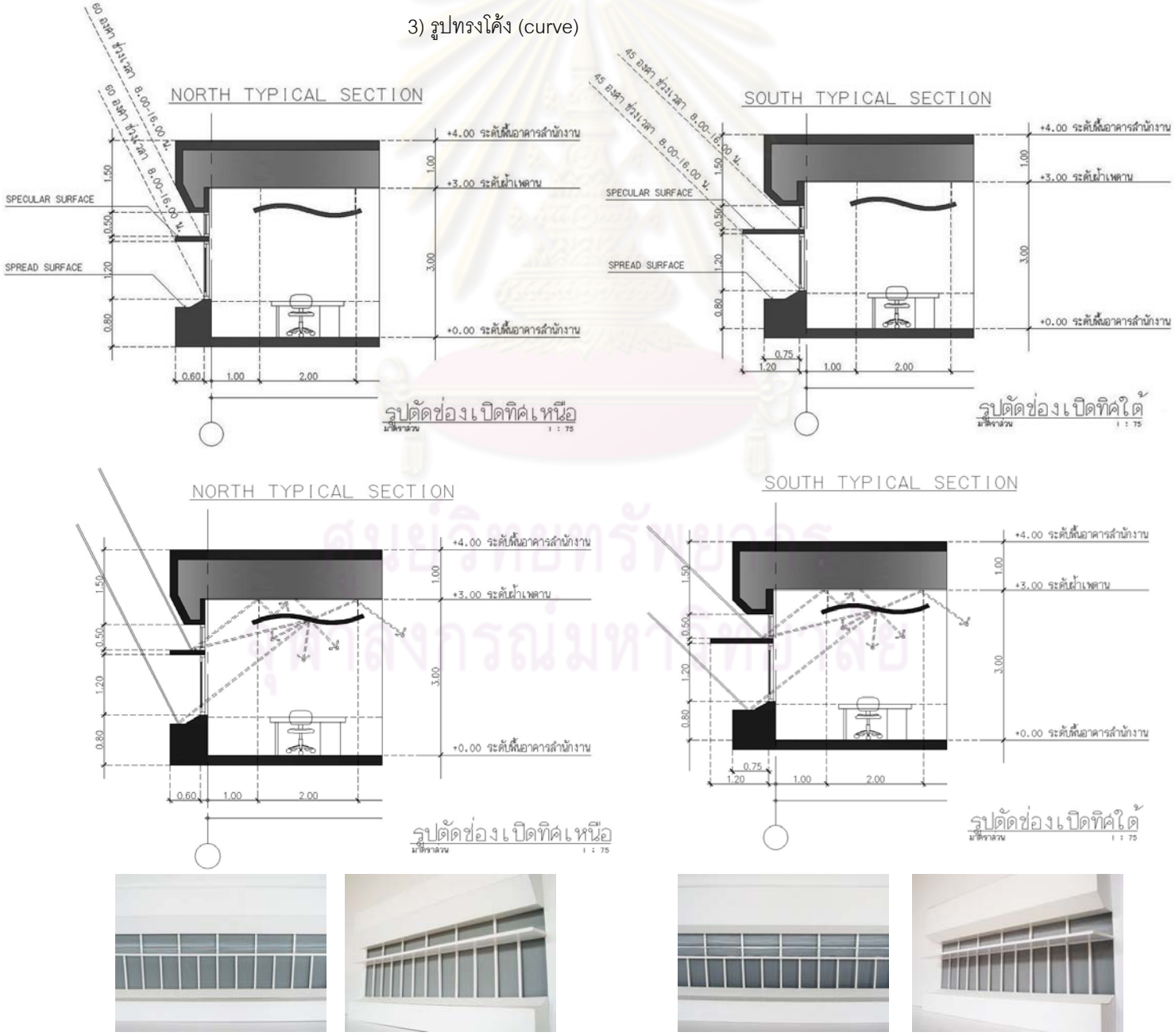
<u>ตัวแปรแวดล้อมอิสระ</u>

1. **รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร** เพื่อศึกษารูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดกับการเสริมประสิทธิภาพ Interior daylighting panels ในการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามา โดยกำหนดรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดเป็น 3 รูปแบบ 12 การทดลองคือ

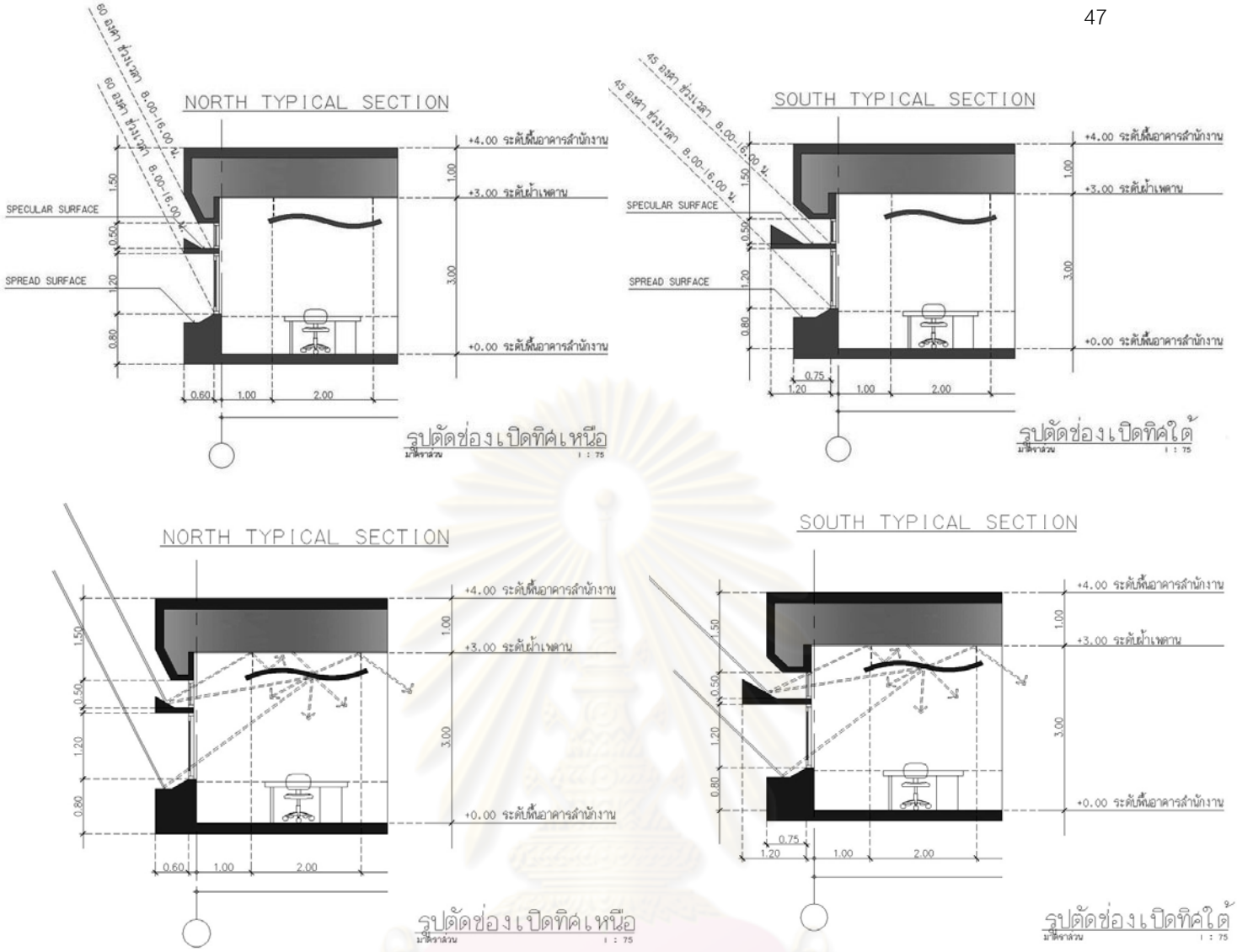
1) รูปทรงเรียบตรง

2) รูปทรงปรับมุม 30 องศา

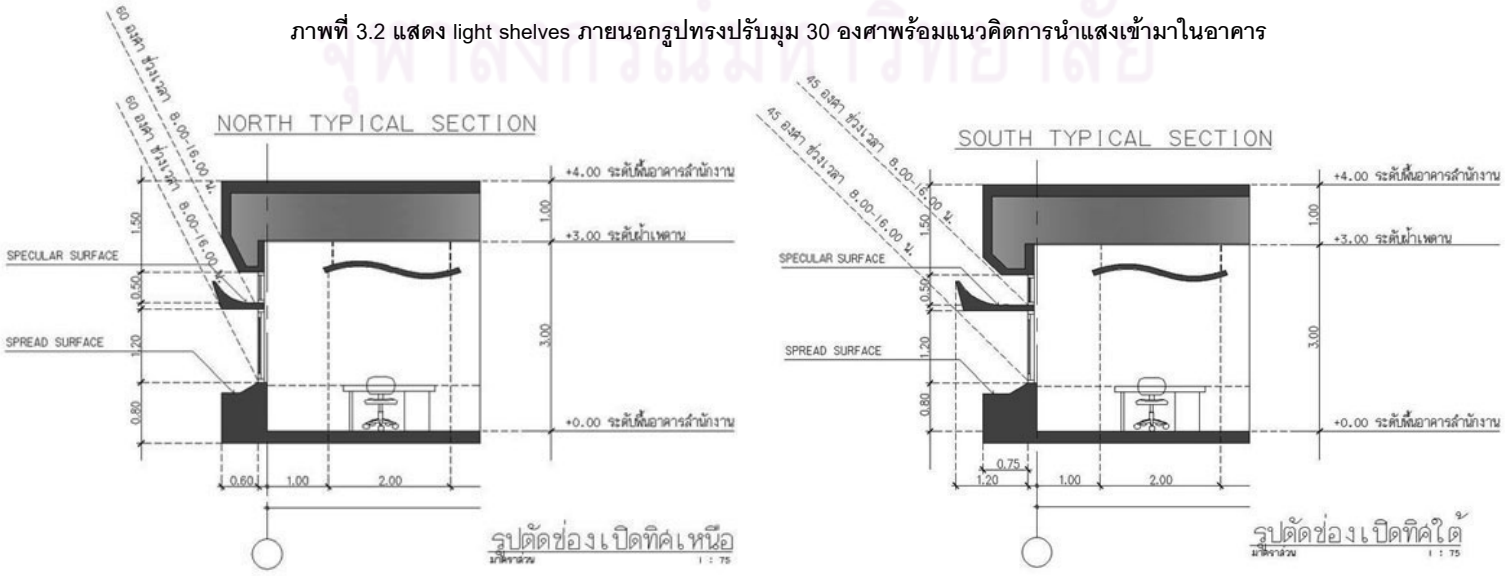
3) รูปทรงโค้ง (curve)

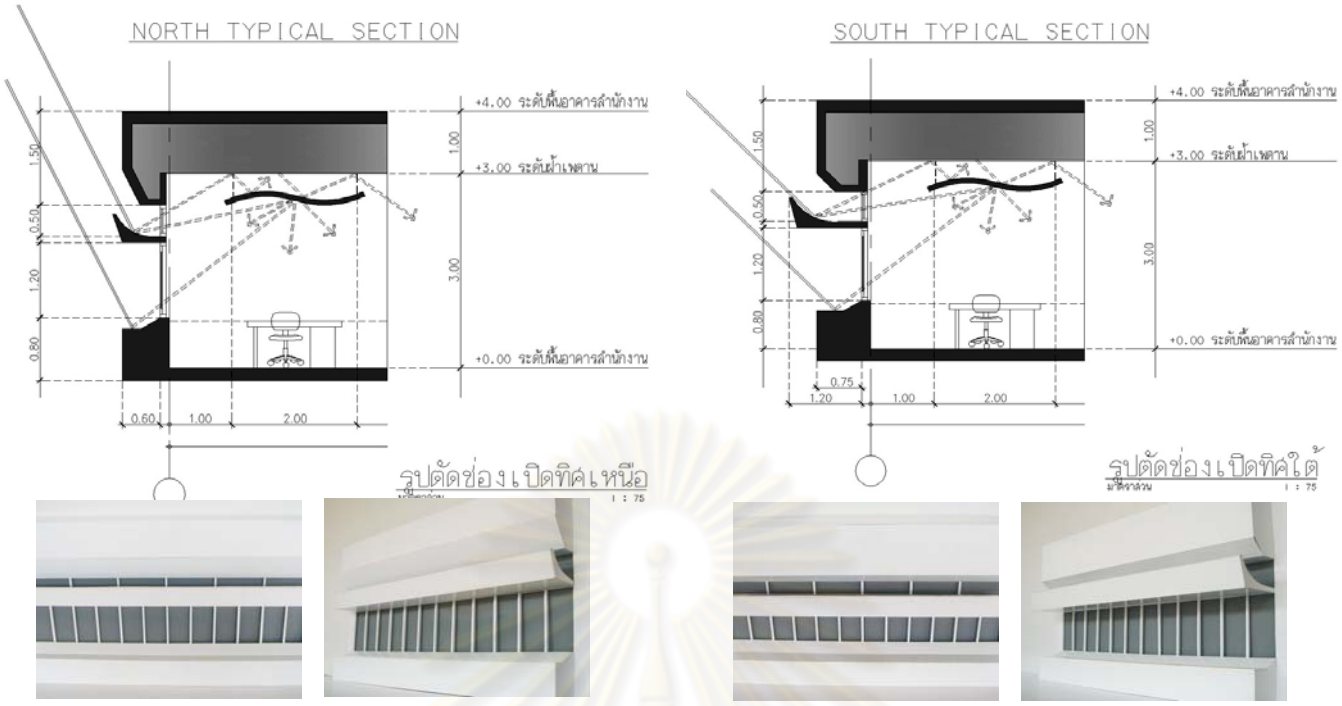


ภาพที่ 3.1 **แสดง** light shelves **ภายนอกรูปทรงเรียบตรงพร้อมแนวคิดการนำแสงเข้ามาในอาคาร**



ภาพที่ 3.2 แสดง light shelves **ภายนอกรูปทรงปรับมุม 30 องศาพร้อมแนวคิดการนำแสงเข้ามาในอาคาร**





ภาพที่ 3.3 **แสดง** light shelves **ภายนอกรูปทรงโค้ง พร้อมแนวคิดการนำแสงเข้ามาในอาคาร**

ตัวแปรแวดล้อมควบคุม เลือกรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดของแต่ละตัวแปรมาใช้เป็น base case ของการศึกษาตัวแปรกายภาพ

2. **รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร** ในการศึกษาตัวแปรกายภาพ Interior daylighting panels จะใช้ base case หิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคารรูปแบบเรียบตรง และเมื่อได้ผลของการศึกษาตัวแปรกายภาพ Interior daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพที่สุดจะนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้หิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคารรูปแบบโค้งต่อไป

3. **ลักษณะช่องเปิด** อ้างอิงจากรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้แก่ รูปแบบหน้าต่างลักษณะต่อเนื่องแบบแยกส่วน (spilt windows)

4. **องค์ประกอบช่องเปิด(ขอบหน้าต่าง)** อ้างอิงจากรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดจากการศึกษาของนายชัยวัฒน์ มุตติศานต์ เรื่อง “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในใช้ในอาคาร” คือ ขอบหน้าต่างภายนอกรูปแบบเรียบตรง

3.1.3 การศึกษาเกี่ยวกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

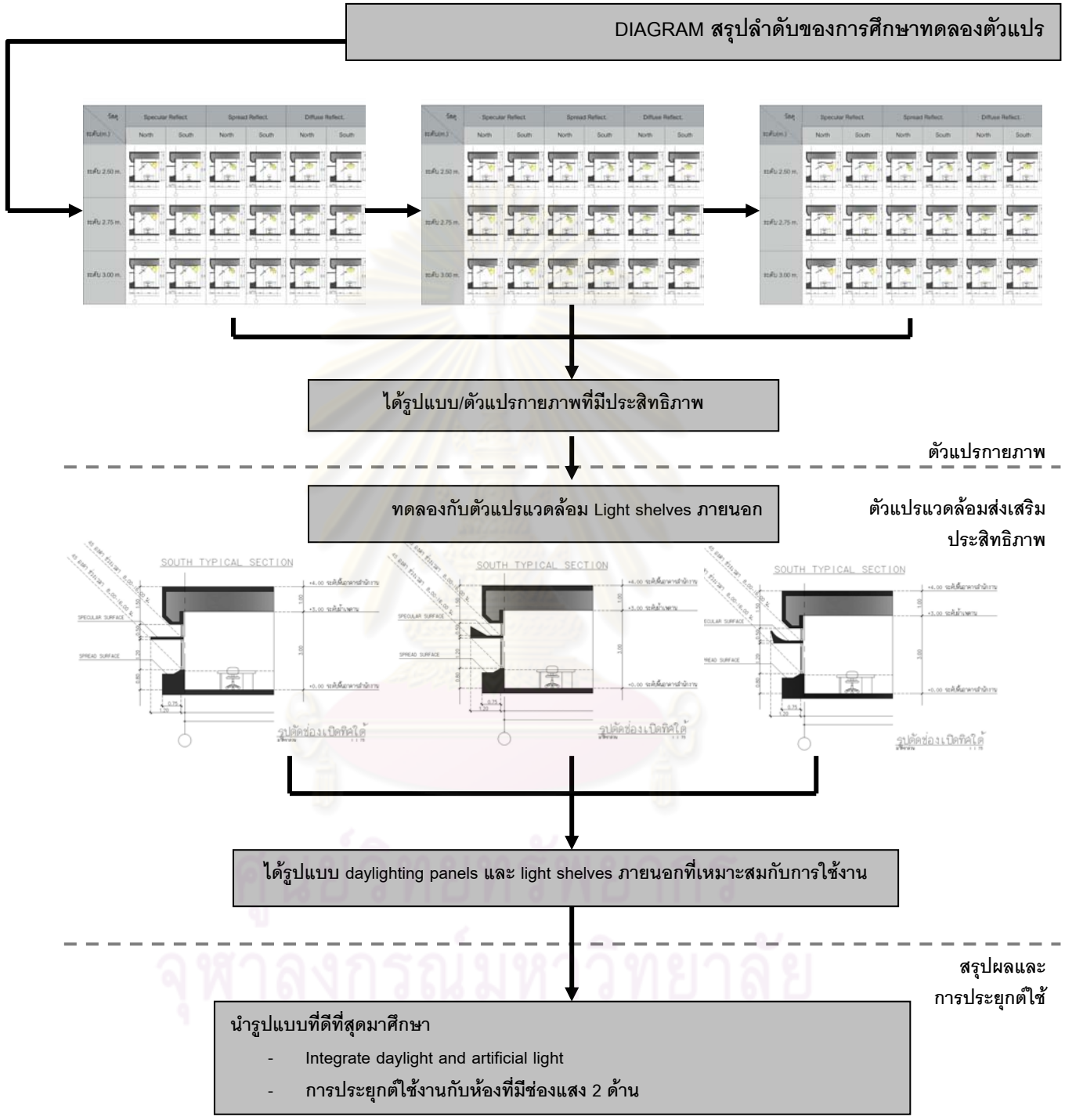
1. **การศึกษาการรวมแสงธรรมชาติเข้ากับแสงประดิษฐ์** (Integrate daylight and artificial light)

เป็นการศึกษาการนำผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพไปแปรผลเปรียบเทียบกับข้อมูลแสงกระจายรายชั่วโมงของทุกเดือน เพื่อหาค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่ได้รับและแสงประดิษฐ์ที่ต้องการเพิ่ม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน

2. **การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับห้องที่มีช่องแสง 2 ด้าน**

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การใช้ช่องแสงทั้งในทิศเหนือ และใต้ภายในห้องเดียวกันจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณความส่องสว่างและลดความจ้าภายในอาคารที่เกิดจากช่อง

แสงเพียงด้านเดียวได้ จึงทำการศึกษาขนาดห้องหรือช่วงเสาที่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติทั้ง 2 ด้าน และมีค่าความส่องสว่างเพียงพอโดยไม่ต้องใช้แสงประดิษฐ์เสริม



แผนภูมิที่ 3.2 **แสดงลำดับของการศึกษาทดลอง**

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 **ลักซ์มิเตอร์** (Lux meter) หรือ illuminance meter อุปกรณ์วัดค่าความส่องสว่างที่มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) หรือฟุตแคนเดิล (Fc) มาใช้ในงานวิจัยเพื่อนำค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากเครื่องมือไปหา

ประสิทธิภาพความส่องสว่าง (daylight factor) และใช้ในการวัดค่าความสะท้อนแสงรวมถึงค่าการส่องผ่านวัสดุที่ทำการทดลอง โดยลักซ์มิเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยจะแบ่งเป็น 2 รูปแบบได้แก่

1. **ลักซ์มิเตอร์ รุ่น** DX-200 มีช่วงการวัด (measuring range) ระหว่าง 0-200,000 lx หรือ 0 - 20,000 fc

2. **ลักซ์มิเตอร์ รุ่น** Minolta T – 10 มีช่วงการวัด (measuring range) ระหว่าง 0.01 – 99,900 lx หรือ 0.1 - 9,990 fc

3.2.2 **ลูมิแนนท์ มิเตอร์** (luminance Meter) ใช้วัดระดับความสว่าง(brightness) และความเปรียบต่าง (contrast)ของ task area และ surrounding ของพื้นที่ทำงานที่มีการใช้ lighting panel ซึ่งสามารถอ่านค่าออกเป็นหน่วย foot lambert หรือ cd/m^2 โดยมีระยะห่างระหว่างวัตถุที่ต้องการวัดกับตัวเครื่อง ตั้งแต่ 1.014 – ตามระยะจุดโฟกัสของเลนส์ที่เลือกใช้ โดยพื้นที่ของวัตถุที่ต้องการวัดต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 4.8 มม. โดย luminance Meter ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นรุ่น Minolta LS-110

(1) (2) (3)

ภาพที่ 3.4 **แสดงอุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลองประกอบด้วย** 1) Lux meter **รุ่น** DX-200, 2) Lux meter **รุ่น** Minolta T – 10 **และ** 3) luminance Meter **รุ่น** Minolta LS-110 **ตามลำดับ**

3.3 วิธีการวิจัย

งานวิจัยเชิงทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้ Interior daylighting panel เสริมหิ้งสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน มีลำดับขั้นตอนการวิจัยดังนี้

3.3.1 การเตรียมการทดลอง

กำหนดสภาพแวดล้อมที่เป็นตัวแปรคงที่ที่มีอยู่ในการทดลองทุกกรณี ต่อไปนี้

1. ทดลองตัวแปรด้วยการใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:15 โดยกำหนดเกณฑ์มาตรฐานห้องต้นแบบที่ใช้ทดลอง ตามลักษณะห้องอาคารสำนักงาน มีขนาด 8 x 16 เมตร สูง 3.00 เมตร (floor-ceiling) ขนาดพื้นที่ 128 ตารางเมตร

ภาพที่ 3.5 **แสดงลักษณะของหุ่นจำลองที่ใช้ในการศึกษา**

2. ช่องเปิดของหุ่นจำลองที่ศึกษาจะเป็นลักษณะเปิดโล่ง แล้วใช้ค่าการส่องผ่านกระจก เป็นตัวคูณปรับค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากหุ่นจำลองในภายหลัง โดยการทดลองกำหนดใช้กระจกโฟลตใส ความหนา 6 มม. ที่มีค่าการส่องผ่าน (transmittance) 90 %

3. การทดลองทั้งหมดศึกษาภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงลักษณะ clear sky และ overcast sky ที่ใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดทางด้านทิศเหนือและทิศใต้

3.3.2 การตั้งสมมุติฐานของการทดลอง

ตารางที่ 3.7 แสดงการสรุปตัวแปรและสมมุติฐานของการทดลอง

	ตัวแปรที่ศึกษา (Variables)	รูปแบบตัวแปร	สมมุติฐานในการศึกษา (Hypothesis)
ตัวแปรกายภาพ Interior daylighting panel			
1.	รูปแบบของ interior daylighting panels	- รูปแบบเรียบระนาบนอน - รูปแบบเรียบระนาบเอียง - รูปแบบโค้งระนาบนอน	รูปแบบโค้งซึ่งเปลี่ยนองศาการสะท้อนแสงได้มีประสิทธิภาพในการเกลี่ยแสงเพื่อเพิ่มความส่องสว่างในอาคารได้ดี
2.	พื้นผิววัสดุ (materials)	-Specular reflect. -Spread reflect. -Diffuse reflect.	วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความส่องสว่างภายในอาคารได้ดี
3.	ระดับติดตั้ง	- ระดับ 2.50 เมตร - ระดับ 2.75 เมตร - ระดับ 3.00 เมตร	ระดับที่สูงจากระนาบทำงาน (workplane) น้อยจะให้ค่าความส่องสว่างจากการสะท้อนที่มากกว่า
ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพ			
1.	รูปทรง light shelves ที่ช่องเปิด	- รูปทรงเรียบตรง - รูปทรงปรับมุม 30 องศา - รูปทรงโค้ง	รูปทรงโค้งมีประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารได้มาก ระยะลึกและส่งเสริมประสิทธิภาพ daylighting panels ได้ดีกว่า
2.	รูปแบบช่องเปิด (ไม่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้)	ช่องเปิด split windows แบบต่อเนื่อง	Split windows รูปแบบต่อเนื่องทำให้ค่าความส่องสว่างภายในมากและมีความสม่ำเสมอ
3.	องค์ประกอบช่องเปิด (ไม่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้)	ขอบหน้าต่างเรียบ	ขอบหน้าต่างเรียบมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้ามาในอาคารได้ดี
การศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้งาน			
1.	Integrate daylight and artificial light	-	ช่วยลดปริมาณการใช้แสงประดิษฐ์และการบริโภคพลังงานลง
2.	การประยุกต์ใช้งานกับห้องที่มีช่องแสง 2 ด้าน (เหนือ-ใต้)	-	เมื่อนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้กับช่องแสง2 ด้านจะช่วยเพิ่มความส่องสว่างภายในอาคาร

หมายเหตุ : ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพ ในด้านรูปแบบหน้าต่างและองค์ประกอบช่องเปิด อ้างอิงรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดจากการศึกษาเรื่องปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงของชัยวัฒน์ , 2548

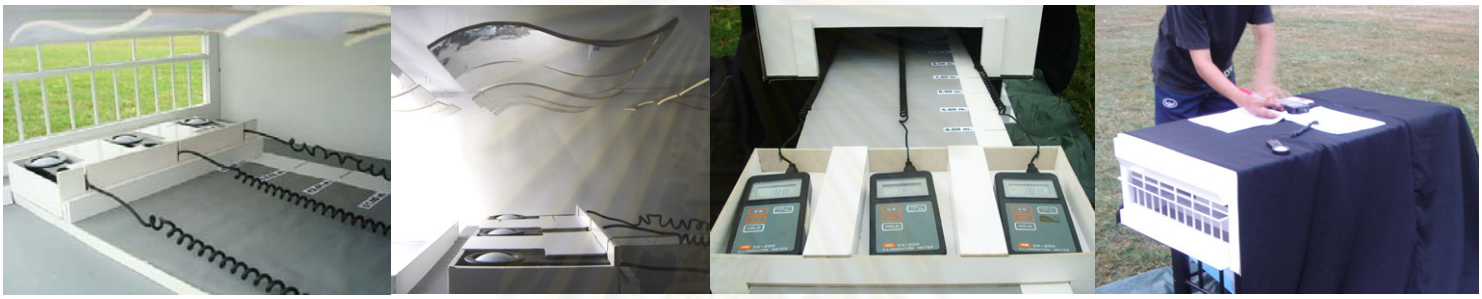
3.3.3 การทำการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ตรวจสอบสภาพและการอ่านค่า(calibration) ของเครื่องมือ/อุปกรณ์ทดลองให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน (ดูการตรวจสอบการอ่านค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยที่ภาคผนวก ฉ.) พร้อมจัดทำตารางสำหรับบันทึกค่าความส่องสว่างภายใน (Ein) และภายนอก (Eex) ที่วัดได้จากการทดลอง

2. ติดตั้งตัวแปรแต่ละกรณีที่ใช้ในการทดลอง

3. ทำการวัดค่าความส่องสว่างภายนอก(Eex) และภายในหุ่นจำลอง(Ein) ในลักษณะจุดต่อจุด ด้วยเครื่องมือ Illuminance meter โดยการวัดค่าความส่องสว่างภายในนั้นจะวัดที่ระดับ workplane 0.75 เมตร ทุกระยะห่าง 1 เมตรจากช่องเปิดอาคาร ด้วยตำแหน่งวัด 3 จุดที่ระยะห่างเท่าๆกัน แล้วนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อความถูกต้องของค่าที่ได้

4. จดบันทึกผลการทดลองที่ได้



ภาพที่ 3.6 **แสดงวิธีการเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างด้วยอปกรณ์วัดแสง** illuminance meter

3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำผลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณเป็นค่า daylight factor (%DF) ในแต่ละจุดเพื่อทำการประเมินผล (ดูสูตรการคำนวณค่า %DF จากบทที่ 2 หน้า 21 หรือ บทที่ 5 หน้า156)

2. ประเมินผลประสิทธิภาพของตัวแปรต้นด้วยการพิจารณาระยะจากช่องเปิดอาคารมากสุดที่มีค่า daylight factor ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานความส่องสว่างอาคารสำนักงาน 2%DF(ดูการพิจารณาค่า daylight factor เทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ภาคผนวก ช.3)

3. นำผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดของตัวแปรต้นแต่ละตัวแปร มาสรุปเป็นการออกแบบ lighting panels ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อนำค่า %DF ที่ได้ มาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้า เฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน เพื่อหาความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่ได้รับ และความส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์ที่ต้องการเพิ่มตลอดปี(ดูภาคผนวก ช.2 แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายในท้องฟ้า อ้างอิงจาก Jirattananon and Chaiwiwatworakul, 2001: A-16.1)

3.3.5 การสรุปผลข้อมูล

1. สรุปผลตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ Interior daylighting panels เสริมหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดแนวเหนือ – ใต้ เพื่อใช้เป็นแนวทางพื้นฐานในการออกแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารสำนักงานและบนระนาบทำงาน

2. สรุปประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานในแง่เศรษฐศาสตร์ประมาณการค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (kW-hr) และค่า heat gain ที่ลดลงได้จากการลดการใช้แสงประดิษฐ์

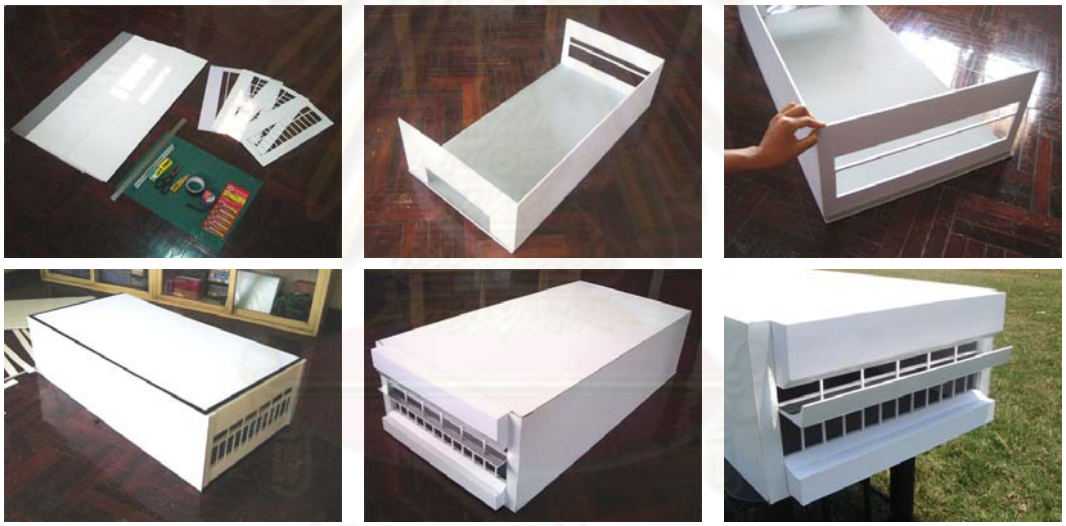
3. อภิปราย/เสนอแนะความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการออกแบบ interior daylighting panels เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

3.4 หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลอง

1. มาตราส่วนของหุ่นจำลองพิจารณาจากขนาดที่เหมาะสมกับการทดลอง ไม่ให้มีขนาดเล็กจนเครื่องมือทดลองไม่สามารถใช้ได้ หรือใหญ่จนยากแก่การขนย้าย การวิจัยจึงกำหนดมาตราส่วนของหุ่นจำลองที่ 1:15 ขนาดของห้อง 8 x16 เมตร ซึ่งพิจารณาจาก modular ของช่วงเสาอาคาร

2. การพิจารณาความสูงของห้องต้นแบบของอาคารสำนักงาน จะพิจารณาเกณฑ์จากข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 ที่กล่าวถึงห้องที่ใช้เป็นอาคารสำนักงานว่าต้องมีระยะดิ่งระหว่างพื้นถึงพื้นไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร

3. ระบบโครงสร้างของพื้นที่ใช้ เป็นระบบพื้นไร้คาน (flat plate) เนื่องจากเป็นระบบที่นิยมในปัจจุบันประหยัดและก่อสร้างได้รวดเร็ว ให้มีความสูงจากพื้นถึงพื้น (floor-floor) 4.00 เมตร , ความสูงพื้นถึงฝ้าเพดาน (floor-ceiling) 3.00 เมตรและมีระบบช่องท่อเหนือฝ้าเพดาน 1.00 เมตร

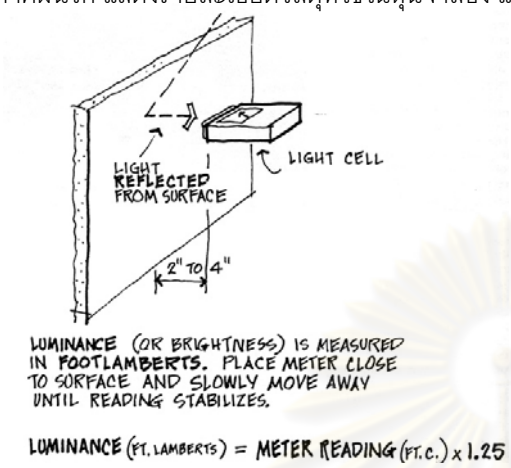


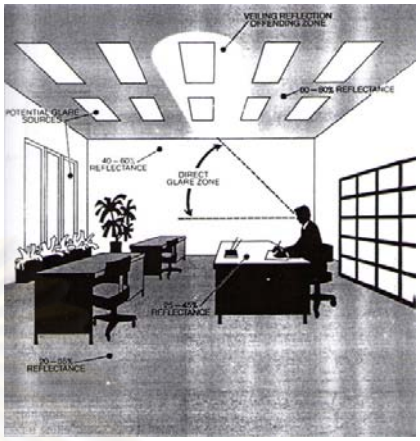
ภาพที่ 3.7 แสดงขั้นตอนในการทำหุ่นจำลอง

ตารางที่ 3.8 แสดงการสรุปรายละเอียดของหุ่นจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ขนาดห้องมาตรฐาน			พื้นที่ผนังด้านที่พิจารณา				ค่าการสะท้อนแสงภายใน		
ความกว้าง	8.0 m.	WWR(%)	ช่องเปิด(m^2)	ส่วนทึบ(m^2)			เพดาน	ผนัง	พื้น
ความยาว	16.0m.			วงกบ	ผนัง	เสา	(%)	(%)	(%)
ความสูง(พื้น-ฝ้า)	3.0 m.	38.25	12.24		17.36	2.4	70	50	30
พื้นที่ใช้งาน	128.0 m^2								
พื้นที่ผนังช่องเปิด	32 m^2								

4. ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่เลือกใช้ในการทำหุ่นจำลอง อ้างอิงจากเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน (Lechner , 2001:347) คือ ให้วัสดุที่ใช้ทำพื้นมีค่าการสะท้อนแสง 30 % ผนัง 50% และฝ้าเพดาน 70 %(ดูภาคผนวก แสดงรายละเอียดวัสดุที่ใช้ในหุ่นจำลอง และตารางแสดงค่าการสะท้อนของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง)



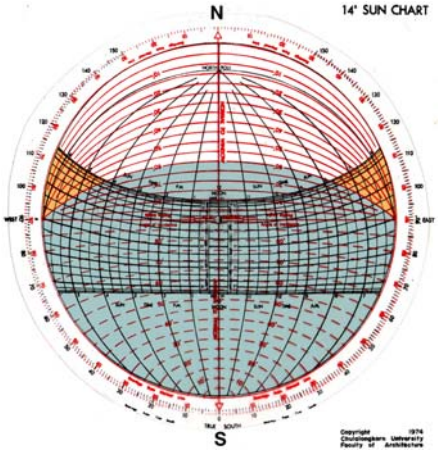


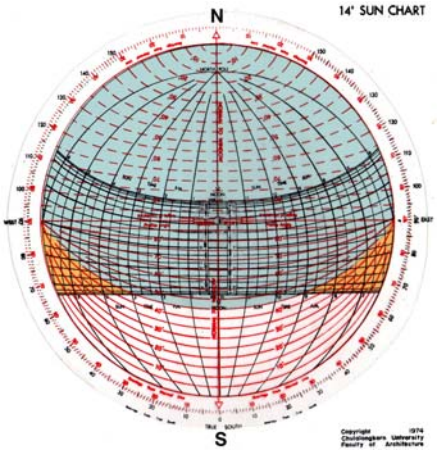
ภาพที่ 3.8 **แสดงการเลือกใช้ค่าการสะท้อนแสงวัสดุ พื้น , ผนัง และฝ้าเพดานที่เหมาะสม** (Lechner , 2001: 347)

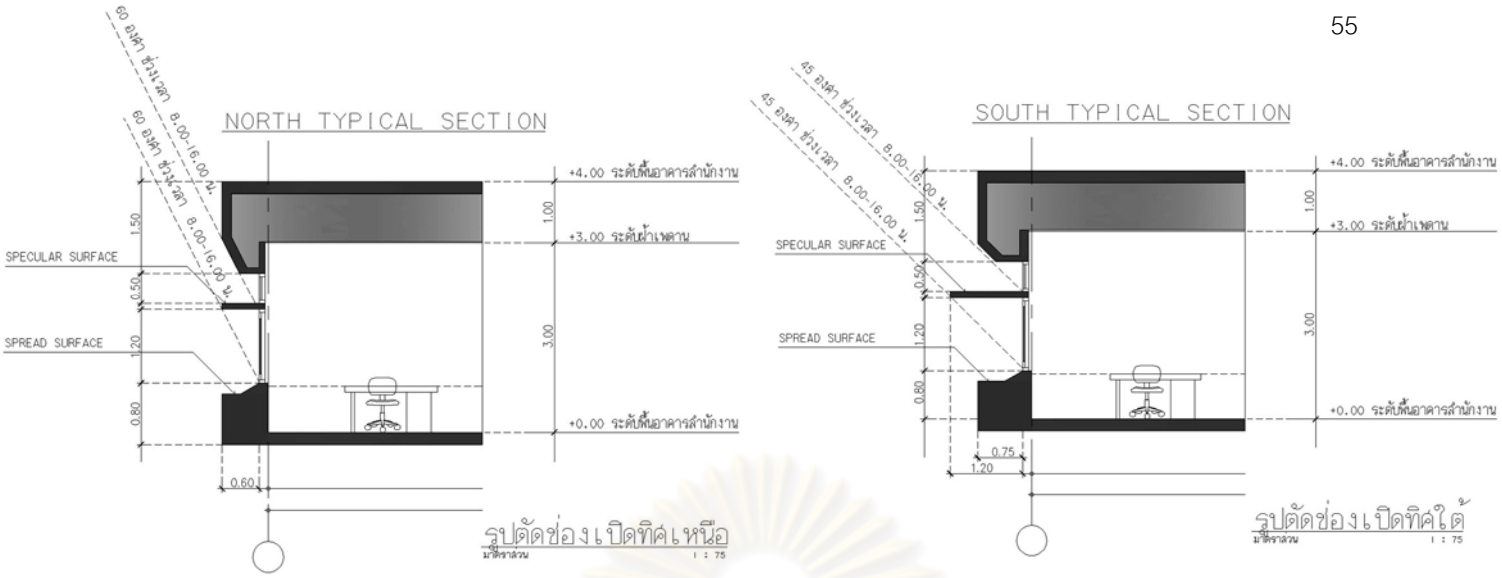
ตารางที่ 3.9 แสดงค่าและรูปแบบการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

	วัสดุที่ใช้	แทนค่าของ	ค่าการสะท้อน	รูปแบบการสะท้อน
1.	กระดาษโปสเตอร์บางสีเทา	พื้น	34.50 %	-
2.	กระดาษเทา-ขาว	ผนัง	56.91 %	-
3.	กระดาษอาร์ตสีขาว	ฝ้าเพดาน, อุปกรณ์บังแดด, ขอบหน้าต่าง, daylighting panels	73.42 %	-
4.	สติกเกอร์สีเงินมันวาว	หิ้งสะท้อนแสง, daylighting panels	97.31 %	Specular reflect.
5.	สติกเกอร์ PVC สีขาวกึ่งมัน	Daylighting panels	86.20 %	Spread reflect.
6.	ผ้า linin สีขาว	Daylighting panels	65.92%	Diffuse reflect.
ดูรายละเอียดการทดสอบค่าการสะท้อนแสงได้จากภาคผนวกที่ ง.				

5. พิจารณาใช้การกันแดดด้วย light shelves(สำหรับหน้าต่างส่วนล่าง)และแผงบังแดด(สำหรับหน้าต่างส่วนบน) วัสดุ specular reflect. ที่ช่องเปิดอาคารติดตั้งที่ระดับสูง 2.00 m. (ชัยวัฒน์,2548 : 89) โดยระยะยื่นของ shading นั้นคำนวณจากแผนที่ทางเดินดวงอาทิตย์ที่ 14 องศาเหนือ ใช้มุม profile angle ที่ 60 องศาสำหรับระยะยื่น shading ช่องแสงทิศเหนือ และ 45 องศาสำหรับระยะยื่น shading ช่องแสงทิศใต้ตามลำดับเพื่อให้สามารถกันแสงตรงได้ตั้งแต่เวลา 8.00 น.-16.00 น.ซึ่งเป็นเวลาทำการสำนักงาน







ภาพที่ 3.9 แสดงมุม profile angle ที่ใช้ในการกำหนดระยะยื่นของ shading อาคารทิศเหนือ – ใต้ โดยใช้มุม 60 องศาสำหรับ shading ทิศเหนือ และ 45 องศาสำหรับ shading ทิศใต้

6. พิจารณาใช้หน้าต่างอาคารแยกส่วน (split windows) รูปแบบต่อเนื่อง(ชัยวัฒน์,2548 : 58) มีค่าสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อผนังทึบ WWR = 38.25 % และมีการยื่นขอบล่างของหน้าต่างในรูปแบบเรียบตรง

7. วัสดุกระจกที่ช่องเปิด ในหุ่นจำลองจะเปิดเป็นช่องโล่ง แล้วนำผลการทดลองมาคูณปรับค่าความส่องสว่างด้วยค่าการส่องผ่านภายหลังเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง เช่น หากวัดความส่องสว่างในหุ่นจำลองได้ 300 ลักซ์ ค่าที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลคือ

300 lux (ค่าความส่องสว่างที่วัดได้) x 90%(ค่าการส่องผ่านกระจก) = 270 ลักซ์ เป็นต้น

8. ออกแบบหุ่นจำลองให้สามารถปรับเปลี่ยนส่วนต่างๆได้เพื่อรองรับรูปแบบตัวแปรที่เปลี่ยนไปตามการทดลอง

9. การกำหนดจำนวนของ daylighting panels พิจารณาจากจำนวนหลอดไฟที่สัมพันธ์กับพื้นที่ใช้สอย (ดูวิธีการหาค่าต่างๆเพิ่มเติมได้จากบทที่ 5 การพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในและการบริโภคพลังงาน)

จากสูตรปริมาณแสงที่ต้องการ (L) = $\frac{\text{illuminance x Area}}{\text{CU x (LLD x LDD)}}$

ห้องที่ศึกษามีความต้องการระดับความสว่าง 300-500 lux และใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ของ Lekise 28 watt ความสว่าง 2,800 lumen จะได้

หาปริมาณแสงที่ต้องการ = $\frac{500 \times 128}{0.55 \times (0.9 \times 0.8)}$

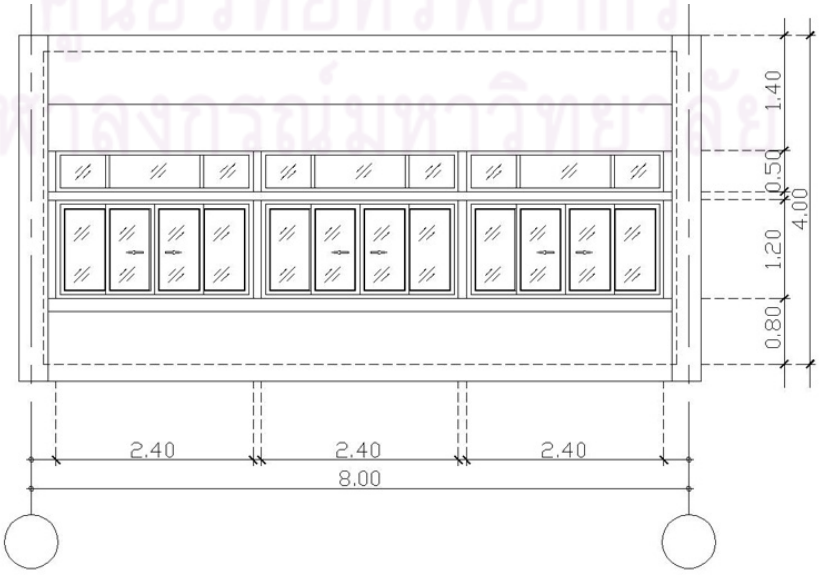
= 161,616 lumen

หาจำนวนโคม(N) = $\frac{\text{ปริมาณแสงทั้งหมดที่ต้องการ (L)}}{\text{ปริมาณแสงต่อ 1 ดวงโคม}}$

= 161,616 / 2,800 = 57 โคม

นำค่าที่ได้มาประกอบการพิจาณาจัดดวงโคมที่สัมพันธ์กับพื้นที่ใช้งาน เพื่อกำหนดจำนวน daylighting panels จะสามารถจัด daylighting panels ได้ 5 panels ต่อแถว จำนวน 5 แถว สำหรับดวงโคมทั้งหมด 50 โคม

ภาพที่ 3.10 แสดงผังพื้นของหุ่นจำลอง ประกอบกับการจัดวางผังดวงโคมและพื้นที่ใช้งาน



ภาพที่ 3.11 แสดงรูปด้านหน้า (façade) ของหุ่นจำลองที่ใช้ในการศึกษา

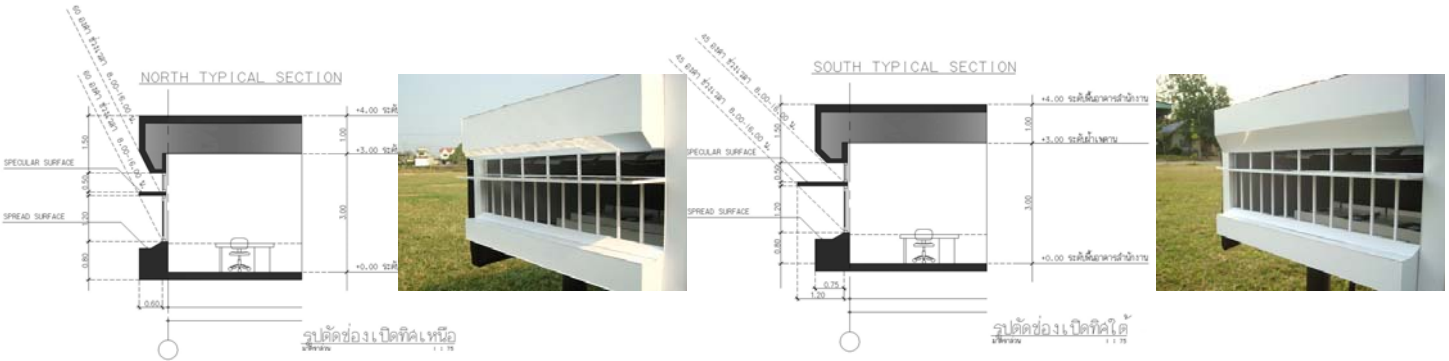
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า daylight factor ของการนำแสงเข้ามาในอาคารในกรณีปกติ (base case) ที่มีการใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว

ค่า daylight factor ของการใช้ light shelves แบบเรียบตรงเพียงอย่างเดียว(Base case)				
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky		สภาพท้องฟ้า overcast sky	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	3.79	3.22	6.72	4.67
2.00 m.	2.74	2.28	4.46	3.00
3.00 m.	2.01	1.56	2.98	2.12
4.00 m.	1.39	1.07	2.04	1.41
5.00 m.	0.96	0.79	1.42	1.00
6.00 m.	0.67	0.58	1.04	0.72
7.00 m.	0.51	0.44	0.84	0.56
8.00 m.	0.40	0.35	0.64	0.40
9.00 m.	0.32	0.30	0.50	0.36
10.00 m.	0.25	0.23	0.43	0.30
11.00 m.	0.22	0.20	0.40	0.26
12.00 m.	0.20	0.18	0.32	0.24
13.00 m.	0.18	0.17	0.29	0.23
14.00 m.	0.16	0.16	0.27	0.21
15.00 m.	0.17	0.17	0.25	0.22
ระยะจากช่องเปิด(m.) ที่ (%)DF≥2	3.05	2.50	4.00	3.25
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	19.06	15.63	25.00	20.31
หมายเหตุ	ดูรายละเอียดผลการทดลองและการคำนวณ %DF จากภาคผนวกที่			
	ตารางที่ ค.1		ตารางที่ ค.2	

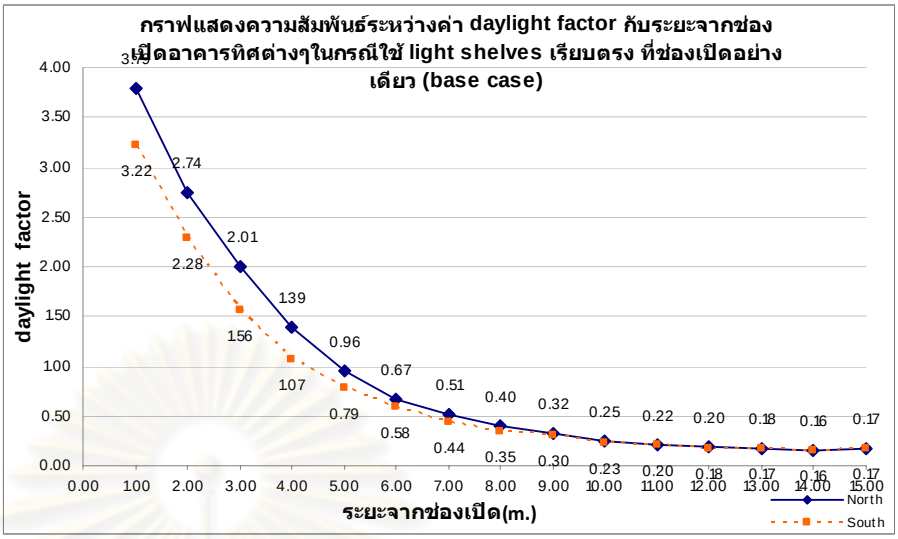


ภาพที่ 4.1 แสดงการนำแสงเข้ามาในอาคารในกรณีปกติ (base case) ที่มีการใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว

แผนภูมิที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดลองกรณี base case ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ทิศเหนือ

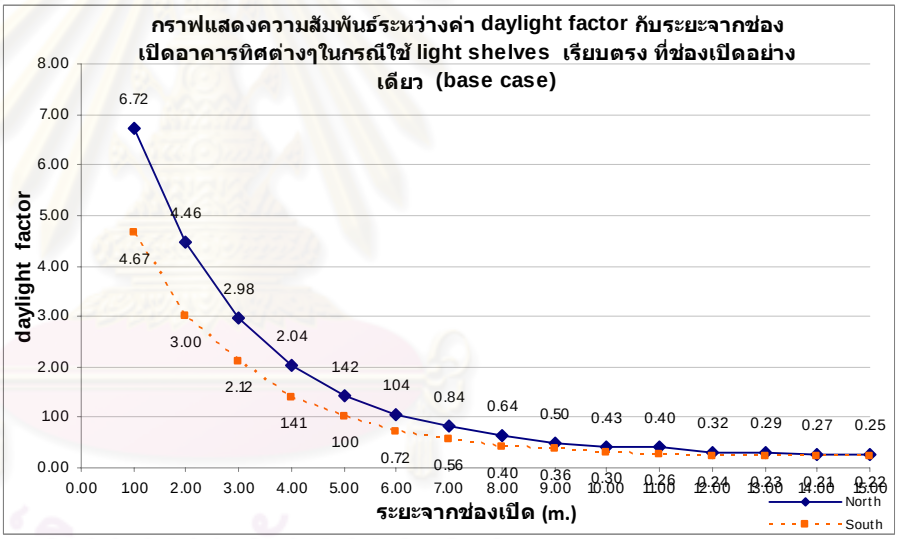
ทิศใต้



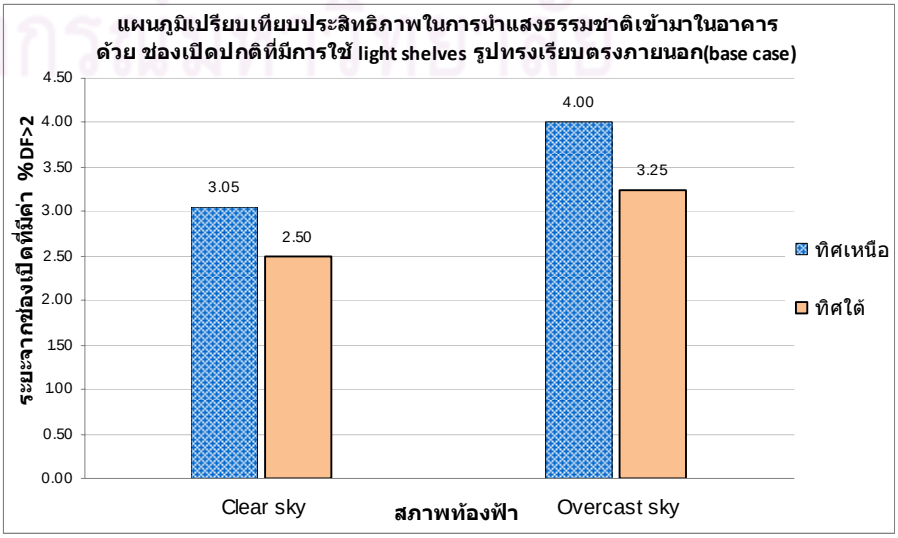
แผนภูมิที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดลองกรณี base case ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ทิศเหนือ

ทิศใต้



แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)

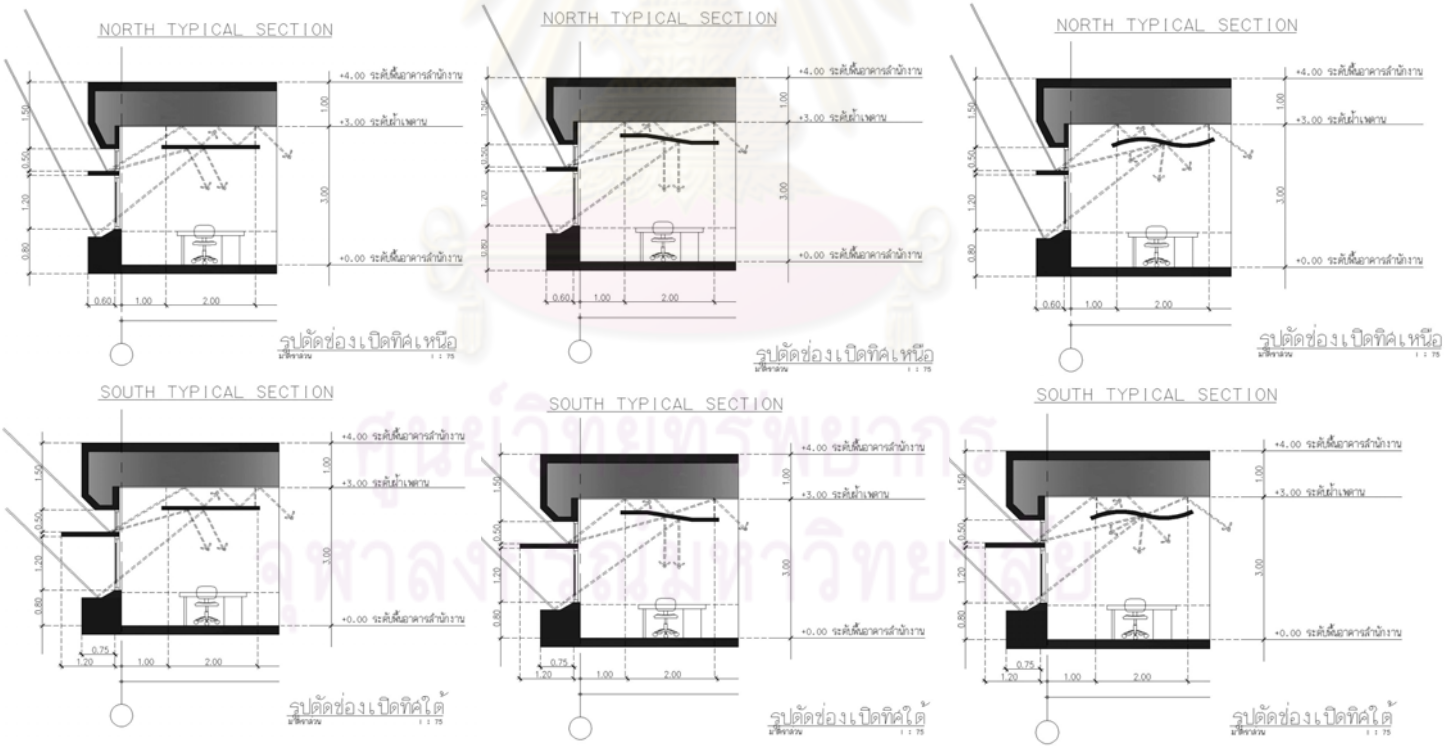


4.1.1 **ผลการทดลองตัวแปรกายภาพของ** interior daylighting panels **ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร**

1) **ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ** interior daylighting panels

ตารางที่ 4.2 แสดงการกำหนดตัวแปรกายภาพที่ใช้ในการทดลองด้านรูปแบบของ daylighting panels

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม	หมายเหตุ
รูปแบบของ interior daylighting panels	ค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบใช้งาน	สภาพท้องฟ้าในการทดสอบ	ทดสอบในสภาพท้องฟ้า clear sky และ overcast sky
		ทิศในการทดสอบ	ทิศเหนือและทิศใต้
		หุ่นจำลอง -รูปแบบช่องเปิด -องค์ประกอบภายใน พื้น,ผนัง,ฝ้าเพดาน	รายละเอียดในตารางที่ 3.8 -3.9
		light shelves ภายนอก	รายละเอียดในหน้าที่ 54 - 55
		ชนิดของกระจก	กระจกโฟลตใสความหนา 6 มม. ที่มีค่าการส่องผ่าน 90 %

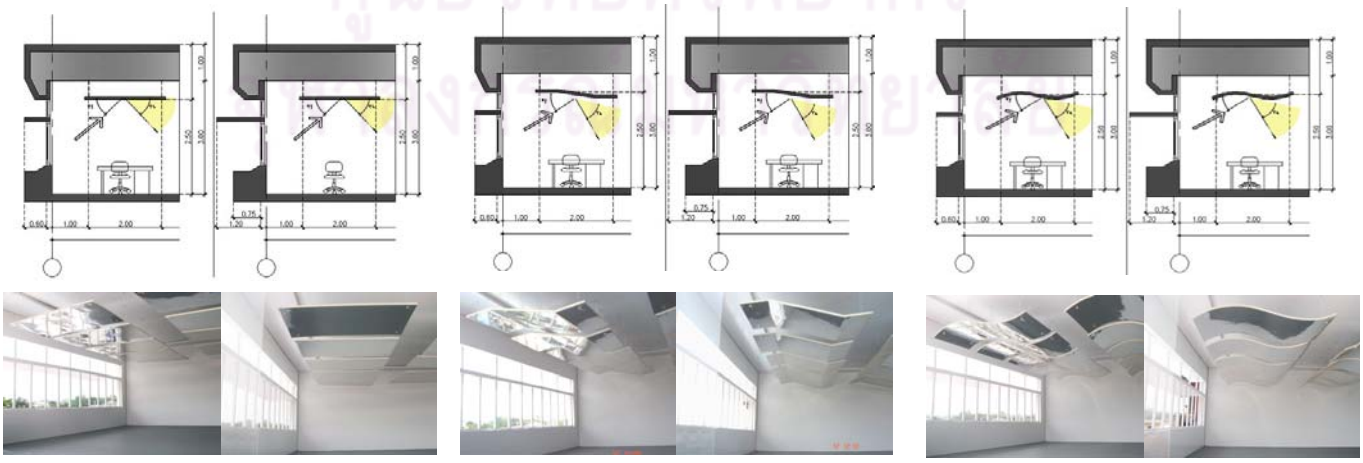


รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

ภาพที่ 4.2 **แสดง** typical section **ของช่องเปิดอาคารที่มีการใช้** interior daylighting panels **รูปแบบต่าง ๆ**

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ที่ระดับ 2.50 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ระดับ 2.50 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.18	3.78	5.77	4.54	6.39	5.56	8.04	5.24	8.83	6.41	10.41	6.20
2.00 m.	3.34	2.90	4.04	3.22	4.29	3.79	5.72	3.67	5.85	4.38	6.60	4.21
3.00 m.	2.25	1.81	2.76	2.25	3.08	2.55	3.72	2.48	3.79	2.96	4.37	3.11
4.00 m.	1.50	1.25	1.78	1.73	2.12	1.62	2.58	1.68	2.70	1.88	2.89	2.28
5.00 m.	1.06	0.92	1.29	1.24	1.54	1.10	1.86	1.20	1.90	1.38	2.08	1.72
6.00 m.	0.80	0.71	0.96	0.95	1.10	0.81	1.45	0.91	1.47	0.98	1.52	1.21
7.00 m.	0.59	0.54	0.74	0.74	0.90	0.63	1.09	0.69	1.12	0.78	1.16	0.87
8.00 m.	0.46	0.43	0.60	0.59	0.68	0.47	0.91	0.55	0.87	0.61	0.91	0.66
9.00 m.	0.37	0.33	0.49	0.48	0.56	0.37	0.71	0.43	0.72	0.50	0.72	0.52
10.00 m.	0.31	0.29	0.42	0.41	0.47	0.32	0.60	0.36	0.59	0.42	0.60	0.45
11.00 m.	0.27	0.24	0.36	0.36	0.38	0.27	0.51	0.32	0.47	0.36	0.50	0.38
12.00 m.	0.24	0.21	0.33	0.32	0.35	0.25	0.46	0.29	0.45	0.33	0.44	0.33
13.00 m.	0.23	0.20	0.32	0.31	0.32	0.24	0.43	0.28	0.38	0.32	0.40	0.31
14.00 m.	0.23	0.21	0.34	0.31	0.29	0.25	0.43	0.29	0.36	0.32	0.41	0.31
15.00 m.	0.25	0.23	0.36	0.31	0.30	0.26	0.44	0.31	0.37	0.33	0.47	0.33
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.50	2.90	3.85	3.65	4.35	3.70	4.90	3.75	4.90	3.90	5.10	4.60
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	21.88	18.13	24.06	22.81	27.19	23.13	30.63	23.44	30.63	24.38	31.88	28.75
ดูภาคผนวก	ค.3		ค.9		ค.15		ค.4		ค.10		ค.16	



รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

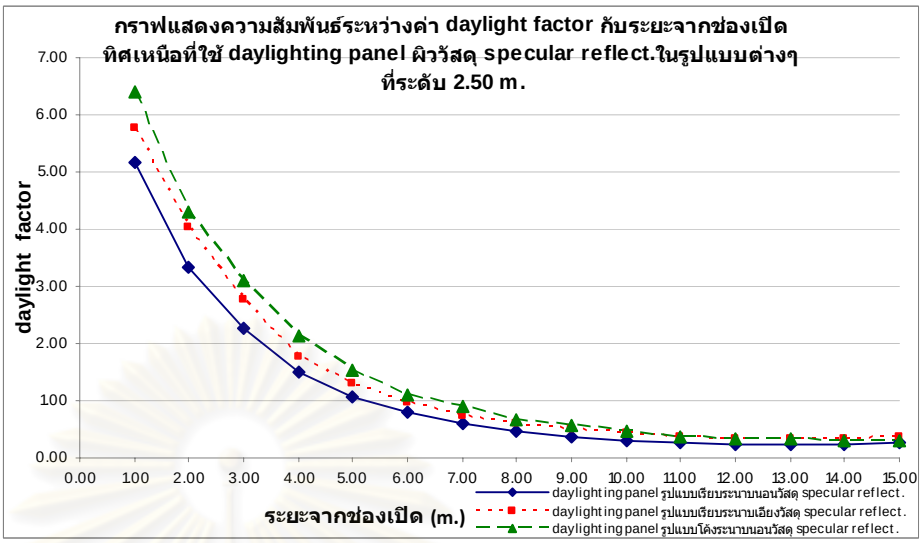
ภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.50 m.

แผนภูมิที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.50 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

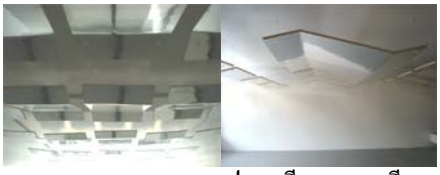
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

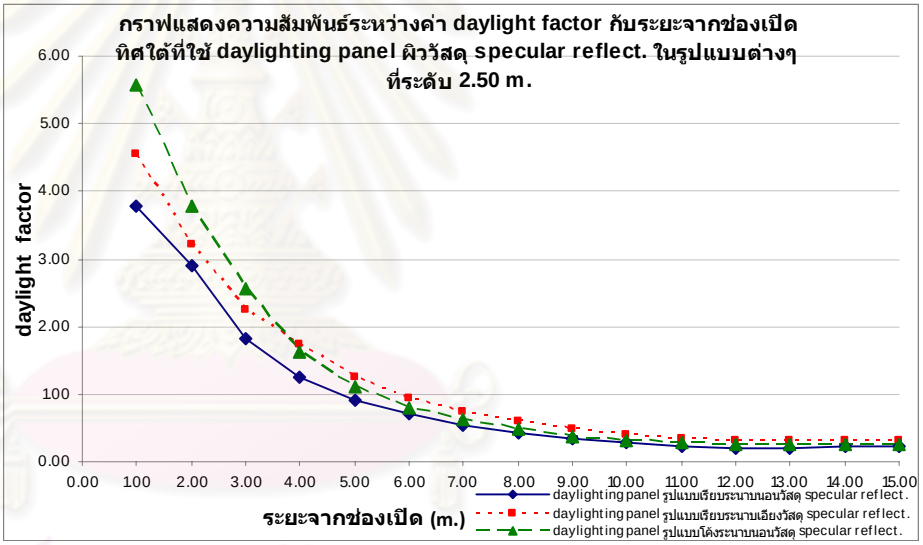


รูปแบบเรียบระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

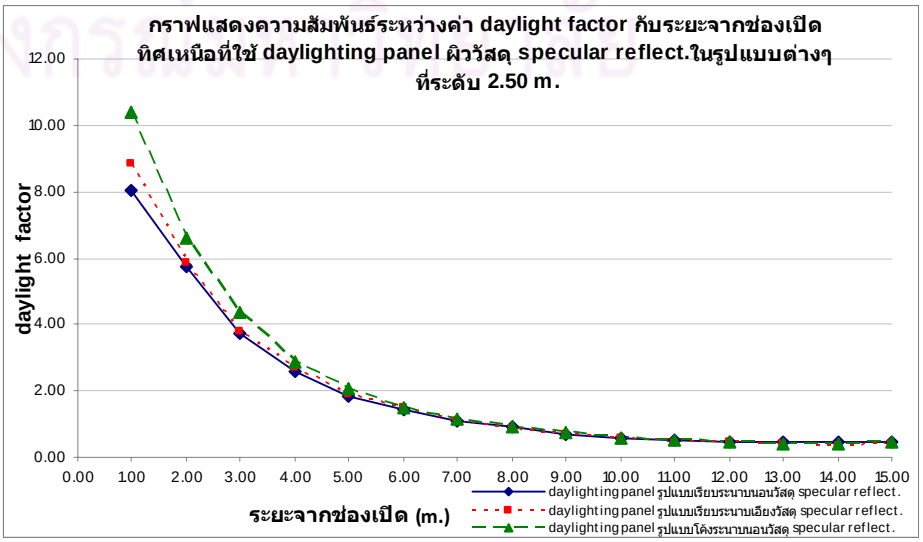


แผนภูมิที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.50 m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

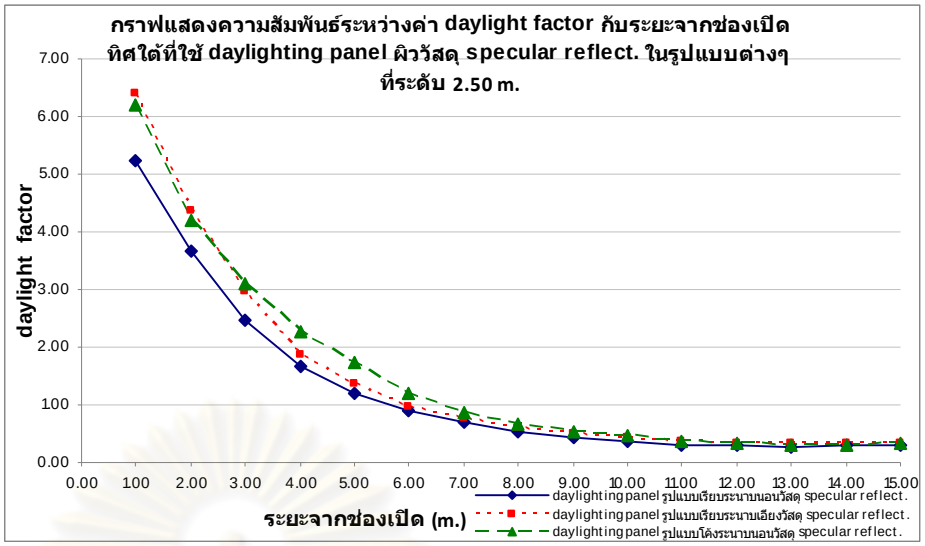
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



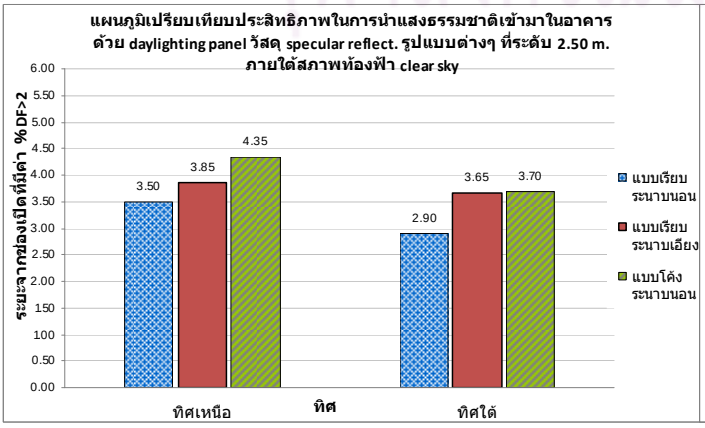
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.10 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 27.5% และทิศใต้ 4.60 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 41.54% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่4.4-4.5 และแผนภูมิที่ 4.6

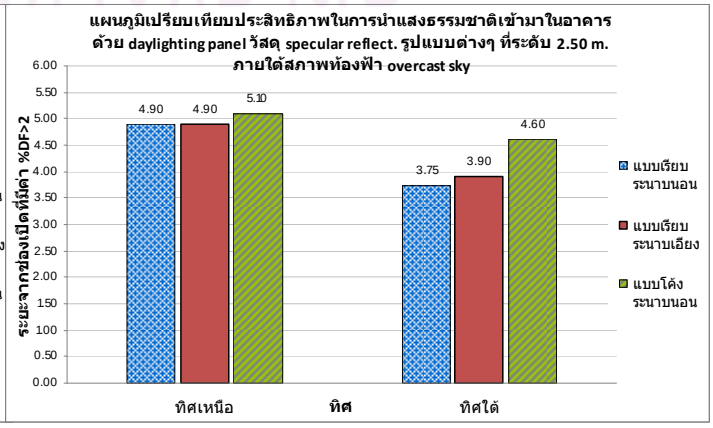
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

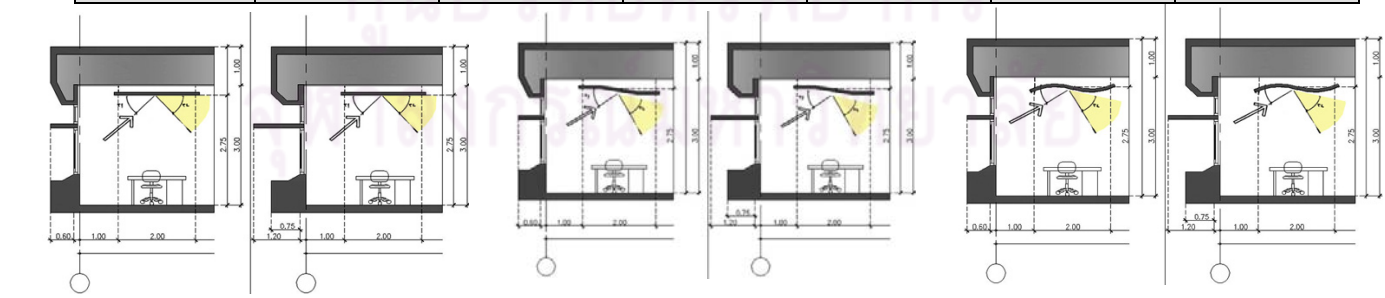
แผนภูมิที่ 4.6 **เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย** daylighting panels **วัสดุ** specular reflect. **รูปแบบต่าง ๆที่ระดับ** 2.50 m.





ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ที่ระดับ 2.75 เมตร

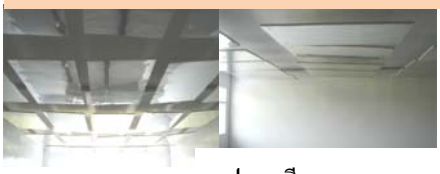
ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ระดับ 2.75 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	6.99	5.93	6.23	5.66	8.29	5.83	8.87	6.97	9.28	6.91	10.02	8.34
2.00 m.	4.66	4.11	4.39	4.00	5.35	3.99	5.79	4.07	6.28	4.53	6.70	5.22
3.00 m.	2.97	2.56	3.15	2.57	3.74	2.80	3.82	2.51	4.17	2.88	4.66	3.50
4.00 m.	1.90	1.61	2.17	1.68	2.28	1.96	2.63	1.66	2.89	2.01	3.26	2.41
5.00 m.	1.40	1.17	1.50	1.12	1.60	1.36	1.84	1.18	2.09	1.34	2.33	1.76
6.00 m.	1.06	0.89	1.11	0.83	1.17	1.07	1.38	0.90	1.52	1.03	1.73	1.18
7.00 m.	0.80	0.64	0.94	0.65	0.88	0.83	1.01	0.67	1.18	0.80	1.38	0.83
8.00 m.	0.63	0.49	0.74	0.49	0.70	0.64	0.82	0.52	0.92	0.60	1.03	0.63
9.00 m.	0.50	0.39	0.59	0.40	0.56	0.54	0.67	0.40	0.75	0.47	0.77	0.48
10.00 m.	0.42	0.32	0.48	0.34	0.47	0.46	0.55	0.32	0.62	0.37	0.64	0.39
11.00 m.	0.36	0.29	0.41	0.30	0.40	0.37	0.47	0.28	0.53	0.32	0.54	0.33
12.00 m.	0.32	0.26	0.35	0.26	0.35	0.34	0.41	0.25	0.47	0.27	0.49	0.29
13.00 m.	0.31	0.25	0.37	0.25	0.32	0.34	0.38	0.25	0.44	0.25	0.45	0.28
14.00 m.	0.31	0.25	0.32	0.24	0.33	0.33	0.41	0.25	0.44	0.26	0.42	0.28
15.00 m.	0.33	0.28	0.42	0.25	0.36	0.36	0.42	0.28	0.44	0.28	0.45	0.30
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.90	3.70	4.40	3.70	4.50	3.95	4.90	3.80	5.30	4.20	5.60	4.70
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	24.38	23.13	27.50	23.13	28.13	24.69	30.63	23.75	33.13	26.25	35.00	29.38
ดูภาคผนวก	ค.21		ค.27		ค.33		ค.22		ค.28		ค.34	



รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

ภาพที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.75 m.

แผนภูมิที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.75 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky



รูปแบบเรียบระนาบนอน

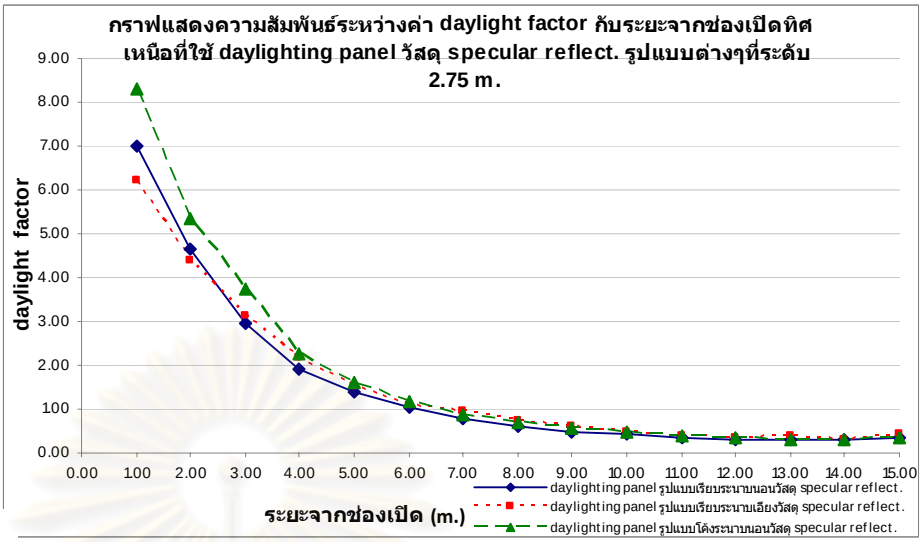
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

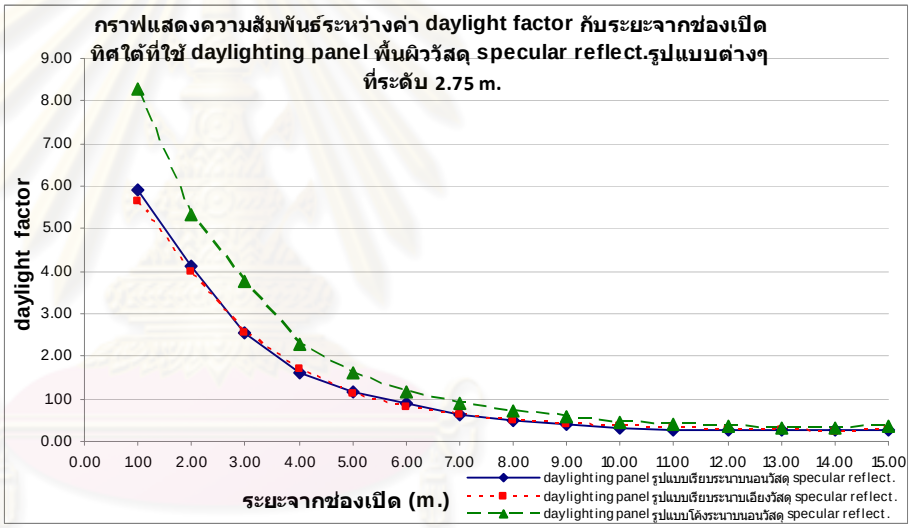
รูปแบบโค้งระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



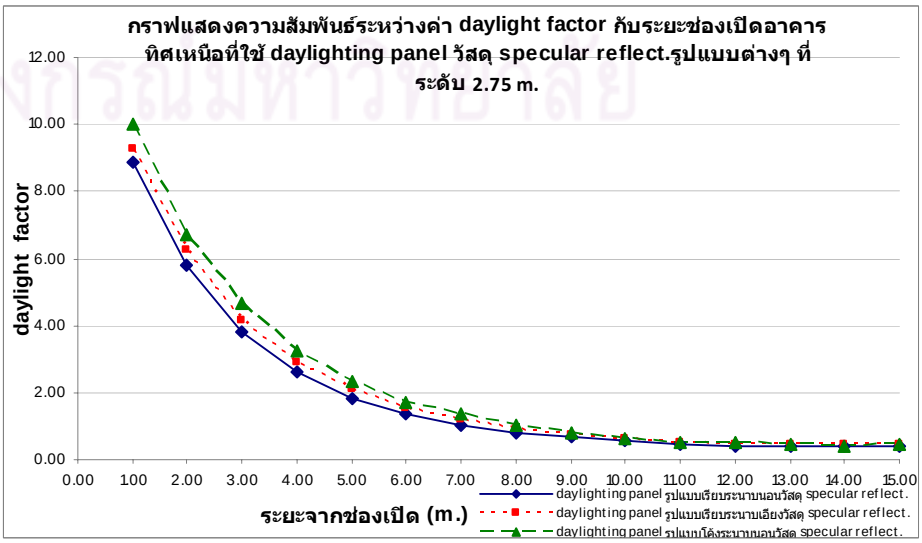


แผนภูมิที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 2.75 m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

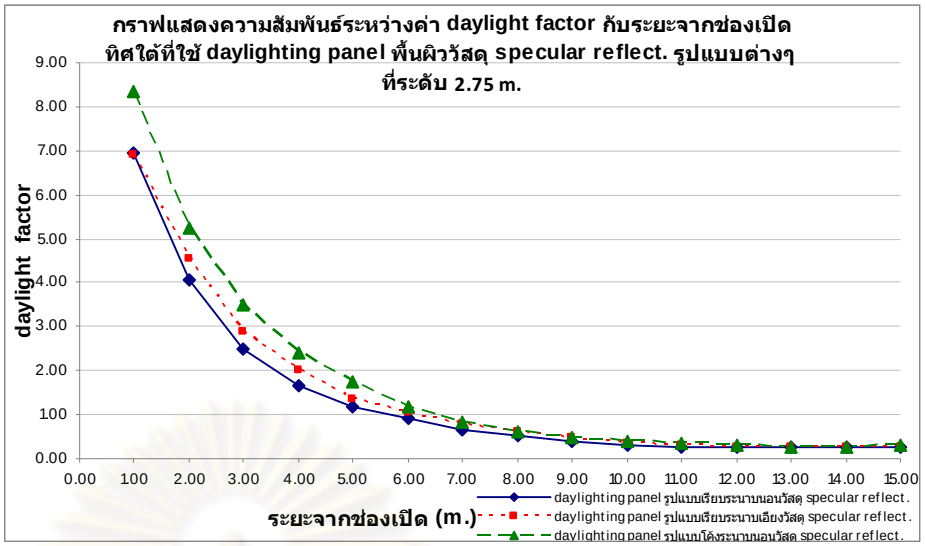
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



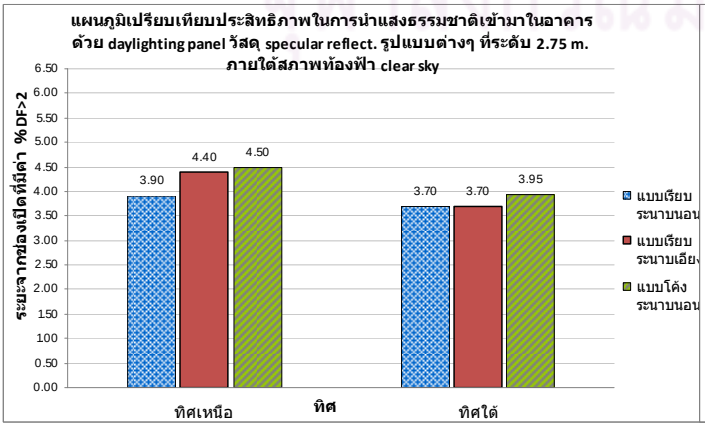
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.60เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 40.00% และทิศใต้ 4.70 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 44.62% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่4.7-4.8 และแผนภูมิที่ 4.9

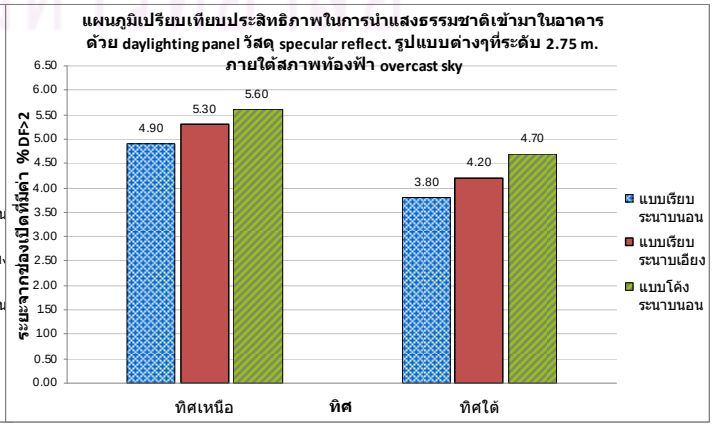
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

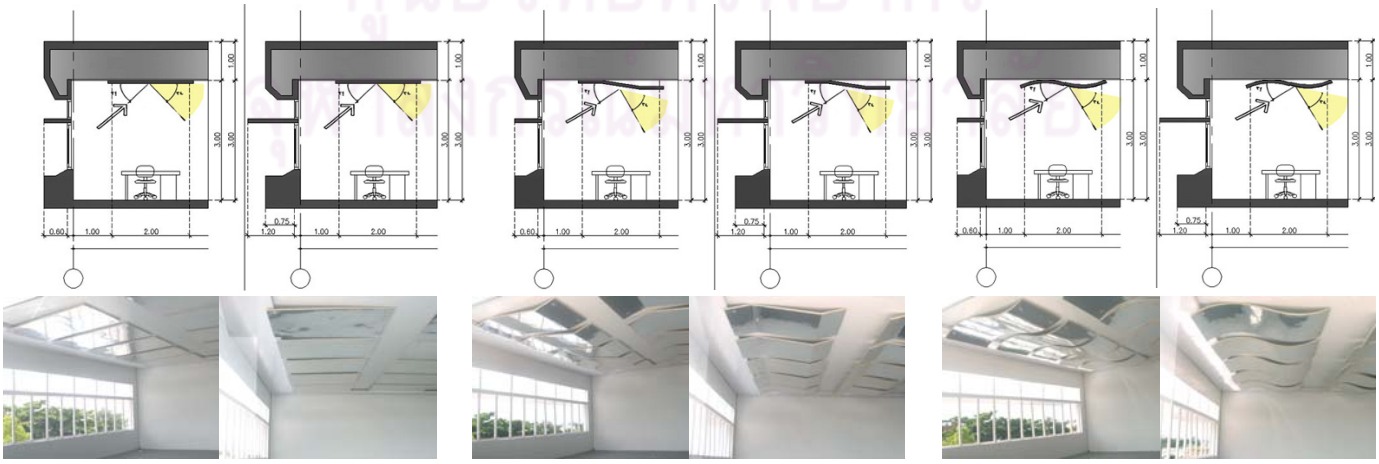
แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ specular reflect. รูปแบบต่าง ๆที่ระดับ 2.75 m.





ตารางที่ 4. 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ Interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ที่ระดับ 3.00 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ระดับ 3.00 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.52	3.78	5.35	4.28	5.61	5.72	9.02	5.97	9.32	5.95	8.47	5.79
2.00 m.	2.82	2.56	3.72	2.77	3.81	3.67	5.72	3.90	6.05	4.01	6.43	4.06
3.00 m.	1.95	1.79	2.46	1.76	2.76	2.43	3.70	2.55	3.95	2.64	4.28	2.95
4.00 m.	1.23	1.18	1.54	1.18	2.04	1.47	2.47	1.52	2.71	1.65	2.85	2.10
5.00 m.	0.85	0.87	0.98	0.81	1.45	0.97	1.66	1.07	1.89	1.15	1.98	1.51
6.00 m.	0.63	0.68	0.70	0.61	1.08	0.69	1.23	0.75	1.39	0.85	1.47	1.11
7.00 m.	0.48	0.54	0.54	0.47	0.87	0.53	0.94	0.59	1.02	0.64	1.16	0.85
8.00 m.	0.36	0.43	0.43	0.38	0.74	0.39	0.73	0.44	0.86	0.48	0.92	0.67
9.00 m.	0.28	0.35	0.32	0.30	0.60	0.28	0.58	0.34	0.66	0.38	0.75	0.55
10.00 m.	0.24	0.30	0.26	0.25	0.50	0.22	0.47	0.28	0.50	0.32	0.63	0.46
11.00 m.	0.20	0.26	0.22	0.23	0.41	0.18	0.40	0.25	0.47	0.27	0.54	0.40
12.00 m.	0.18	0.24	0.19	0.21	0.38	0.15	0.36	0.22	0.41	0.24	0.47	0.35
13.00 m.	0.18	0.24	0.18	0.21	0.37	0.14	0.33	0.21	0.38	0.22	0.44	0.33
14.00 m.	0.19	0.24	0.19	0.22	0.35	0.15	0.33	0.22	0.38	0.24	0.44	0.34
15.00 m.	0.20	0.26	0.20	0.26	0.34	0.16	0.35	0.27	0.39	0.26	0.45	0.35
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	2.95	2.80	3.50	2.80	4.15	3.60	4.70	3.70	4.90	3.75	4.95	4.20
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	18.44	17.50	21.88	17.50	25.94	22.50	29.38	23.13	30.63	23.44	30.94	26.25
ดูภาคผนวก	ค.39		ค.45		ค.51		ค.40		ค.46		ค.52	

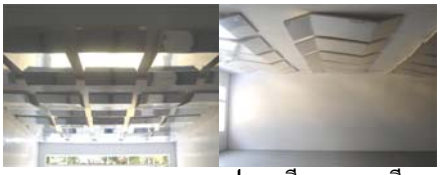


รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

ภาพที่ 4.5 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ** daylighting panels **วัสดุ** specular reflect.**ที่ระดับ** 3.00 m.

แผนภูมิที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 3.00 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน



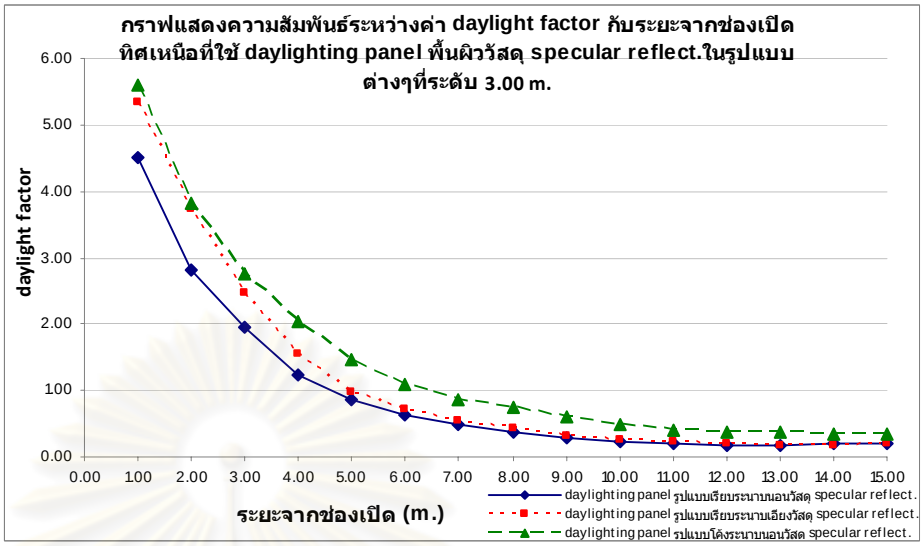
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

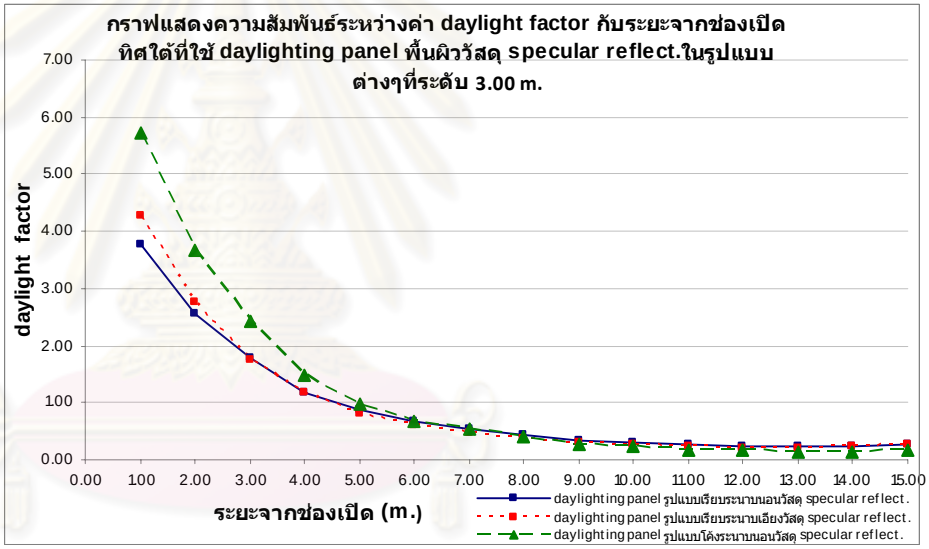
รูปแบบโค้งระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



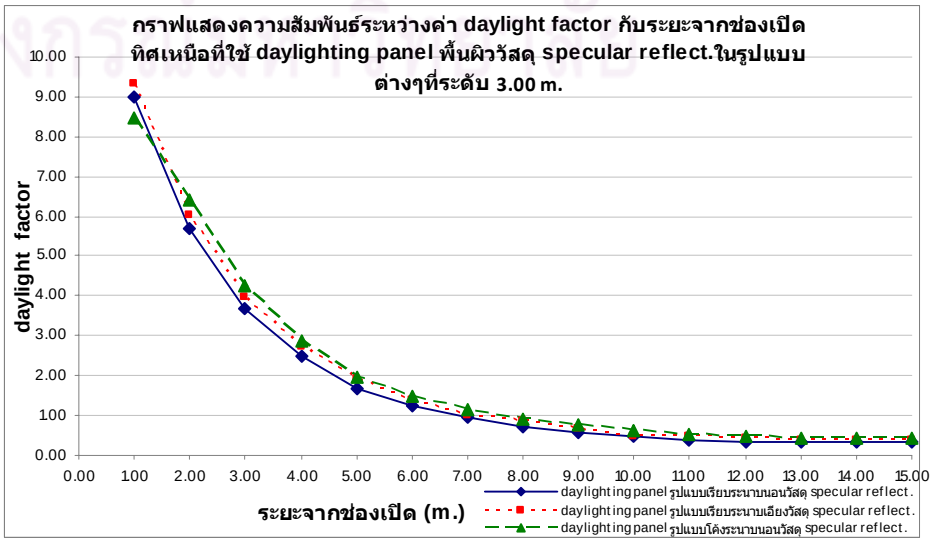


แผนภูมิที่ 4.11 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ specular reflect.ที่ระดับ 3.00 m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

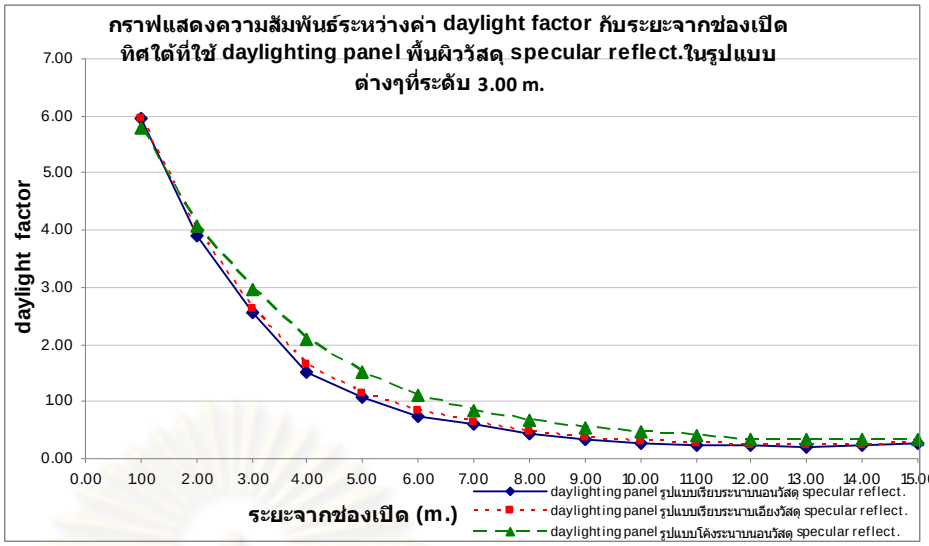
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



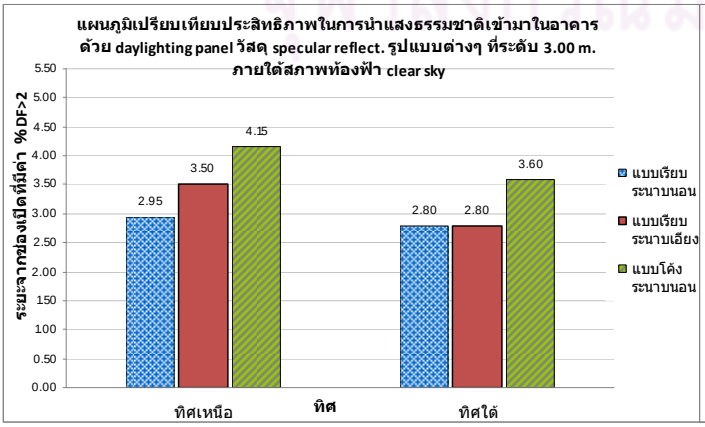
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ specular reflect. ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.95 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 23.75% และทิศใต้ 4.20 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 29.23% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.10-4.11 และแผนภูมิที่ 4.12

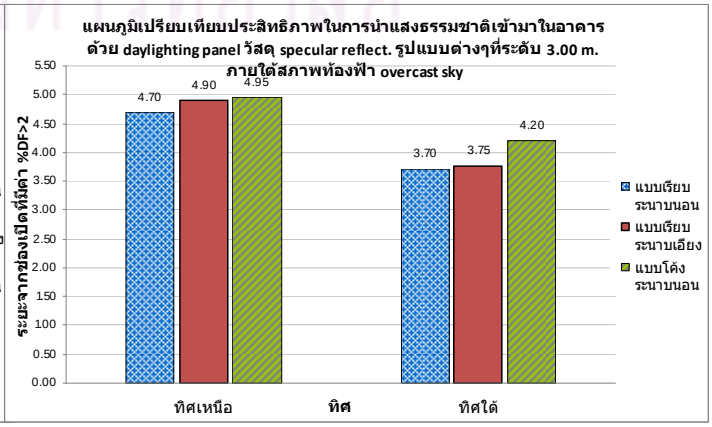
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

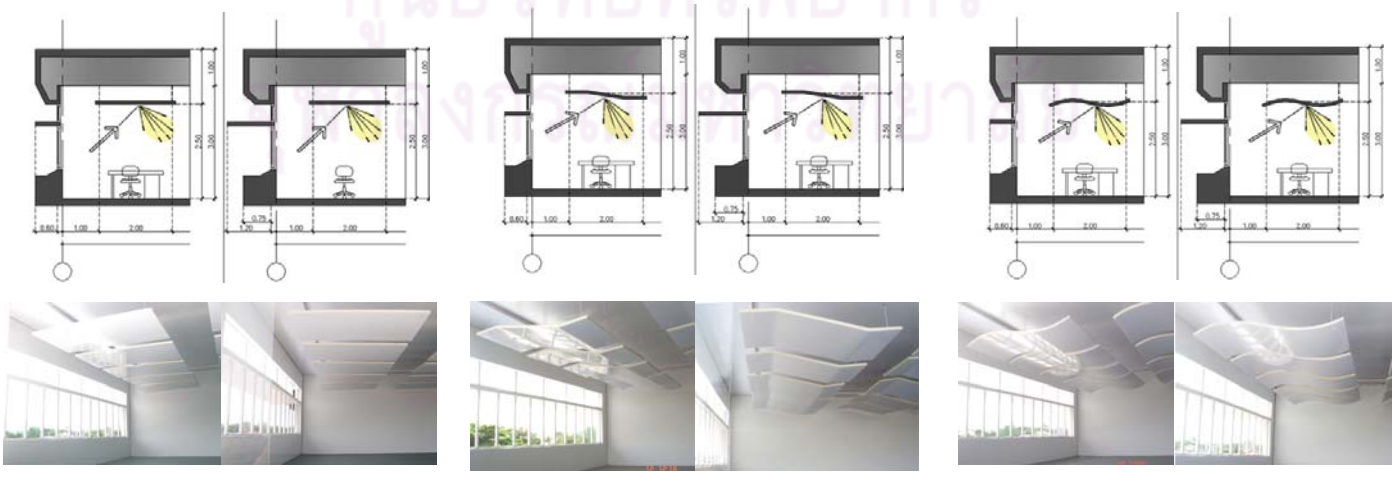
แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ specular reflect. รูปแบบต่าง ๆที่ระดับ 3.00 m.





ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ Interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ที่ระดับ 2.50 เมตร

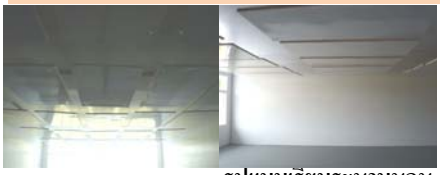
ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ระดับ 2.50 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.34	3.70	5.31	4.91	5.31	4.64	7.12	4.69	7.92	5.71	7.64	5.72
2.00 m.	3.05	2.62	3.50	3.60	3.66	3.17	4.93	3.34	5.41	4.03	5.12	4.11
3.00 m.	2.29	1.97	2.44	2.63	2.66	2.42	3.65	2.45	3.67	2.76	3.72	3.12
4.00 m.	1.82	1.40	1.79	1.73	2.02	1.85	2.68	1.84	2.86	1.93	2.85	2.38
5.00 m.	1.36	1.08	1.37	1.13	1.59	1.47	1.94	1.35	2.12	1.52	2.25	1.87
6.00 m.	1.02	0.81	1.05	0.84	1.24	1.12	1.61	1.01	1.59	1.10	1.70	1.38
7.00 m.	0.79	0.61	0.80	0.68	1.03	0.87	1.23	0.73	1.17	0.82	1.28	1.01
8.00 m.	0.65	0.47	0.60	0.47	0.82	0.66	0.97	0.57	0.95	0.60	1.02	0.79
9.00 m.	0.51	0.38	0.50	0.39	0.65	0.56	0.82	0.48	0.75	0.44	0.85	0.58
10.00 m.	0.38	0.32	0.38	0.32	0.52	0.48	0.70	0.41	0.60	0.38	0.68	0.51
11.00 m.	0.32	0.28	0.29	0.26	0.42	0.42	0.58	0.36	0.53	0.27	0.61	0.40
12.00 m.	0.29	0.24	0.27	0.25	0.36	0.39	0.53	0.34	0.46	0.24	0.53	0.36
13.00 m.	0.29	0.23	0.26	0.22	0.34	0.38	0.51	0.34	0.44	0.23	0.48	0.35
14.00 m.	0.29	0.23	0.27	0.22	0.36	0.38	0.50	0.33	0.42	0.24	0.47	0.35
15.00 m.	0.29	0.24	0.30	0.21	0.36	0.39	0.53	0.39	0.46	0.28	0.46	0.31
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.70	2.95	3.85	3.80	4.35	3.80	4.90	3.80	5.30	3.95	5.55	4.85
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	23.13	18.44	24.06	23.75	27.19	23.75	30.63	23.75	33.13	24.69	34.69	30.31
ดูภาคผนวก	ค.5		ค.11		ค.17		ค.6		ค.12		ค.18	



รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panels วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 2.50 m.

แผนภูมิที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 2.50 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky



รูปแบบเรียบระนาบนอน

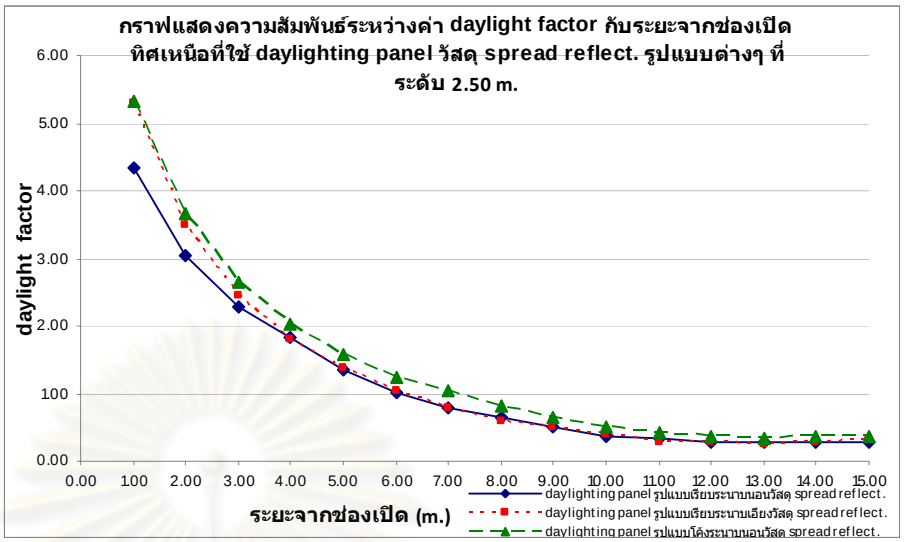
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

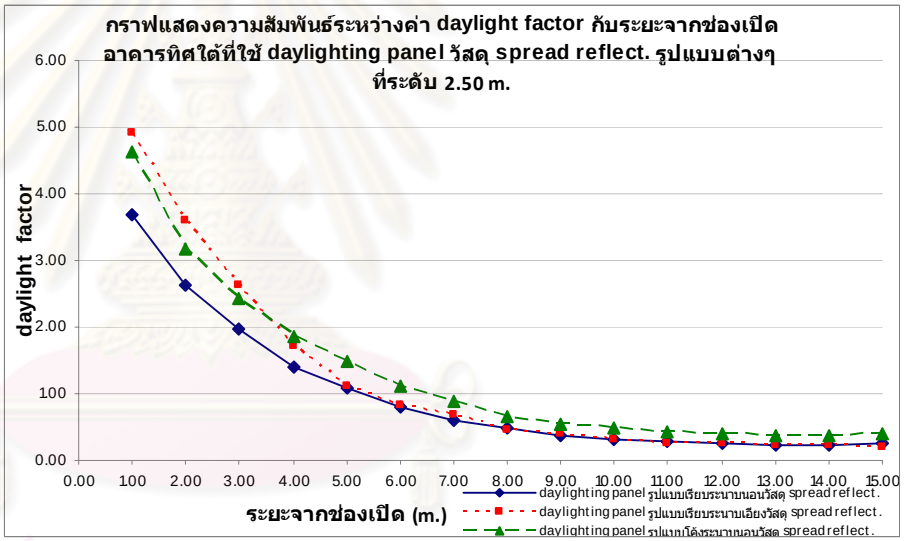
รูปแบบโค้งระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รปแบบโค้งระนาบนอน

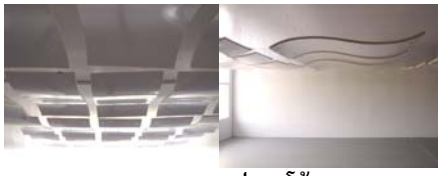




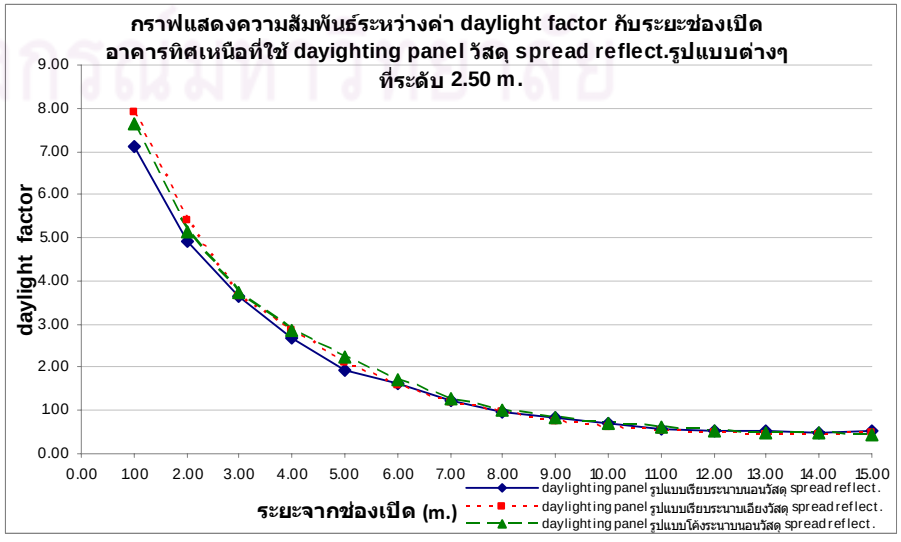
แผนภูมิที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุspread reflect.ที่ระดับ 2.50 m.ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง



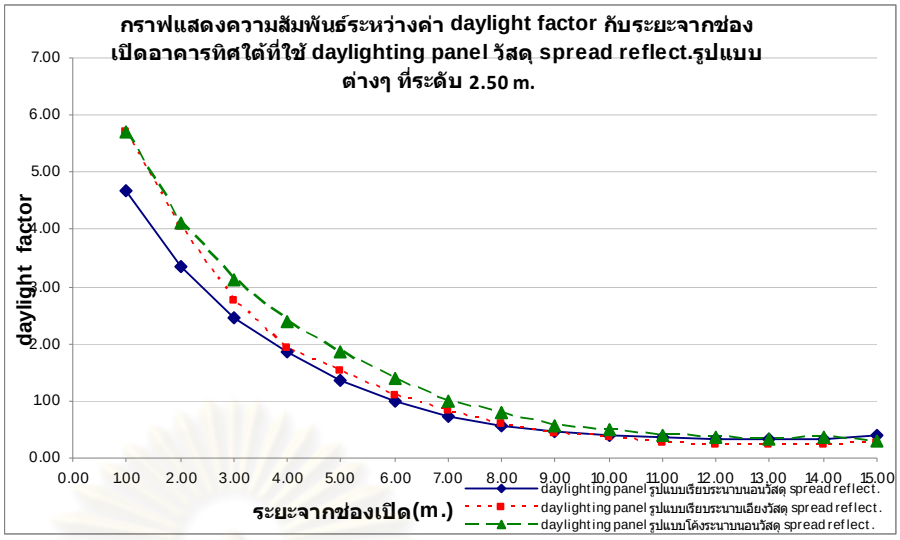
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



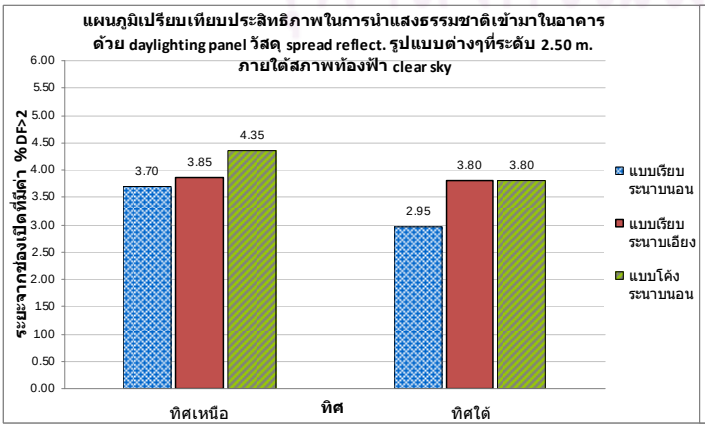
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.55 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 38.75 % และทิศใต้ 4.85 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 49.23 % ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.13-4.14 และแผนภูมิที่ 4.15

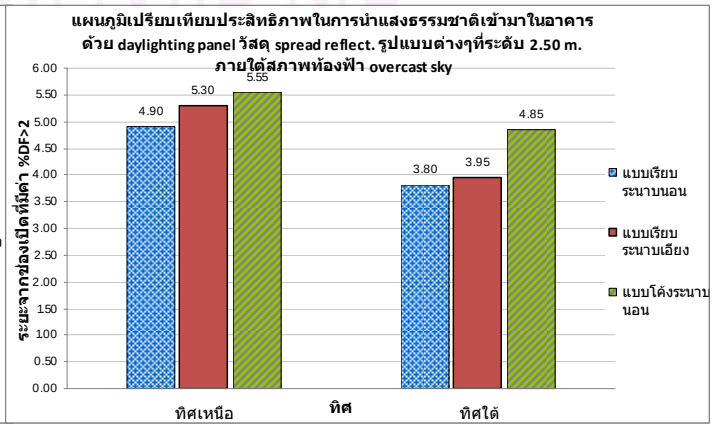
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

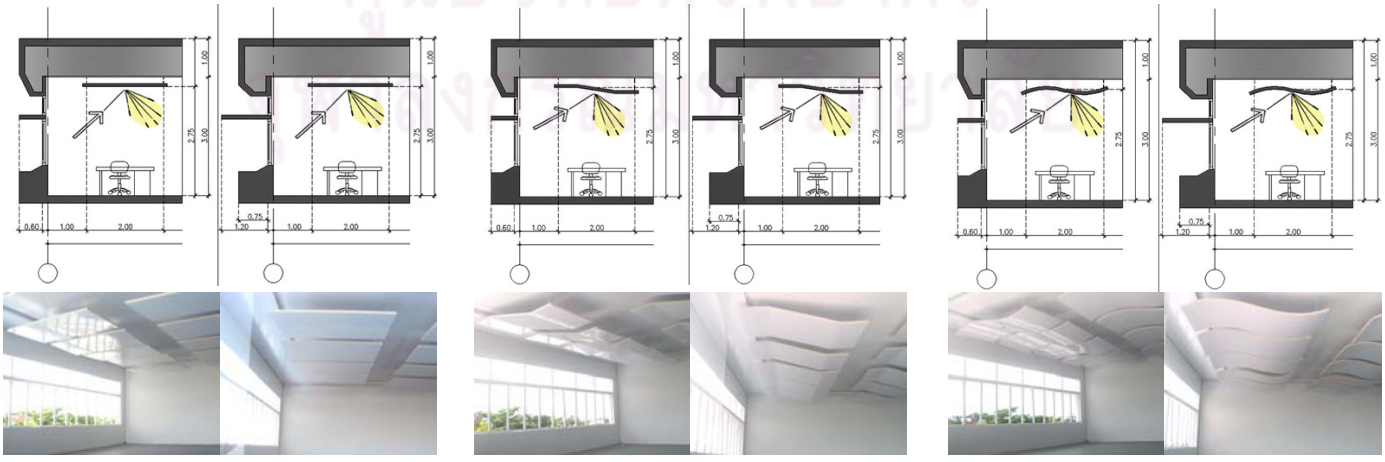
แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ spread reflect. รูปแบบต่าง ๆที่ระดับ 2.50 m.





ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ที่ระดับ 2.75 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ระดับ 2.75เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.48	5.02	6.02	5.41	8.10	4.95	8.55	5.84	8.74	6.51	9.01	7.08
2.00 m.	3.85	3.54	4.15	3.72	5.21	3.67	5.75	3.98	5.94	4.29	6.41	4.98
3.00 m.	2.62	2.47	3.25	2.65	4.00	2.78	4.06	2.84	3.98	3.08	4.43	3.65
4.00 m.	1.95	1.76	2.43	1.83	2.63	2.10	2.93	2.02	2.96	2.16	3.41	2.66
5.00 m.	1.50	1.31	1.69	1.26	1.81	1.52	2.02	1.43	2.31	1.50	2.53	2.03
6.00 m.	1.10	1.00	1.18	0.94	1.46	1.14	1.46	1.06	1.66	1.03	1.82	1.42
7.00 m.	0.78	0.70	0.95	0.73	1.12	0.90	1.11	0.75	1.22	0.80	1.39	1.02
8.00 m.	0.60	0.56	0.69	0.57	0.88	0.71	0.90	0.60	0.89	0.61	1.09	0.74
9.00 m.	0.45	0.44	0.56	0.46	0.70	0.59	0.75	0.47	0.70	0.44	0.91	0.54
10.00 m.	0.36	0.39	0.46	0.38	0.70	0.52	0.62	0.39	0.60	0.35	0.74	0.45
11.00 m.	0.31	0.33	0.38	0.33	0.49	0.46	0.54	0.33	0.51	0.28	0.63	0.40
12.00 m.	0.28	0.28	0.36	0.29	0.44	0.41	0.48	0.29	0.46	0.26	0.55	0.33
13.00 m.	0.26	0.27	0.33	0.29	0.40	0.40	0.45	0.27	0.43	0.22	0.50	0.30
c14.00 m.	0.26	0.27	0.33	0.30	0.38	0.40	0.45	0.27	0.42	0.22	0.47	0.28
15.00 m.	0.29	0.28	0.37	0.31	0.41	0.39	0.47	0.29	0.42	0.24	0.49	0.29
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.95	3.80	4.60	3.80	4.70	4.20	5.00	4.10	5.50	4.40	5.70	5.00
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	24.69	23.75	28.75	23.75	29.38	26.25	31.25	25.63	34.38	27.50	35.63	31.25
ดูภาคผนวก	ค.23		ค.29		ค.35		ค.24		ค.30		ค.36	



รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

ภาพที่ 4.7 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ** daylighting panels **วัสดุ** spread reflect.**ที่ระดับ** 2.75 m.

แผนภูมิที่ 4.16 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 2.75 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

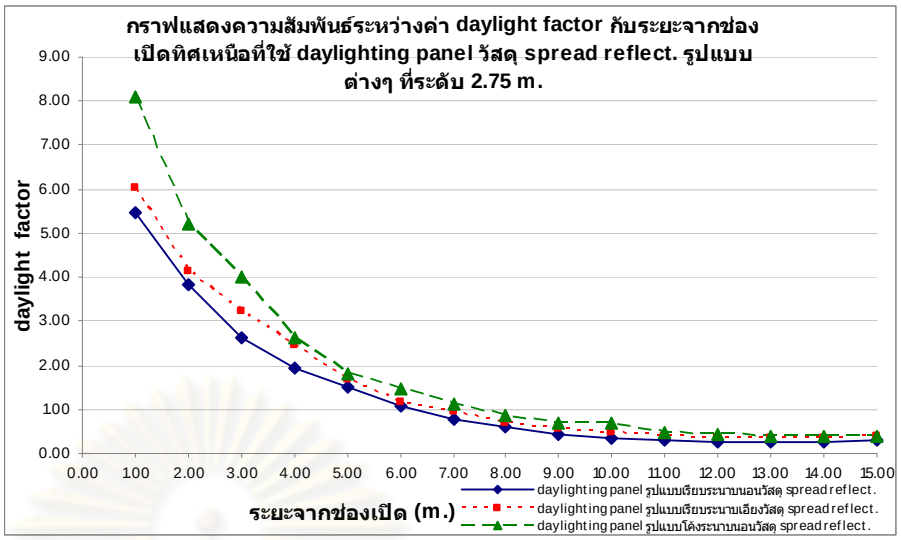
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

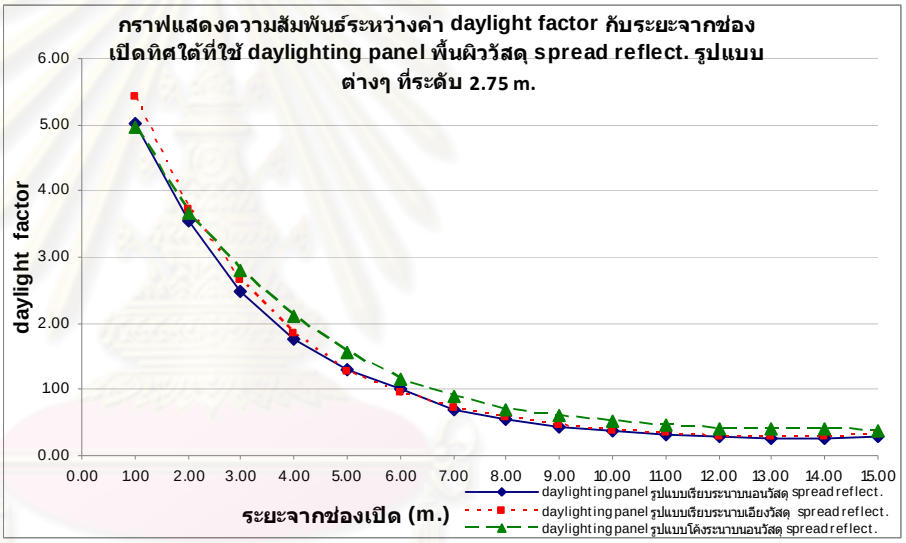
รูปแบบโค้งระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

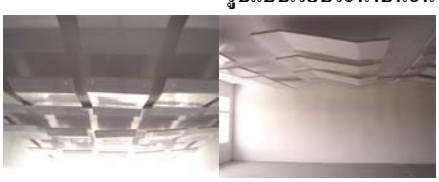
รูปแบบโค้งระนาบนอน





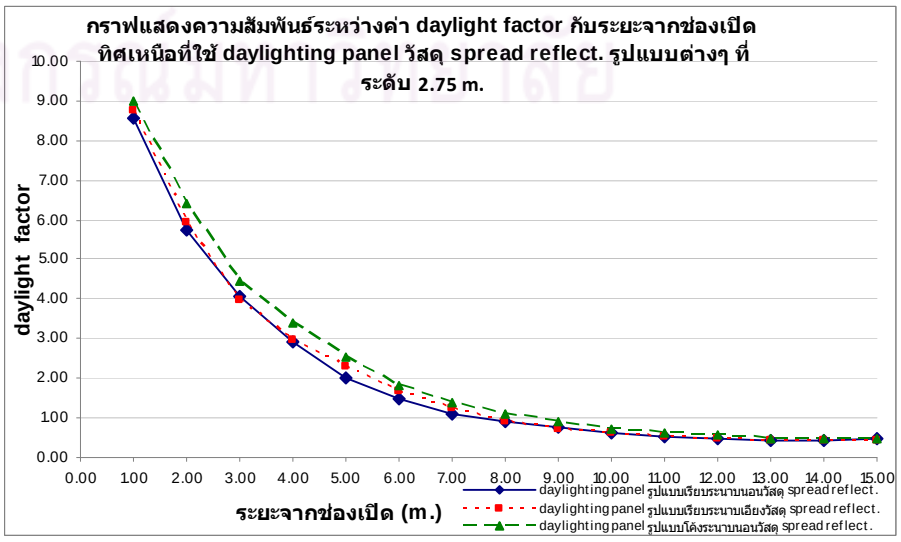
แผนภูมิที่ 4.17 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 2.75 m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบเอียง

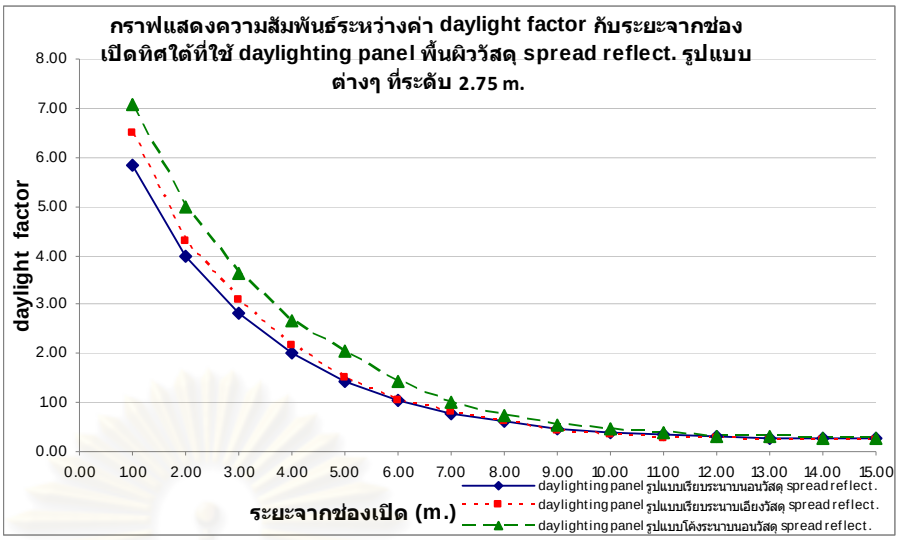
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



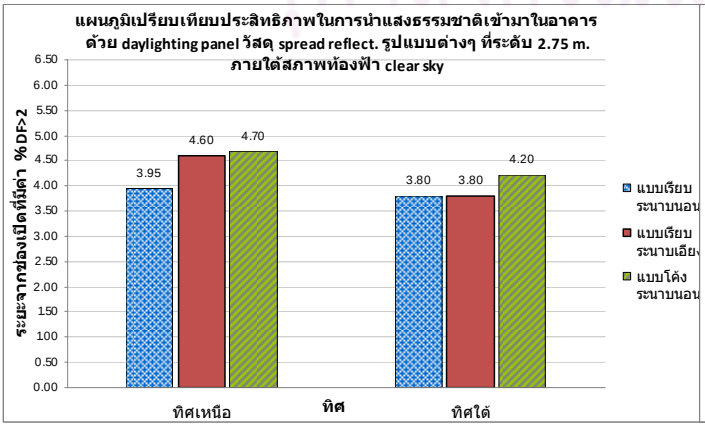
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.70 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 42.50 % และทิศใต้ 5.00 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 53.85% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.16-4.17 และแผนภูมิที่ 4.18

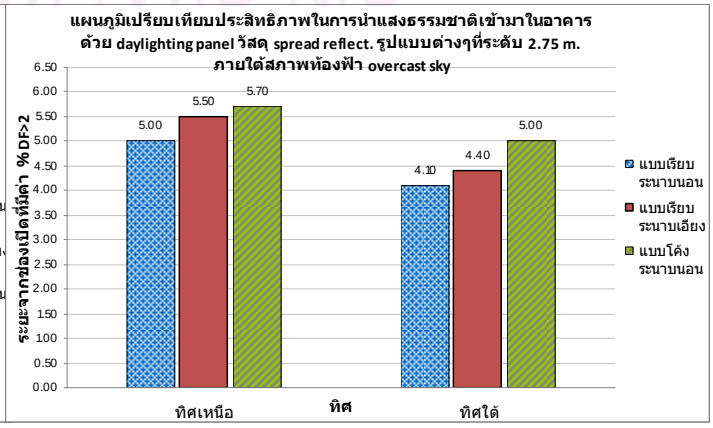
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

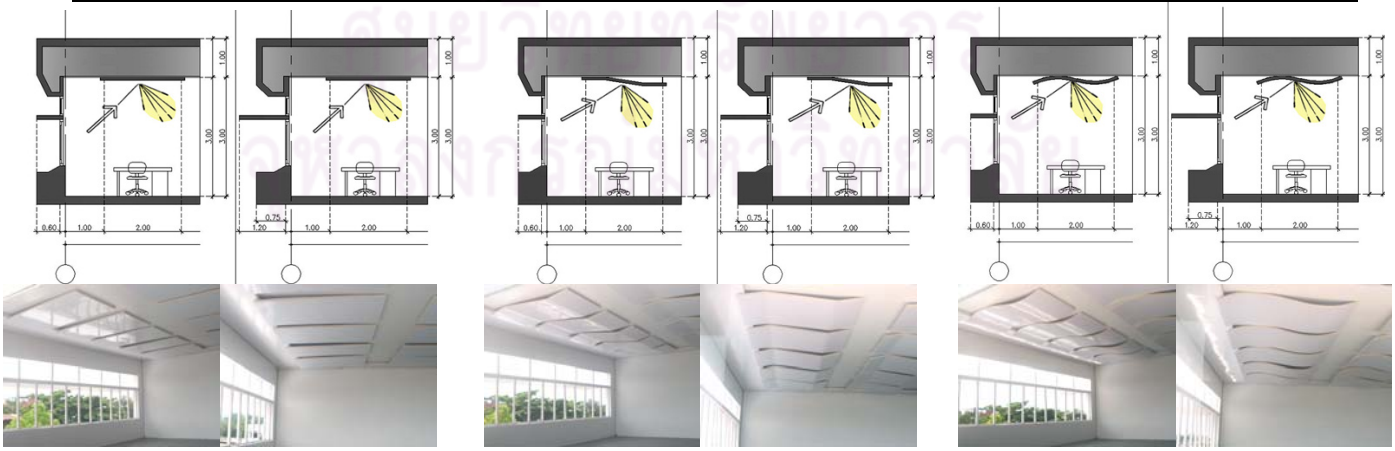
แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ spread reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 m.





ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ Interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ที่ระดับ 3.00 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ระดับ 3.00 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.11	3.65	5.03	3.57	4.77	5.06	8.36	5.65	8.08	5.36	9.65	5.24
2.00 m.	2.58	2.39	3.49	2.60	3.45	3.43	5.45	3.68	5.55	3.59	5.80	3.90
3.00 m.	1.96	1.84	2.48	2.02	2.57	2.53	3.80	2.57	3.83	2.54	4.07	2.82
4.00 m.	1.47	1.33	1.65	1.38	2.10	1.69	2.71	1.68	2.81	1.86	3.15	2.22
5.00 m.	1.04	1.04	1.12	0.95	1.50	1.19	1.81	1.22	1.96	1.29	2.33	1.74
6.00 m.	0.76	0.81	0.84	0.73	1.12	0.88	1.45	0.87	1.59	0.90	1.63	1.28
7.00 m.	0.54	0.64	0.66	0.58	0.96	0.72	0.99	0.69	1.23	0.70	1.23	0.96
8.00 m.	0.43	0.51	0.48	0.43	0.76	0.55	0.79	0.51	0.91	0.57	0.95	0.73
9.00 m.	0.34	0.43	0.39	0.34	0.58	0.44	0.60	0.37	0.70	0.46	0.78	0.57
10.00 m.	0.38	0.38	0.31	0.30	0.49	0.37	0.51	0.30	0.53	0.39	0.60	0.47
11.00 m.	0.25	0.33	0.25	0.26	0.39	0.30	0.37	0.27	0.44	0.34	0.47	0.41
12.00 m.	0.21	0.30	0.23	0.22	0.36	0.29	0.33	0.24	0.40	0.31	0.41	0.38
13.00 m.	0.20	0.30	0.21	0.22	0.34	0.27	0.28	0.24	0.36	0.31	0.38	0.36
14.00 m.	0.20	0.31	0.20	0.22	0.34	0.26	0.28	0.25	0.33	0.32	0.38	0.35
15.00 m.	0.21	0.32	0.22	0.22	0.29	0.27	0.32	0.27	0.34	0.37	0.42	0.33
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	2.95	2.80	3.60	3.10	4.20	3.70	4.80	3.80	4.90	3.90	5.50	4.45
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	18.44	17.50	22.50	19.38	26.25	23.13	30.00	23.75	30.63	24.38	34.38	27.81
ดูภาคผนวก	ค.41		ค.47		ค.53		ค.42		ค.48		ค.54	



รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

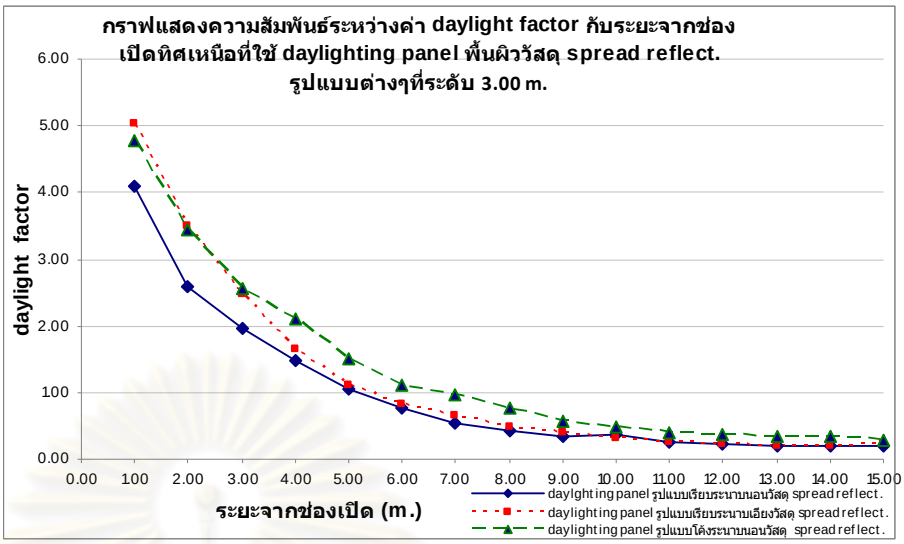
ภาพที่ 4.8 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ** daylighting panels **วัสดุ** spread reflect.**ที่ระดับ** 3.00 m.

แผนภูมิที่ 4.19 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 3.00 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

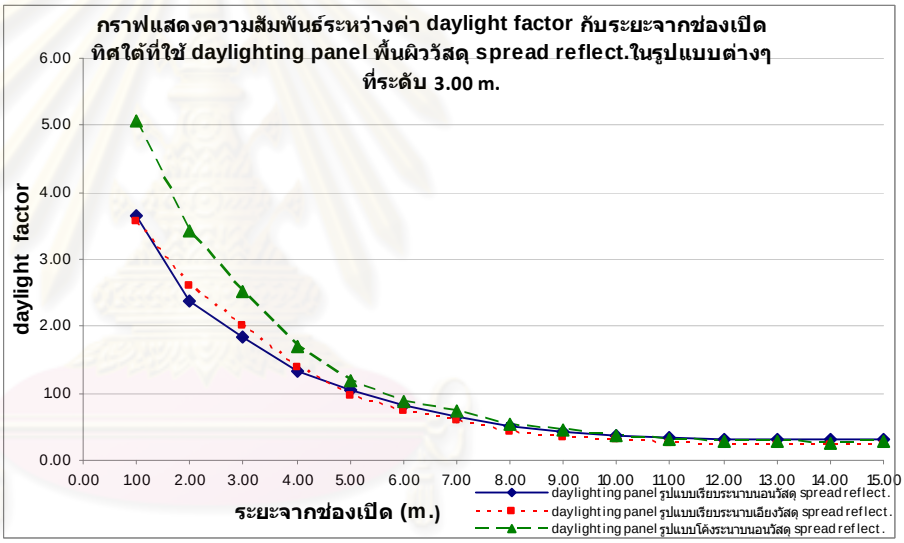
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

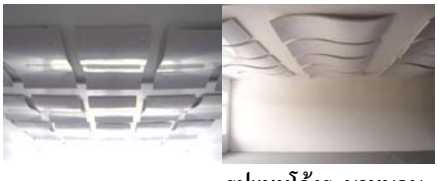
รูปแบบโค้งระนาบนอน



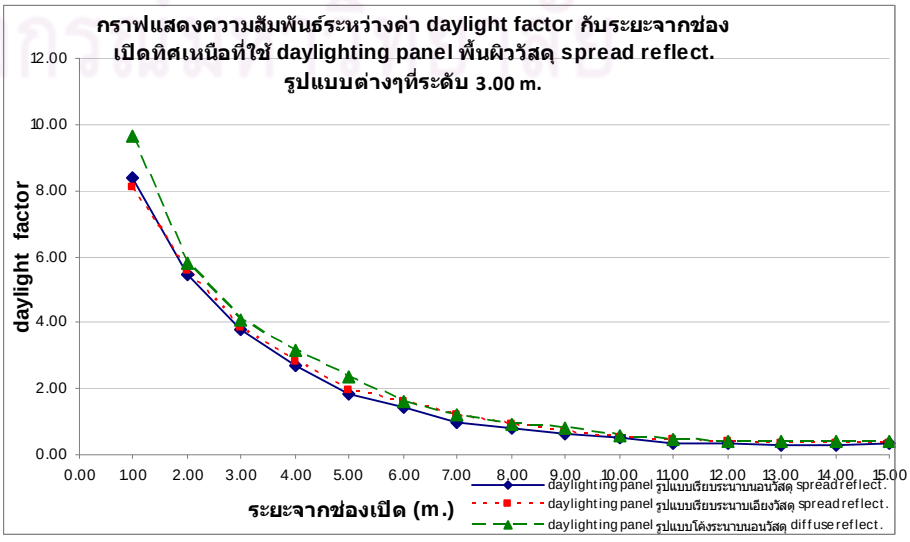
แผนภูมิที่ 4.20 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ spread reflect.ที่ระดับ 3.00 m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง



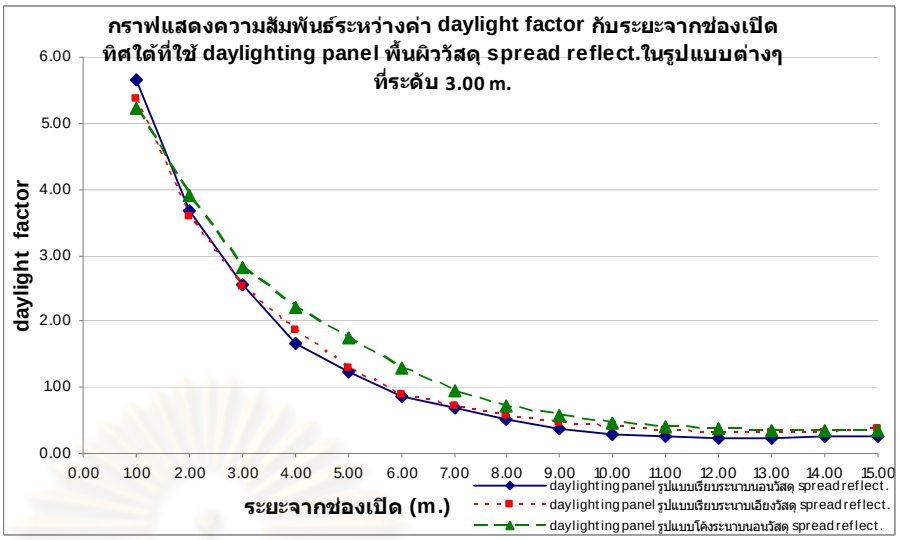
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



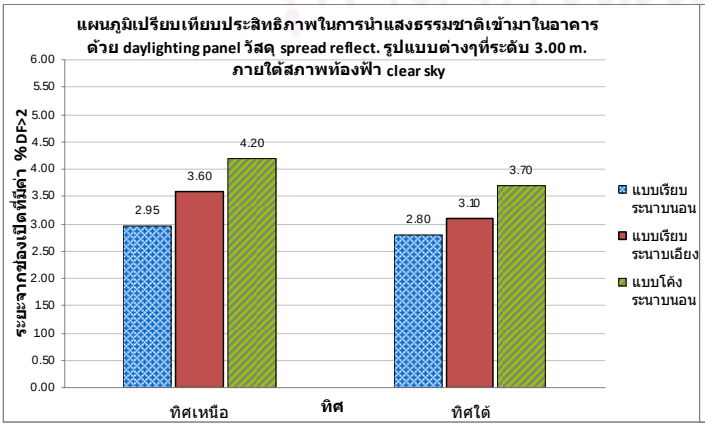
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ spread reflect. ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.50 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 37.50% และทิศใต้ 4.45 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 36.92% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.19-4.20 และแผนภูมิที่ 4.21

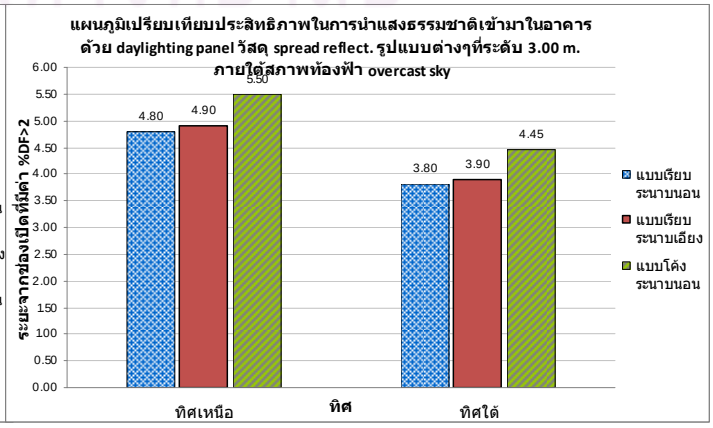
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

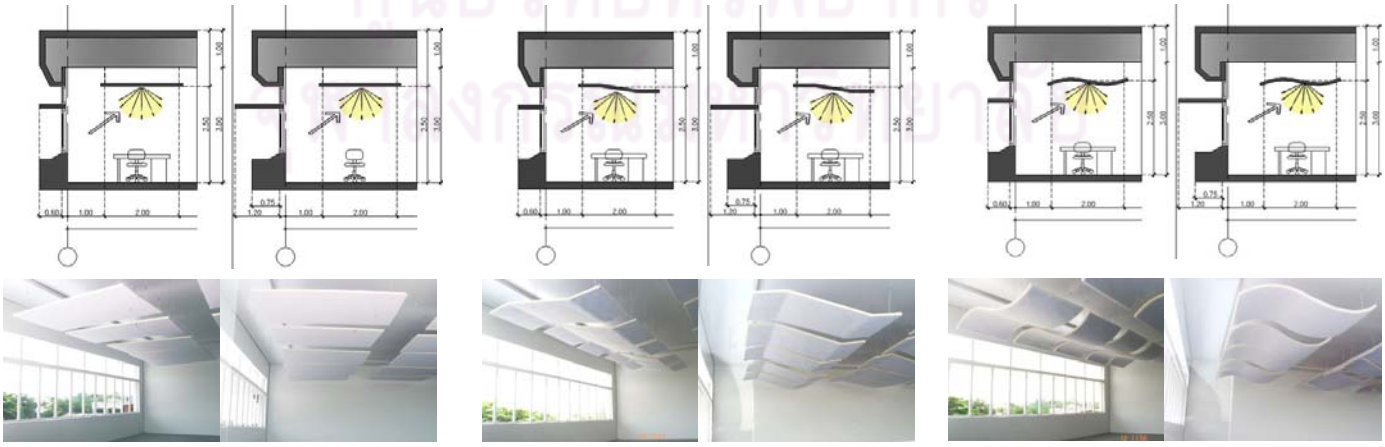
แผนภูมิที่ 4.21 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ spread reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 m.





ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ที่ระดับ 2.50 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ระดับ 2.50 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.23	3.45	4.78	4.03	5.37	3.92	6.75	5.53	7.39	5.35	9.05	5.34
2.00 m.	2.58	2.42	3.18	2.69	3.61	2.71	4.48	3.56	4.99	3.71	5.09	3.57
3.00 m.	1.90	1.64	2.18	1.86	2.27	2.02	3.07	2.30	3.39	2.45	3.68	2.57
4.00 m.	1.39	1.13	1.38	1.27	1.40	1.47	2.13	1.46	2.38	1.52	2.48	1.91
5.00 m.	0.96	0.86	0.94	0.93	0.96	1.00	1.53	1.01	1.80	1.05	1.81	1.36
6.00 m.	0.70	0.63	0.69	0.70	0.71	0.77	1.09	0.74	1.36	0.78	1.27	0.94
7.00 m.	0.55	0.51	0.51	0.54	0.53	0.55	0.87	0.54	1.06	0.59	1.08	0.66
8.00 m.	0.42	0.42	0.39	0.43	0.41	0.49	0.67	0.40	0.85	0.47	0.76	0.50
9.00 m.	0.33	0.32	0.31	0.33	0.32	0.43	0.52	0.32	0.68	0.37	0.60	0.41
10.00 m.	0.27	0.26	0.25	0.28	0.28	0.36	0.43	0.26	0.57	0.31	0.49	0.34
11.00 m.	0.24	0.24	0.22	0.23	0.23	0.31	0.37	0.22	0.48	0.27	0.41	0.29
12.00 m.	0.21	0.19	0.20	0.20	0.21	0.30	0.30	0.20	0.41	0.24	0.36	0.26
13.00 m.	0.20	0.19	0.19	0.20	0.20	0.28	0.29	0.19	0.39	0.23	0.32	0.26
14.00 m.	0.20	0.20	0.19	0.21	0.21	0.28	0.29	0.20	0.39	0.24	0.33	0.25
15.00 m.	0.22	0.21	0.21	0.23	0.23	0.29	0.32	0.24	0.43	0.27	0.38	0.29
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	2.90	2.80	3.40	2.90	3.50	3.05	4.30	3.50	4.70	3.60	4.80	3.90
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	18.13	17.50	21.25	18.13	21.88	19.06	26.88	21.88	29.38	22.50	30.00	24.38
ดูภาคผนวก	ค.7		ค.13		ค.19		ค.8		ค.14		ค.20	



รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

ภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ daylighting panels วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 2.50 m.

แผนภูมิที่ 4.22 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 2.50 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

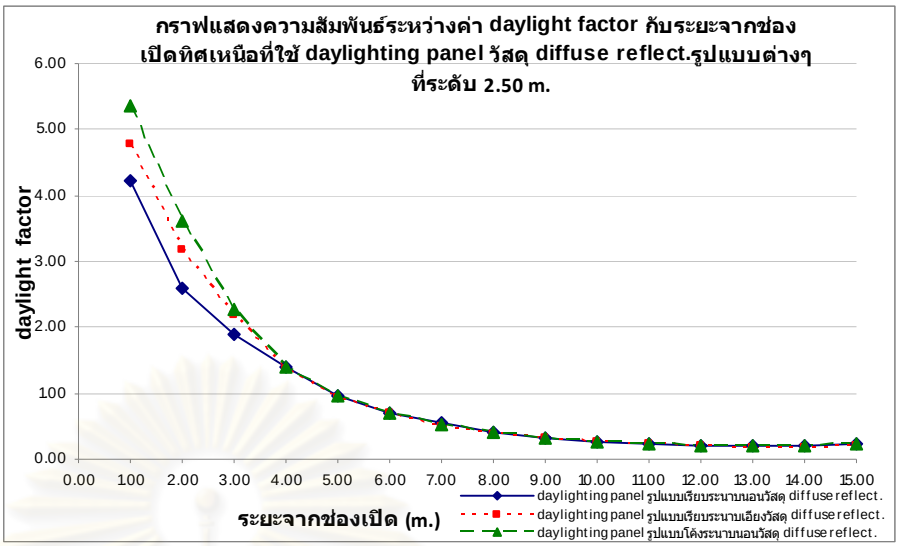
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

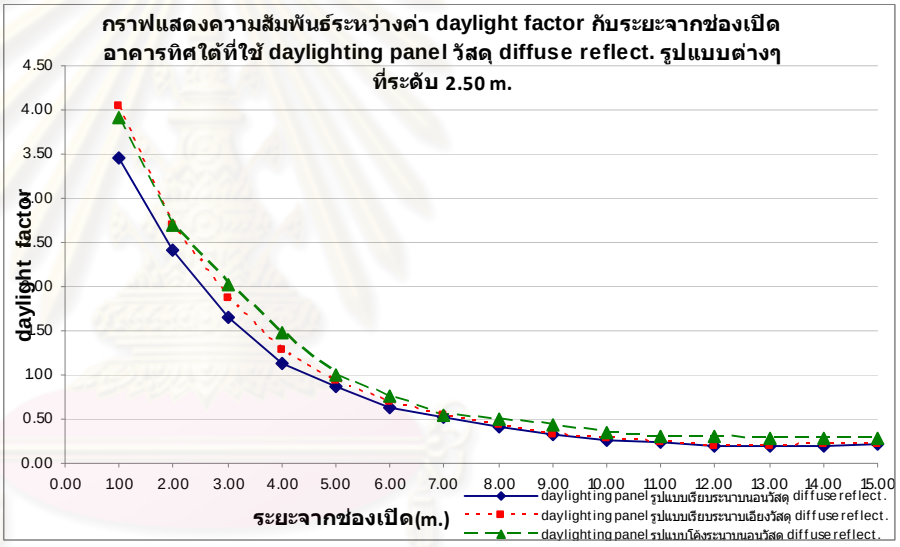
รูปแบบโค้งระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



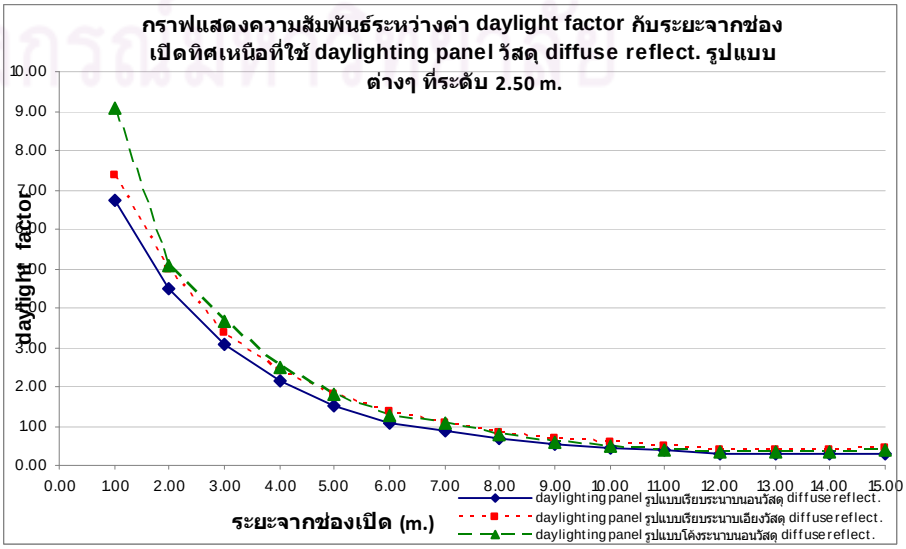


แผนภูมิที่ 4.23 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 2.50 m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

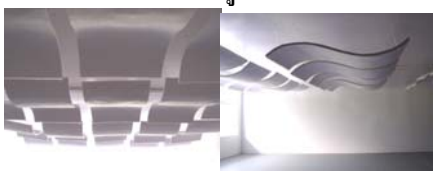
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

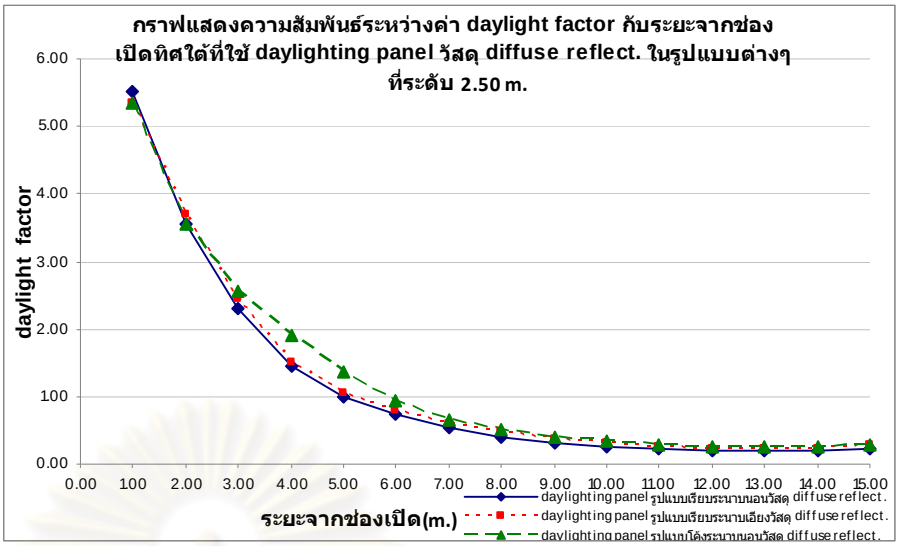


รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง



รูปแบบโค้งระนาบนอน



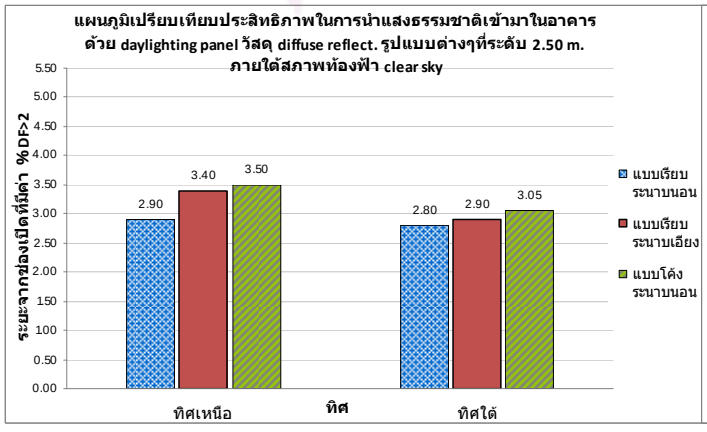
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.80 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 20.00 % และทิศใต้ 3.90 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 20.00% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.22-4.23 และแผนภูมิที่ 4.24

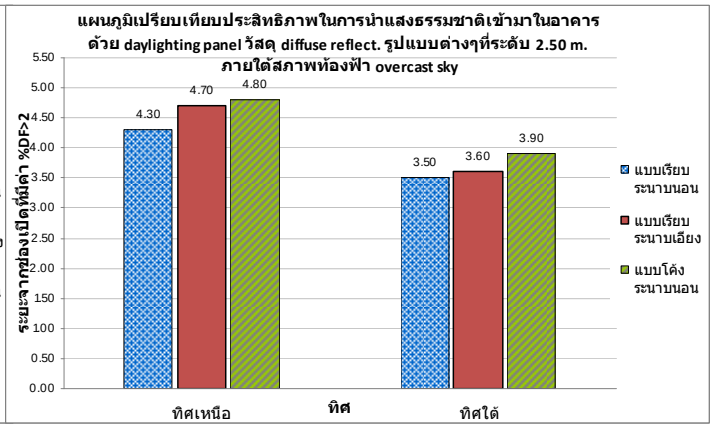
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

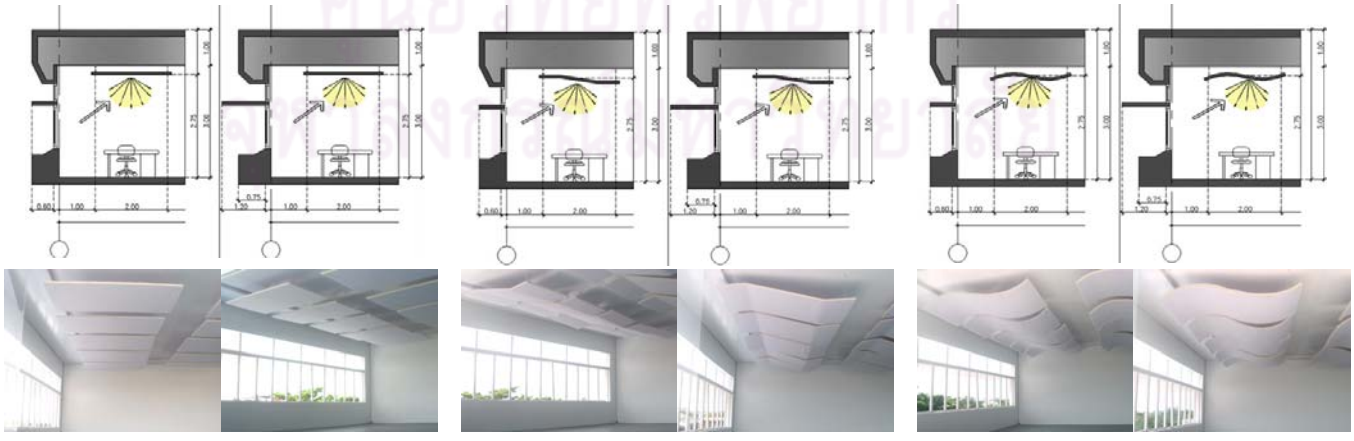
แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.50 m.





ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ที่ระดับ 2.75 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ระดับ 2.75 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.63	4.81	5.69	5.20	6.99	5.05	8.35	5.33	8.28	6.42	8.82	5.98
2.00 m.	3.10	3.28	3.97	3.62	4.48	3.47	5.33	3.45	5.52	3.87	5.80	4.13
3.00 m.	2.22	2.05	2.81	2.37	3.26	2.42	3.40	2.40	3.47	2.52	3.81	2.90
4.00 m.	1.45	1.34	1.95	1.57	1.95	1.59	2.32	1.46	2.30	1.64	2.61	2.01
5.00 m.	1.06	0.95	1.42	1.12	1.36	1.12	1.56	1.00	1.62	1.09	1.83	1.28
6.00 m.	0.79	0.70	1.07	0.84	0.98	0.84	1.18	0.74	1.20	0.79	1.34	0.88
7.00 m.	0.60	0.52	0.81	0.63	0.75	0.64	0.89	0.56	0.92	0.59	1.02	0.66
8.00 m.	0.48	0.41	0.64	0.49	0.59	0.50	0.71	0.43	0.73	0.43	0.80	0.51
9.00 m.	0.38	0.31	0.53	0.40	0.47	0.41	0.55	0.34	0.59	0.32	0.66	0.39
10.00 m.	0.32	0.25	0.44	0.33	0.38	0.35	0.46	0.29	0.50	0.26	0.55	0.31
11.00 m.	0.28	0.22	0.38	0.29	0.32	0.30	0.40	0.24	0.42	0.22	0.47	0.27
12.00 m.	0.25	0.19	0.34	0.27	0.29	0.28	0.34	0.22	0.38	0.19	0.41	0.23
13.00 m.	0.23	0.19	0.32	0.26	0.28	0.27	0.32	0.21	0.34	0.18	0.39	0.22
14.00 m.	0.23	0.20	0.33	0.28	0.27	0.27	0.33	0.22	0.36	0.19	0.39	0.22
15.00 m.	0.26	0.23	0.36	0.30	0.30	0.29	0.37	0.24	0.39	0.21	0.40	0.26
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.40	3.20	3.95	3.60	3.95	3.60	4.60	3.60	4.70	3.75	4.85	4.00
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	21.25	20.00	24.69	22.50	24.69	22.50	28.75	22.50	29.38	23.44	30.31	25.00
ดูภาคผนวก	ค.25		ค.31		ค.37		ค.26		ค.32		ค.38	



รูปแบบเรียบระนาบนอน **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** **รูปแบบโค้งระนาบนอน**

ภาพที่ 4.10 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ** daylighting panels **วัสดุ** diffuse reflect.**ที่ระดับ** 2.75 m.

แผนภูมิที่ 4.25 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 2.75 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

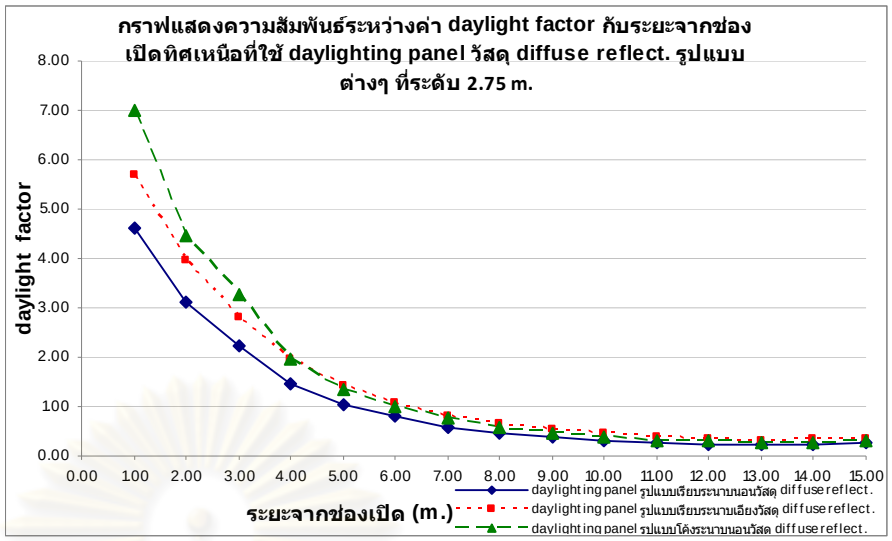
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

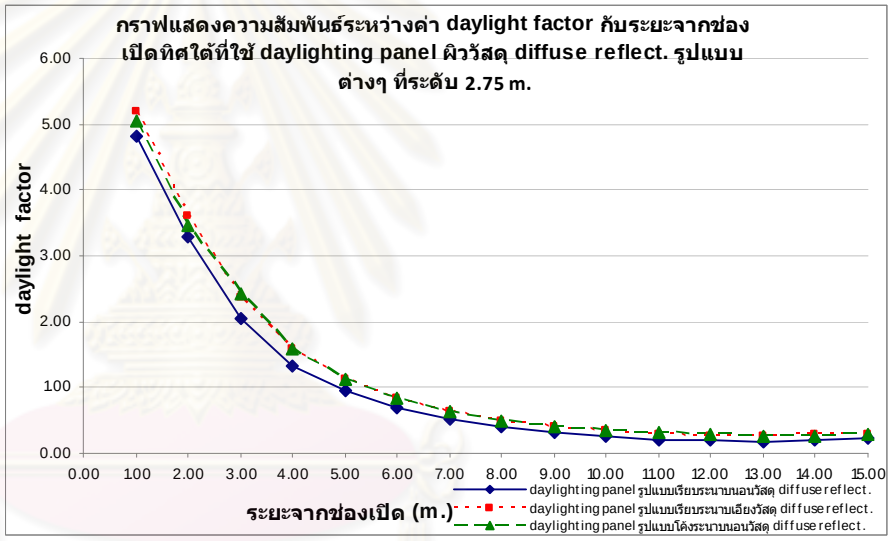
รูปแบบโค้งระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบนอน

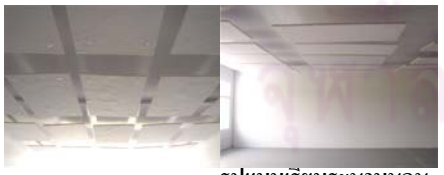
รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน





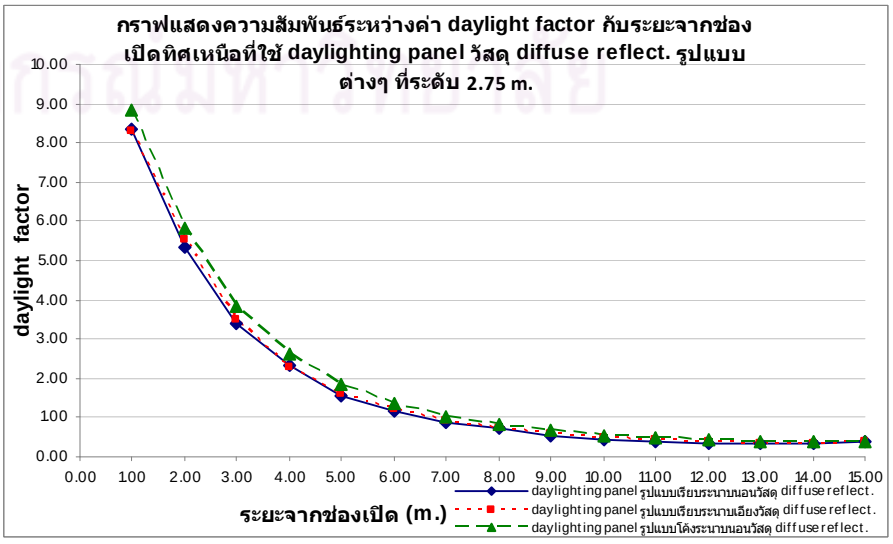
แผนภูมิที่ 4.26 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 2.75 m.ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

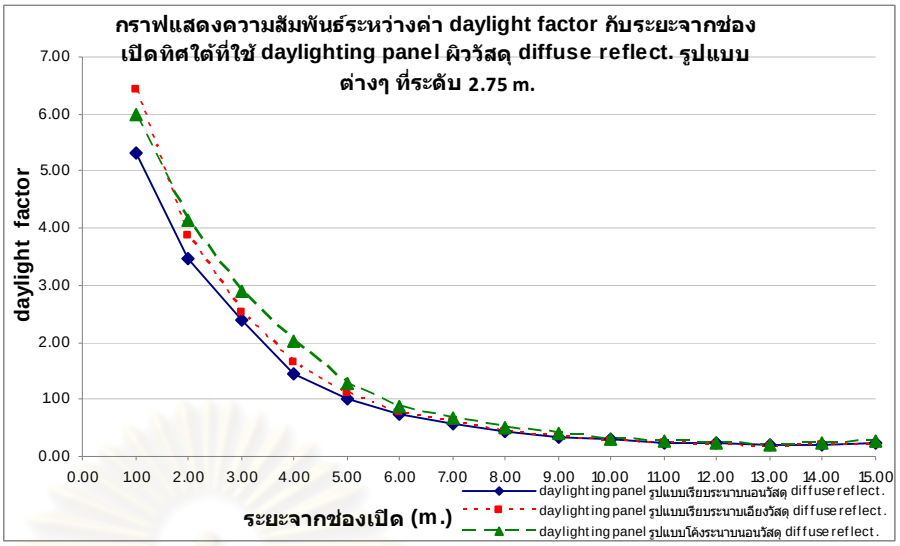
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



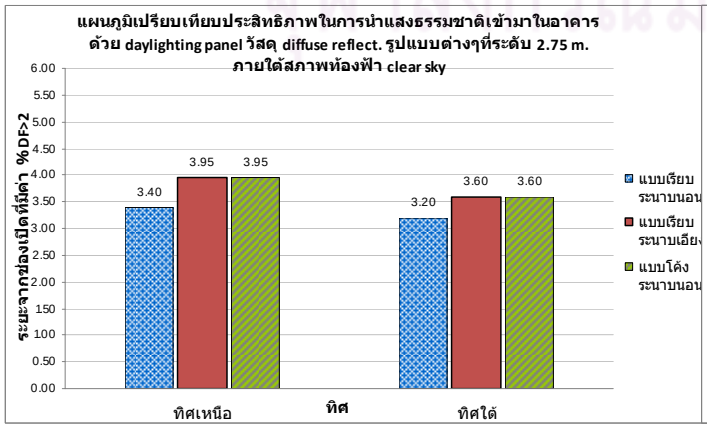
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.85 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 21.25 % และทิศใต้ 4.00 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 23.08% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.25-4.26 และแผนภูมิที่ 4.27

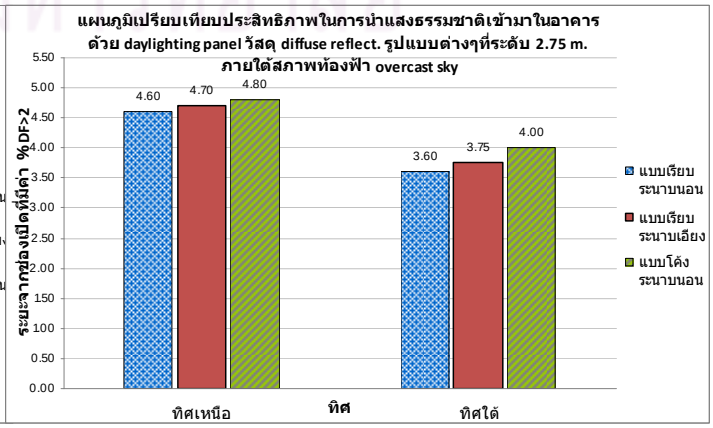
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

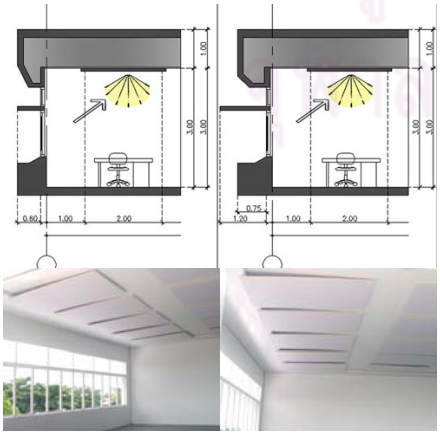
แผนภูมิที่ 4.27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 2.75 m.



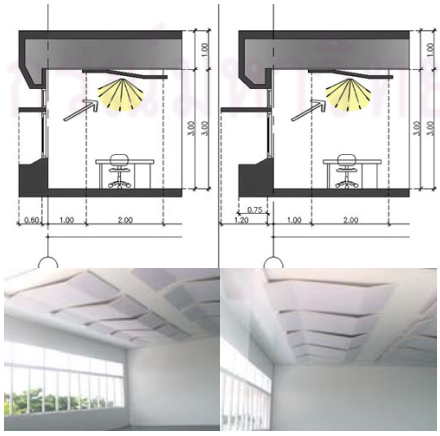


ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของรูปแบบ Interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ที่ระดับ 3.00 เมตร

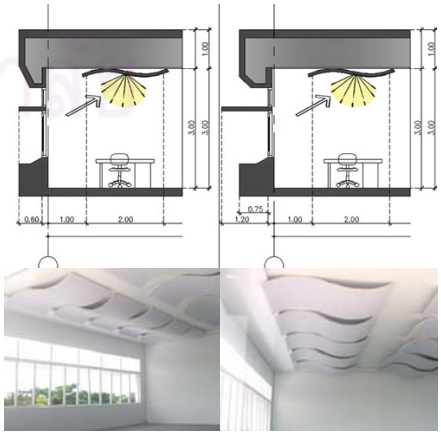
ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ระดับ 3.00 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน		เรียบระนาบนอน		เรียบระนาบเอียง		โค้งระนาบนอน	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	3.82	3.21	4.51	3.69	4.94	4.51	7.10	4.68	7.73	5.19	7.28	4.59
2.00 m.	2.37	2.14	3.10	2.60	3.26	3.06	4.67	3.04	5.19	3.42	5.64	3.38
3.00 m.	1.65	1.50	2.01	1.85	2.16	1.97	3.05	2.12	3.38	2.25	3.84	2.45
4.00 m.	1.11	0.99	1.32	1.23	1.32	1.22	2.08	1.42	2.29	1.52	2.49	1.69
5.00 m.	0.77	0.73	0.91	0.90	0.91	0.87	1.44	0.99	1.64	1.10	1.80	1.19
6.00 m.	0.56	0.57	0.71	0.68	0.66	0.65	1.09	0.74	1.23	0.83	1.37	0.90
7.00 m.	0.43	0.45	0.56	0.52	0.50	0.51	0.83	0.57	0.95	0.64	1.06	0.68
8.00 m.	0.33	0.37	0.40	0.41	0.39	0.39	0.65	0.43	0.76	0.51	0.84	0.56
9.00 m.	0.26	0.30	0.28	0.33	0.30	0.30	0.52	0.35	0.62	0.41	0.68	0.46
10.00 m.	0.22	0.26	0.26	0.27	0.24	0.25	0.44	0.29	0.51	0.35	0.67	0.39
11.00 m.	0.18	0.22	0.21	0.23	0.20	0.21	0.28	0.25	0.45	0.30	0.49	0.33
12.00 m.	0.16	0.21	0.20	0.20	0.18	0.18	0.34	0.23	0.41	0.28	0.45	0.30
13.00 m.	0.16	0.20	0.17	0.19	0.16	0.17	0.33	0.23	0.39	0.27	0.41	0.29
14.00 m.	0.16	0.21	0.23	0.20	0.16	0.18	0.33	0.24	0.39	0.28	0.42	0.29
15.00 m.	0.19	0.23	0.20	0.21	0.18	0.20	0.35	0.26	0.40	0.29	0.43	0.29
ระยะจากช่องเปิดที่ (%)DF≥2 (m.)	2.80	2.50	3.20	2.80	3.20	2.95	4.10	3.30	4.55	3.45	4.80	3.65
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	17.50	15.63	20.00	17.50	20.00	18.44	25.63	20.63	28.44	21.56	30.00	22.81
ดูภาคผนวก	ค.43		ค.49		ค.55		ค.44		ค.50		ค.56	



รูปแบบเรียบระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบเอียง



รูปแบบโค้งระนาบนอน

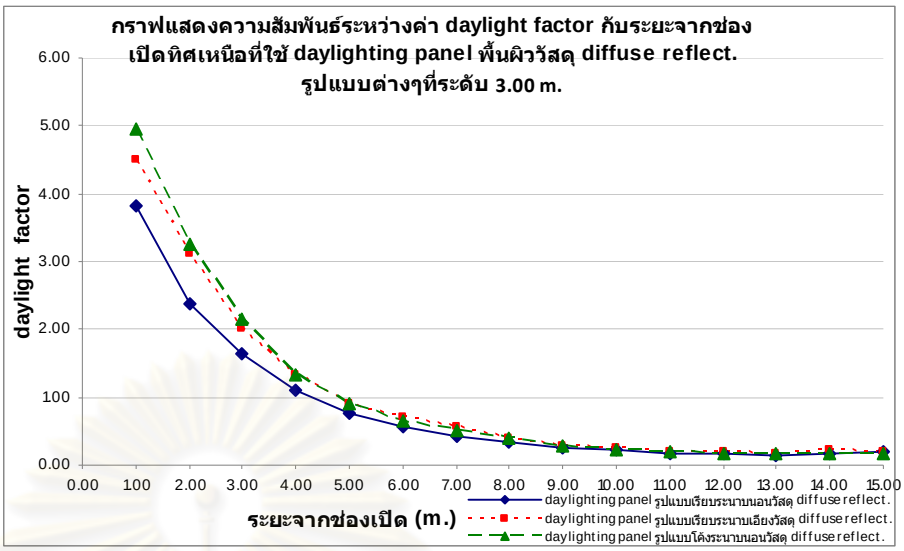
ภาพที่ 4.11 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ** daylighting panels **วัสดุ** diffuse reflect.**ที่ระดับ** 3.00m.

แผนภูมิที่ 4.28 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุ diffuse reflect.ที่ระดับ 3.00 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

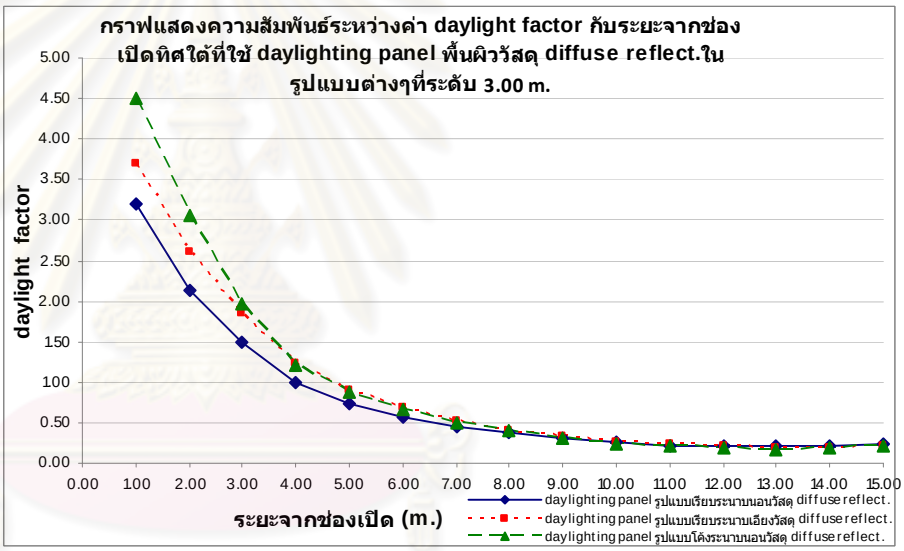
รูปแบบโค้งระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

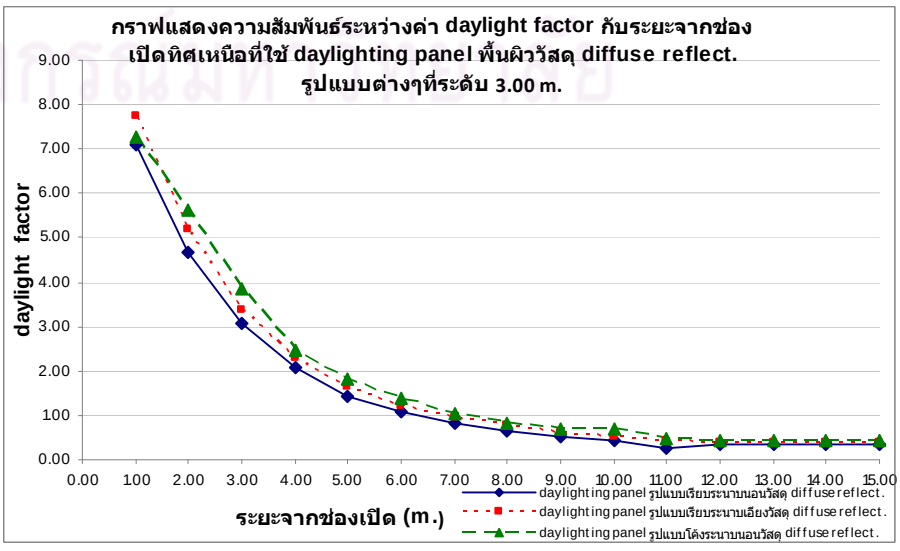


แผนภูมิที่ 4.29 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบ lighting panels วัสดุdiffuse reflect.ที่ระดับ 3.00 m.ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

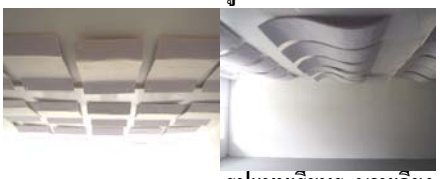
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

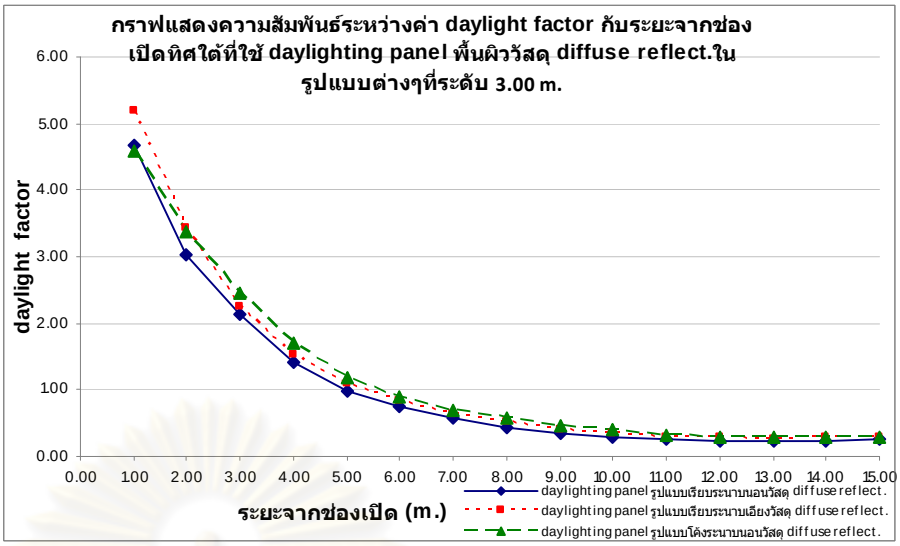


รูปแบบเรียบระนาบนอน



รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน



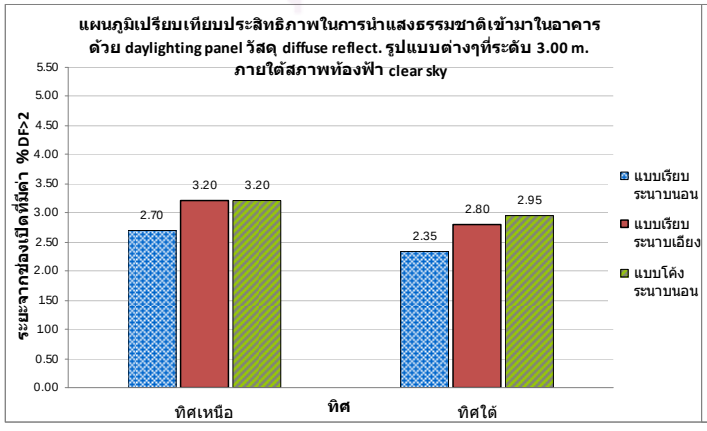
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียง และรูปแบบเรียบระนาบนอน ตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.80 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 20.00 % และทิศใต้ 3.65 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 12.31 % ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.28-4.29 และแผนภูมิที่ 4.30

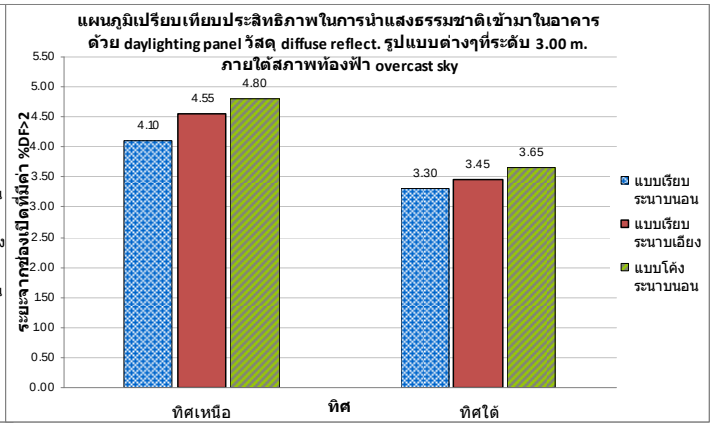
รูปแบบเรียบระนาบนอน

รูปแบบเรียบระนาบเอียง

รูปแบบโค้งระนาบนอน

แผนภูมิที่ 4.30 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels วัสดุ diffuse reflect. รูปแบบต่างๆที่ระดับ 3.00 m.





ตารางที่ 4.12 สรุปผลการศึกษาตัวแปรกายภาพด้านรูปแบบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ daylighting panels

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง ทิศเหนือ-ทิศใต้ (เรียงตามลำดับประสิทธิภาพ)	ผลการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า	ระยะแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (m.)					
				ทิศเหนือ			ทิศใต้		
				ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)	ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)
4.1.1. ตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel									
1.	รูปแบบ interior daylighting panels (ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพที่สุด พบในการทดลองรูปแบบ interior daylighting panel วัสดุ spread reflect. ที่ระดับ 2.75 เมตร)	1. รูปแบบโค้งระนาบนอน	Clear sky	4.70	+1.65	54.09%	4.20	+1.70	68.00%
			Overcast sky	5.70	+1.70	42.50%	5.00	+1.75	53.85%
		2. รูปแบบเรียบระนาบเอียง	Clear sky	4.60	+1.55	50.82%	3.80	+1.30	52.00%
			Overcast sky	5.50	+1.50	37.50%	4.40	+1.15	35.38%
		3. รูปแบบเรียบระนาบนอน	Clear sky	3.95	+0.90	29.51%	3.80	+1.30	52.00%
			Overcast sky	5.00	+1.00	25.00%	4.10	+0.85	26.15%

หมายเหตุ : ระยะที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองนี้เป็นระยะที่เพิ่มจากกรณีปกติ (base case)

จากการศึกษาตัวแปรกายภาพด้านรูปแบบของ interior daylighting panels พบว่า daylighting panels ที่มีรูปแบบลักษณะโค้งระนาบนอนมีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ (2%DF)ได้ดีกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียงและรูปแบบเรียบระนาบนอนตามลำดับ ดังนี้

1) รูปแบบ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่พบจากการทดลอง เป็น daylighting panels **รูปแบบโค้งระนาบนอน** วัสดุ spread reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.70 เมตรและทิศใต้ 4.20 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.65 เมตร(54.09%) และทิศใต้ 1.70 เมตร(68.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตรและทิศใต้ 5.00 เมตร เพิ่มจาก base case ทิศเหนือ 1.70 เมตร(42.50%) และทิศใต้ 1.75 เมตร(53.85%)

2) รูปแบบ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ 2 ที่พบจากการทดลอง เป็น daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบเอียง** วัสดุ spread reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.60 เมตร และทิศใต้ 3.80 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.55 เมตร(50.82%) และทิศใต้ 1.30 เมตร(52.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.50 เมตร และทิศใต้ 4.40 เมตร เพิ่มจาก base case ทิศเหนือ 1.50 เมตร(37.50%) และทิศใต้ 1.15 เมตร(35.38%)

3) รูปแบบ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ 3 ที่พบจากการทดลอง เป็น daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบนอน** วัสดุ spread reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 3.95 เมตร และทิศใต้ 3.80 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 0.90 เมตร(29.51%) และทิศใต้ 1.30 เมตร(52.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast skyให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.00 เมตร และทิศใต้ 4.10 เมตร เพิ่มจาก base case ทิศเหนือ 1.00 เมตร(25.00%) และทิศใต้ 0.85 เมตร(26.15%)

2) ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านวัสดุและพื้นผิวของ interior daylighting panels

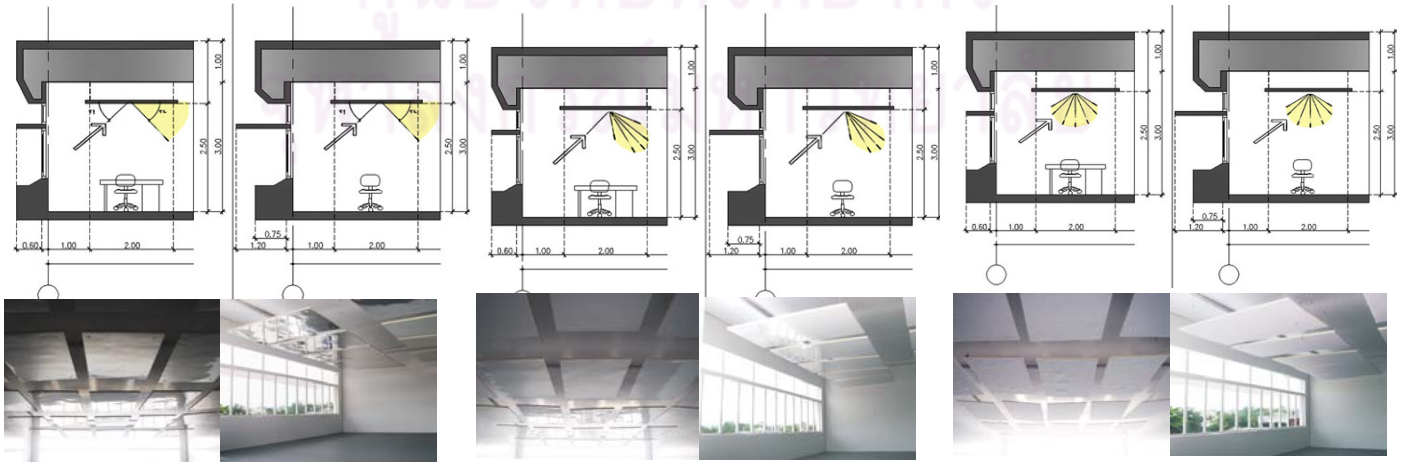
ตารางที่ 4.13 แสดงการกำหนดตัวแปรกายภาพที่ใช้ในการทดลองด้านพื้นผิววัสดุของ daylighting panels

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม	หมายเหตุ
วัสดุและพื้นผิวของ interior daylighting panels	ค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบใช้งาน	สภาพท้องฟ้าในการทดสอบ	ทดสอบในสภาพท้องฟ้า clear sky และ overcast sky
		ทิศในการทดสอบ	ทิศเหนือและทิศใต้
		หุ่นจำลอง -รูปแบบช่องเปิด -องค์ประกอบภายใน พื้น,ผนัง,ฝ้าเพดาน	รายละเอียดในตารางที่ 3.8 -3.9
		Light shelves ภายนอก	รายละเอียดในหน้าที่ 54 - 55
		ชนิดของกระจก	กระจกโฟลตใสความหนา 6 มม. ที่มีค่าการส่องผ่าน 90 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว Interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.18	3.78	4.34	3.70	4.23	3.45	8.04	5.24	7.12	4.69	6.75	5.53
2.00 m.	3.34	2.90	3.05	2.62	2.58	2.42	5.72	3.67	4.93	3.34	4.48	3.56
3.00 m.	2.25	1.81	2.29	1.97	1.90	1.64	3.72	2.48	3.65	2.45	3.07	2.30
4.00 m.	1.50	1.25	1.82	1.40	1.39	1.13	2.58	1.68	2.68	1.84	2.13	1.46
5.00 m.	1.06	0.92	1.36	1.08	0.96	0.86	1.86	1.20	1.94	1.35	1.53	1.01
6.00 m.	0.80	0.71	1.02	0.81	0.70	0.63	1.45	0.91	1.61	1.01	1.09	0.74
7.00 m.	0.59	0.54	0.79	0.61	0.55	0.51	1.09	0.69	1.23	0.73	0.87	0.54
8.00 m.	0.46	0.43	0.65	0.47	0.42	0.42	0.91	0.55	0.97	0.57	0.67	0.40
9.00 m.	0.37	0.33	0.51	0.38	0.33	0.32	0.71	0.43	0.82	0.48	0.52	0.32
10.00 m.	0.31	0.29	0.38	0.32	0.27	0.26	0.60	0.36	0.70	0.41	0.43	0.26
11.00 m.	0.27	0.24	0.32	0.28	0.24	0.24	0.51	0.32	0.58	0.36	0.37	0.22
12.00 m.	0.24	0.21	0.29	0.24	0.21	0.19	0.46	0.29	0.53	0.34	0.30	0.20
13.00 m.	0.23	0.20	0.29	0.23	0.20	0.19	0.43	0.28	0.51	0.34	0.29	0.19
14.00 m.	0.23	0.21	0.29	0.23	0.20	0.20	0.43	0.29	0.50	0.33	0.29	0.20
15.00 m.	0.25	0.23	0.29	0.24	0.22	0.21	0.44	0.31	0.53	0.39	0.32	0.24
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.50	2.90	3.70	2.95	2.90	2.80	4.90	3.75	4.90	3.80	4.30	3.50
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	21.88	18.13	23.13	18.44	18.13	17.50	30.63	23.44	30.63	23.75	26.88	21.88
ดูภาคผนวก	ค.3		ค.5		ค.7		ค.4		ค.6		ค.8	



พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

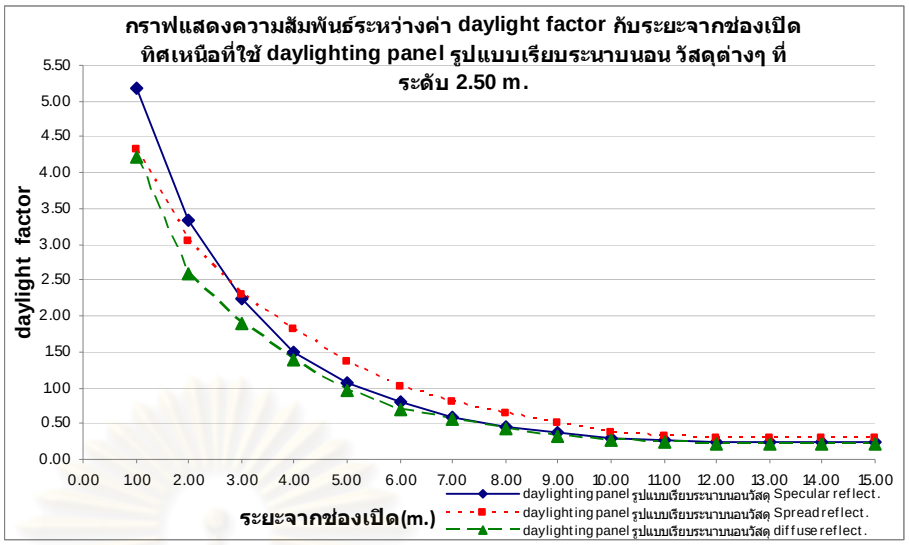
ภาพที่ 4.12 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบนอน ที่ระดับ** 2.50 m.

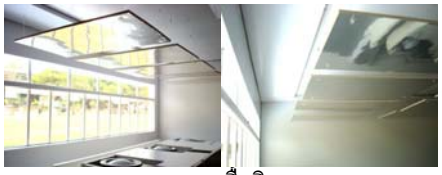
แผนภูมิที่ 4.31 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ที่ระดับ 2.50 m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

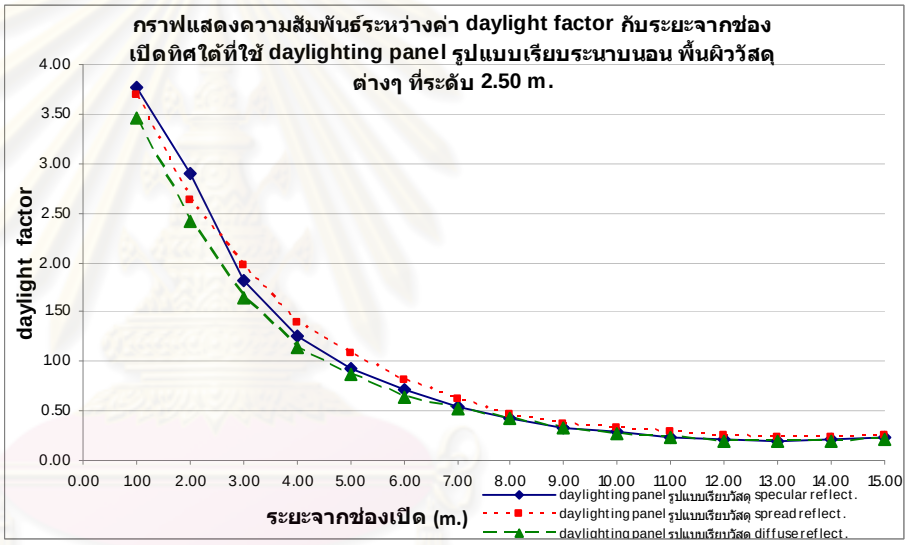




พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

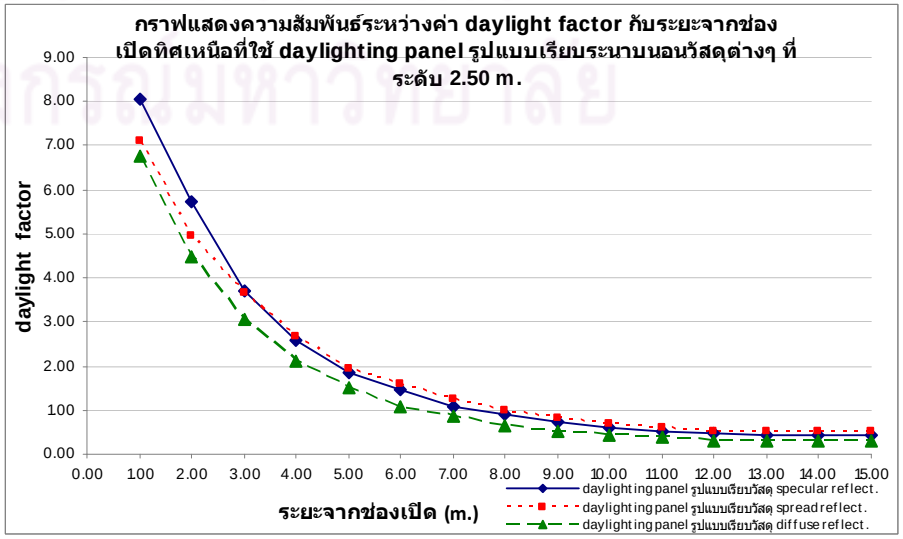


แผนภูมิที่ 4.32 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอนที่ระดับ 2.50m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

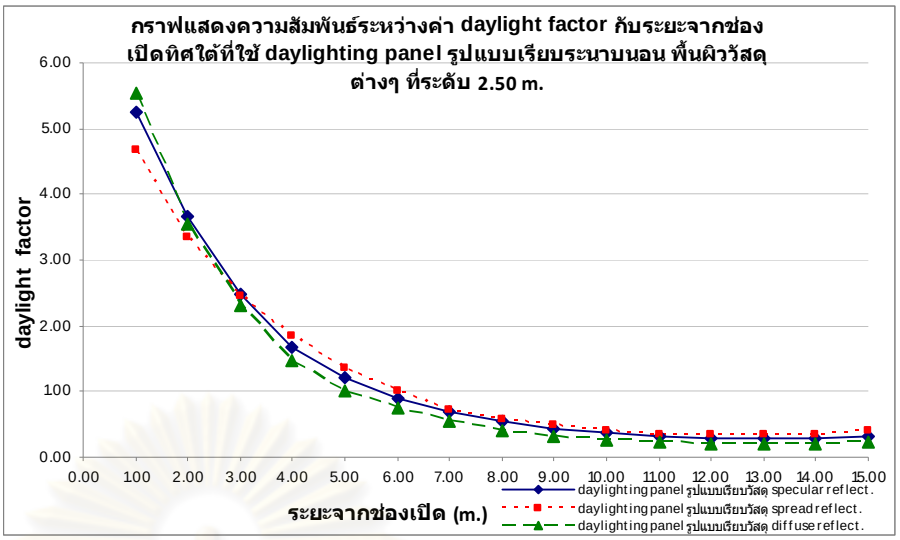
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



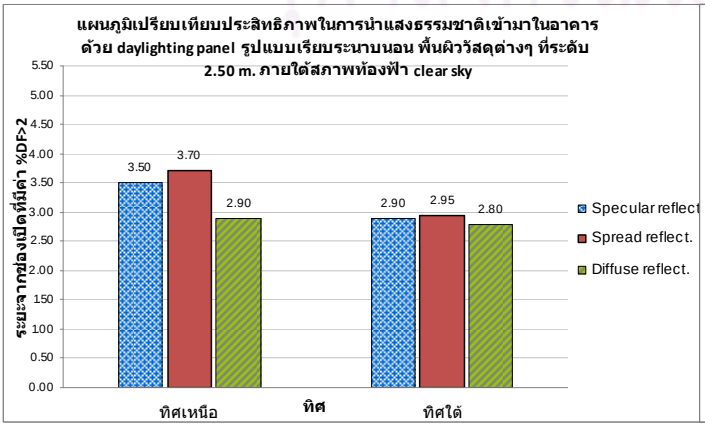
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.90 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 22.50% และในทิศใต้ 3.80 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 16.92% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.31-4.32 และแผนภูมิที่ 4.33

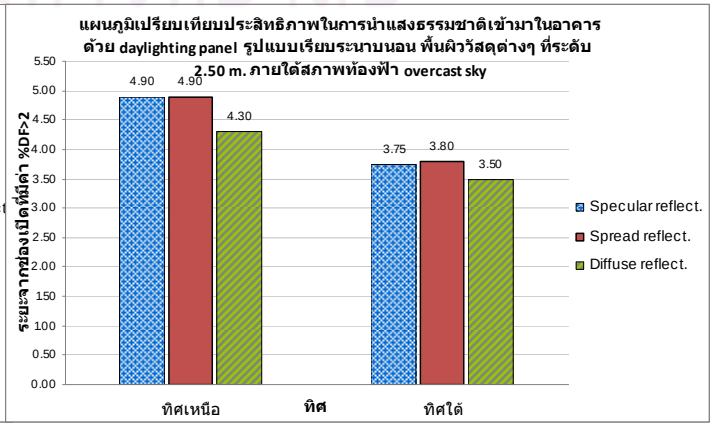
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

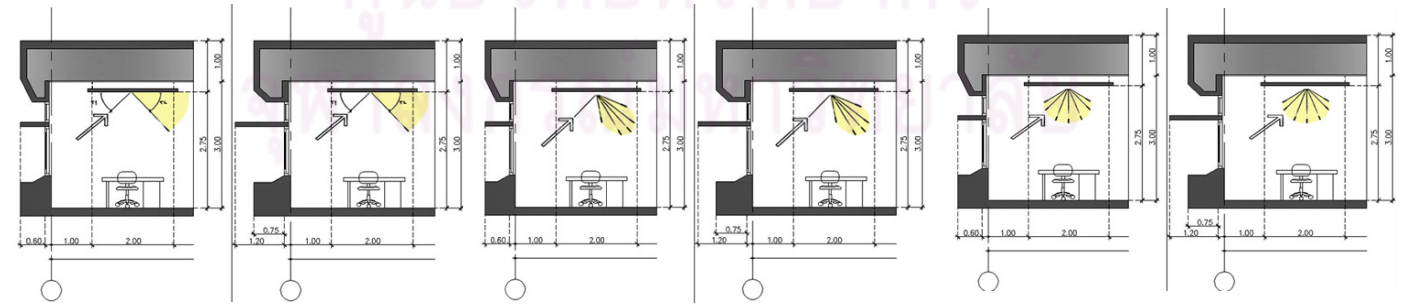
แผนภูมิที่ 4.33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.50 m.





ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว Interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	6.99	5.93	5.48	5.02	4.63	4.81	8.87	6.97	8.55	5.84	8.35	5.33
2.00 m.	4.66	4.11	3.85	3.54	3.10	3.28	5.79	4.07	5.75	3.98	5.33	3.45
3.00 m.	2.97	2.56	2.62	2.47	2.22	2.05	3.82	2.51	4.06	2.84	3.40	2.40
4.00 m.	1.90	1.61	1.95	1.76	1.45	1.34	2.63	1.66	2.93	2.02	2.32	1.46
5.00 m.	1.40	1.17	1.50	1.31	1.06	0.95	1.84	1.18	2.02	1.43	1.56	1.00
6.00 m.	1.06	0.89	1.10	1.00	0.79	0.70	1.38	0.90	1.46	1.06	1.18	0.74
7.00 m.	0.80	0.64	0.78	0.70	0.60	0.52	1.01	0.67	1.11	0.75	0.89	0.56
8.00 m.	0.63	0.49	0.60	0.56	0.48	0.41	0.82	0.52	0.90	0.60	0.71	0.43
9.00 m.	0.50	0.39	0.45	0.44	0.38	0.31	0.67	0.40	0.75	0.47	0.55	0.34
10.00 m.	0.42	0.32	0.36	0.39	0.32	0.25	0.55	0.32	0.62	0.39	0.46	0.29
11.00 m.	0.36	0.29	0.31	0.33	0.28	0.22	0.47	0.28	0.54	0.33	0.40	0.24
12.00 m.	0.32	0.26	0.28	0.28	0.25	0.19	0.41	0.25	0.48	0.29	0.34	0.22
13.00 m.	0.31	0.25	0.26	0.27	0.23	0.19	0.38	0.25	0.45	0.27	0.32	0.21
14.00 m.	0.31	0.25	0.26	0.27	0.23	0.20	0.41	0.25	0.45	0.27	0.33	0.22
15.00 m.	0.33	0.28	0.29	0.28	0.26	0.23	0.42	0.28	0.47	0.29	0.37	0.24
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.90	3.70	3.95	3.80	3.40	3.20	4.90	3.80	5.00	4.10	4.60	3.60
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	24.38	23.13	24.69	23.75	21.25	20.00	30.63	23.75	31.25	25.63	28.75	22.50
ดูภาคผนวก	ค.21		ค.23		ค.25		ค.22		ค.24		ค.26	



พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

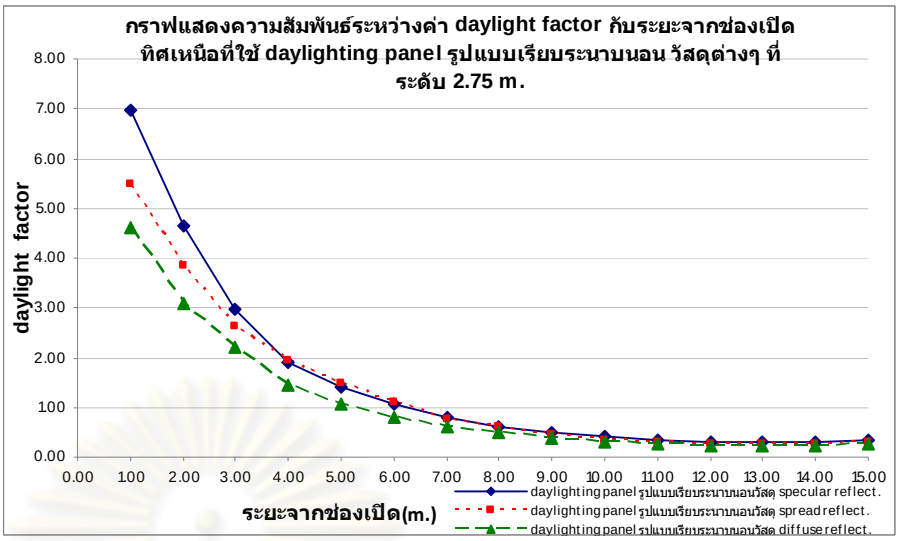
ภาพที่ 4.13 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panel **รูปแบบเรียบระนาบนอน ที่ระดับ** 2.75 m.

แผนภูมิที่ 4.34 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ที่ระดับ 2.75 m.ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

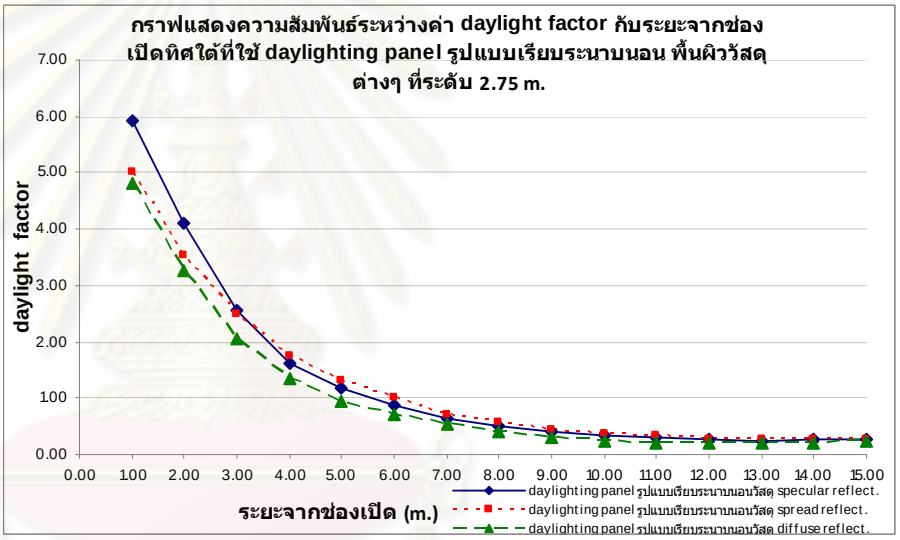
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

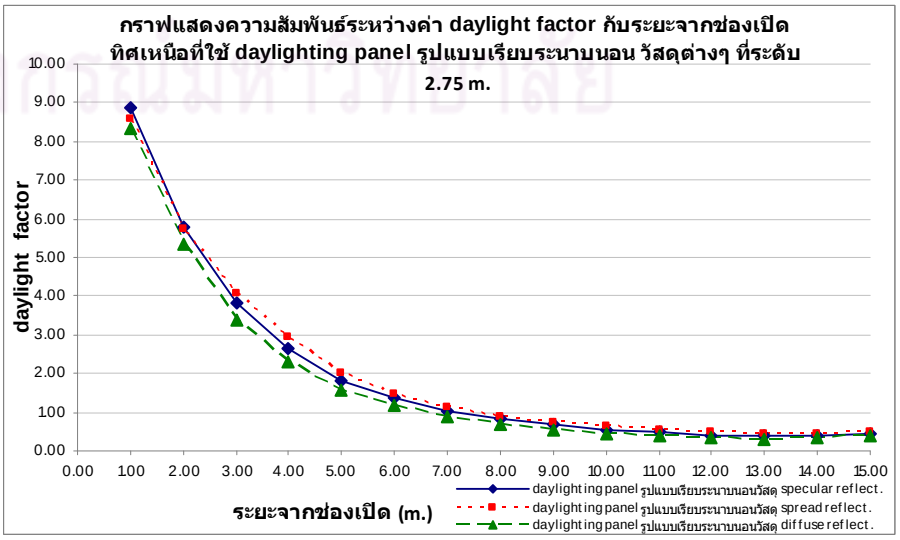


แผนภูมิที่ 4.35 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอนที่ระดับ 2.75 m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

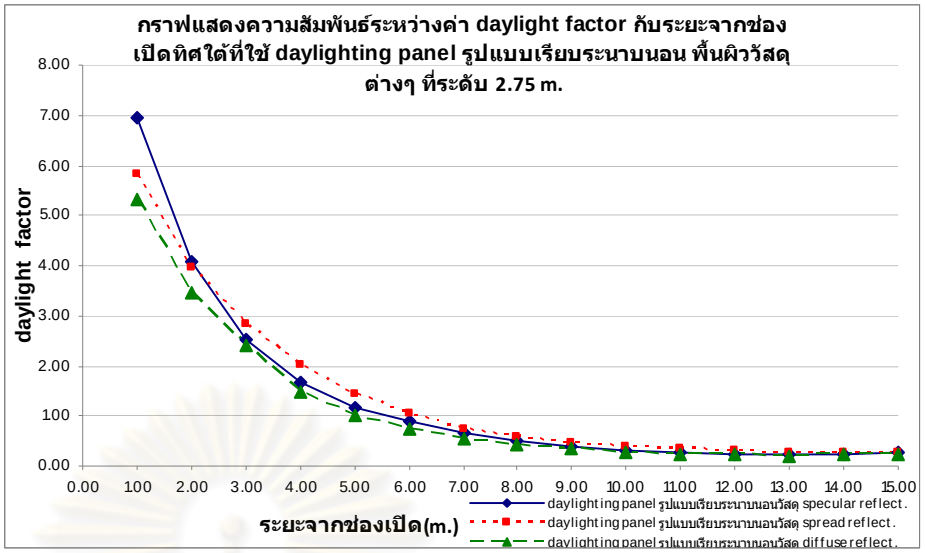
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



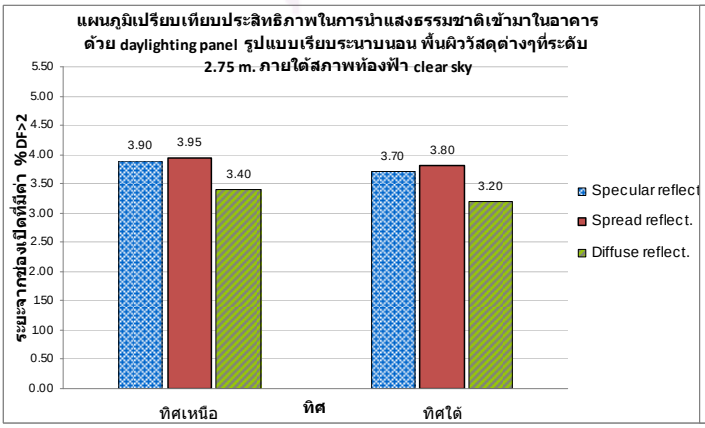
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.00 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 25.00% และในทิศใต้ 4.10 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 26.15 % ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.34-4.35 และแผนภูมิที่ 4.36

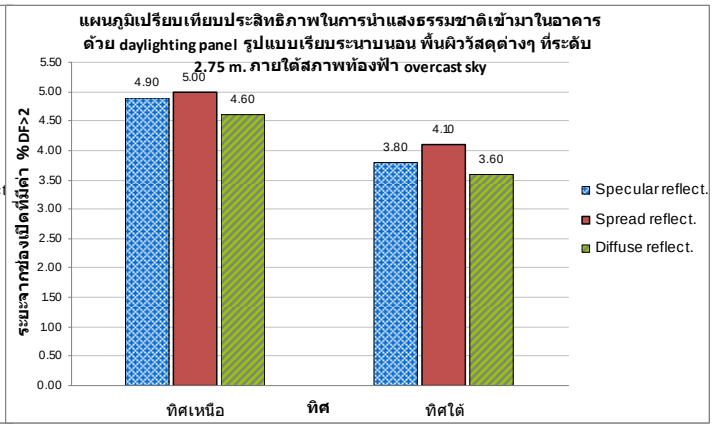
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

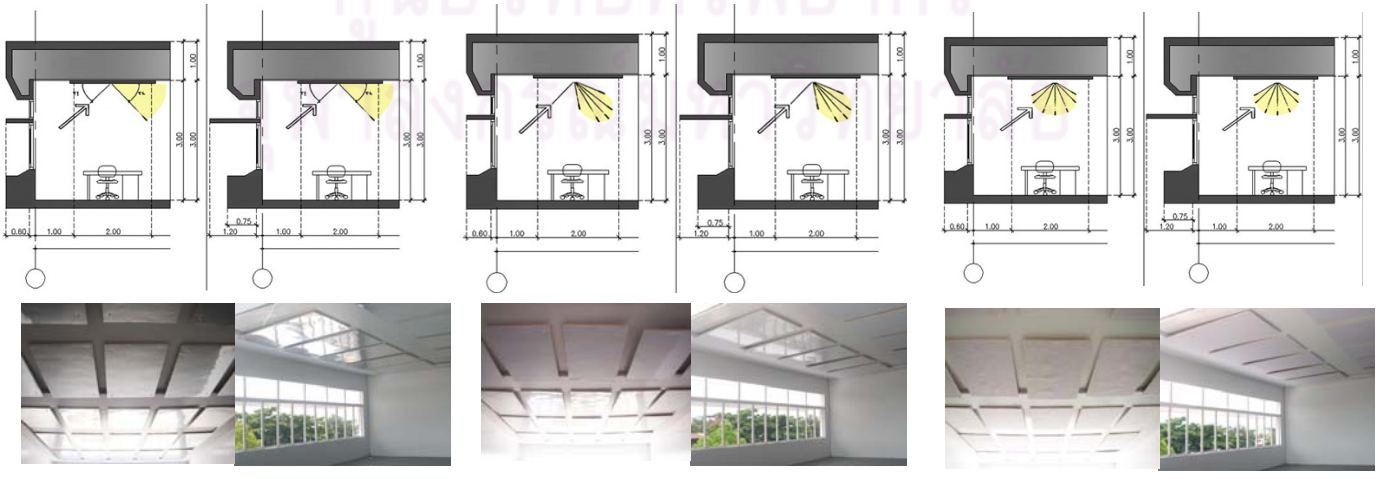
แผนภูมิที่ 4.36 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.75 m.





ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว Interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 เมตร

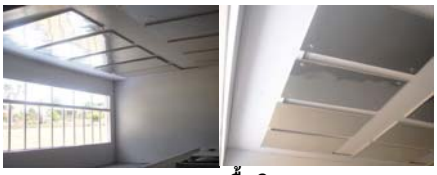
ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.52	3.78	4.11	3.65	3.82	3.21	9.02	5.97	8.36	5.65	7.10	4.68
2.00 m.	2.82	2.56	2.58	2.39	2.37	2.14	5.72	3.90	5.45	3.68	4.67	3.04
3.00 m.	1.95	1.79	1.96	1.84	1.65	1.50	3.70	2.55	3.80	2.57	3.05	2.12
4.00 m.	1.23	1.18	1.47	1.33	1.11	0.99	2.47	1.52	2.71	1.68	2.08	1.42
5.00 m.	0.85	0.87	1.04	1.04	0.77	0.73	1.66	1.07	1.81	1.22	1.44	0.99
6.00 m.	0.63	0.68	0.76	0.81	0.56	0.57	1.23	0.75	1.45	0.87	1.09	0.74
7.00 m.	0.48	0.54	0.54	0.64	0.43	0.45	0.94	0.59	0.99	0.69	0.83	0.57
8.00 m.	0.36	0.43	0.43	0.51	0.33	0.37	0.73	0.44	0.79	0.51	0.65	0.43
9.00 m.	0.28	0.35	0.34	0.43	0.26	0.30	0.58	0.34	0.60	0.37	0.52	0.35
10.00 m.	0.24	0.30	0.38	0.38	0.22	0.26	0.47	0.28	0.51	0.30	0.44	0.29
11.00 m.	0.20	0.26	0.25	0.33	0.18	0.22	0.40	0.25	0.37	0.27	0.28	0.25
12.00 m.	0.18	0.24	0.21	0.30	0.16	0.21	0.36	0.22	0.33	0.24	0.34	0.23
13.00 m.	0.18	0.24	0.20	0.30	0.16	0.20	0.33	0.21	0.28	0.24	0.33	0.23
14.00 m.	0.19	0.24	0.20	0.31	0.16	0.21	0.33	0.22	0.28	0.25	0.33	0.24
15.00 m.	0.20	0.26	0.21	0.32	0.19	0.23	0.35	0.27	0.32	0.27	0.35	0.26
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	2.95	2.80	2.95	2.80	2.80	2.50	4.70	3.70	4.80	3.80	4.10	3.30
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	18.44	17.50	18.44	17.50	17.50	15.63	29.38	23.13	30.00	23.75	25.63	20.63
ดูภาคผนวก	ค.39		ค.41		ค.43		ค.40		ค.42		ค.44	



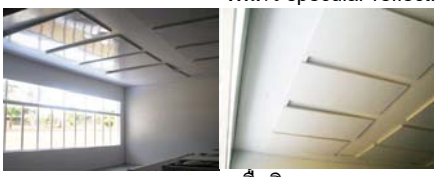
พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

ภาพที่ 4.14 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบนอน ที่ระดับ** 3.00 m.

แผนภูมิที่ 4.37 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ที่ระดับ 3.00 ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

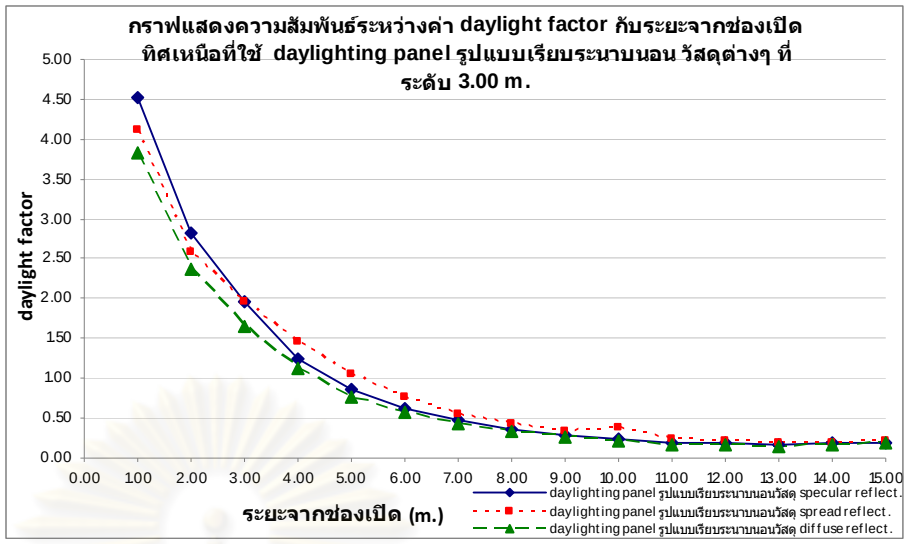


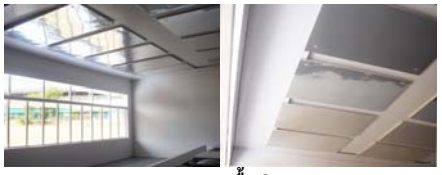
พื้นผิว specular reflect.



พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

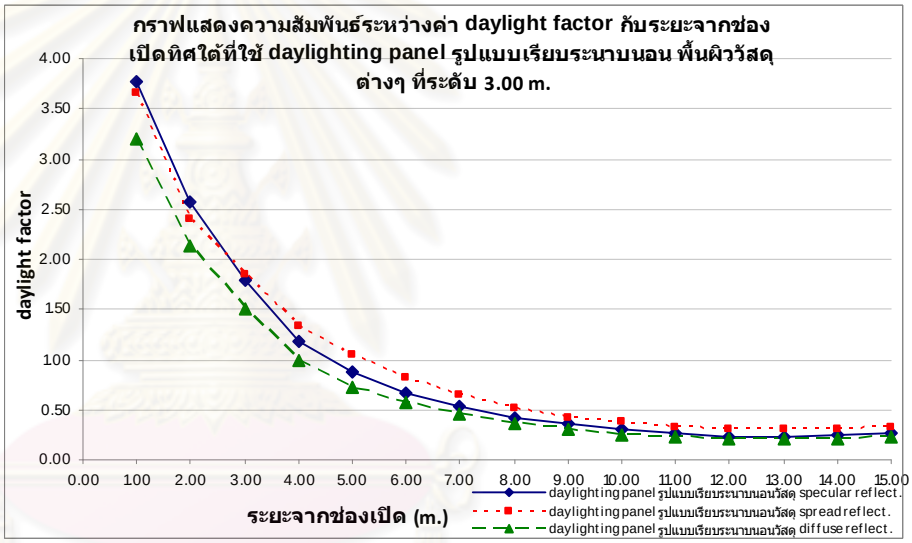




พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

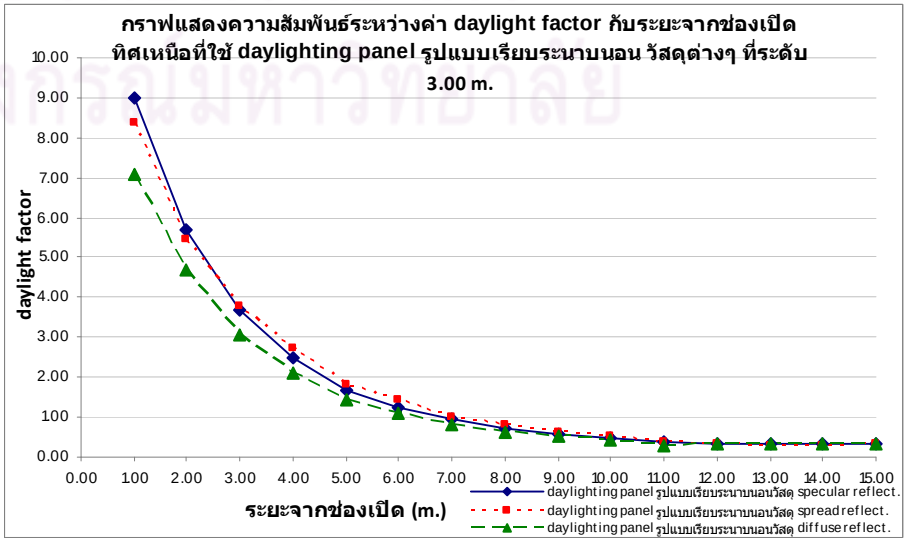


แผนภูมิที่ 4.38 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอนที่ระดับ 3.00m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

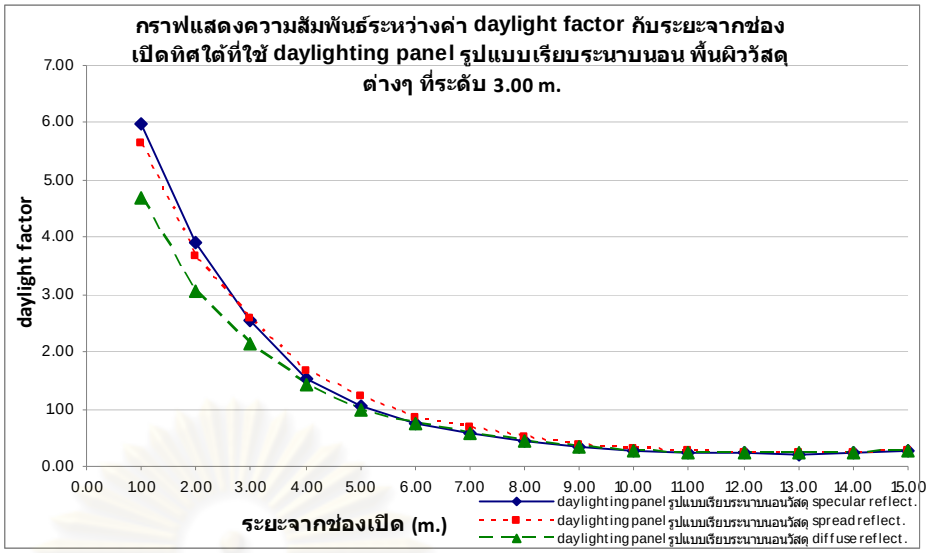
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



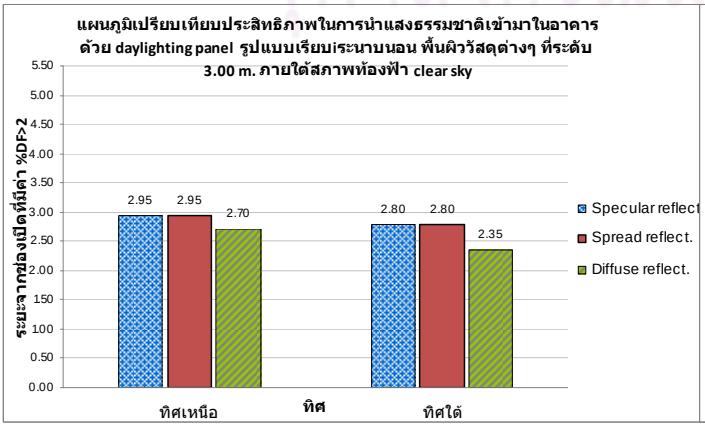
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.80 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 20.00% และในทิศใต้ 3.80 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 16.92% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.37-4.38 และแผนภูมิที่ 4.39

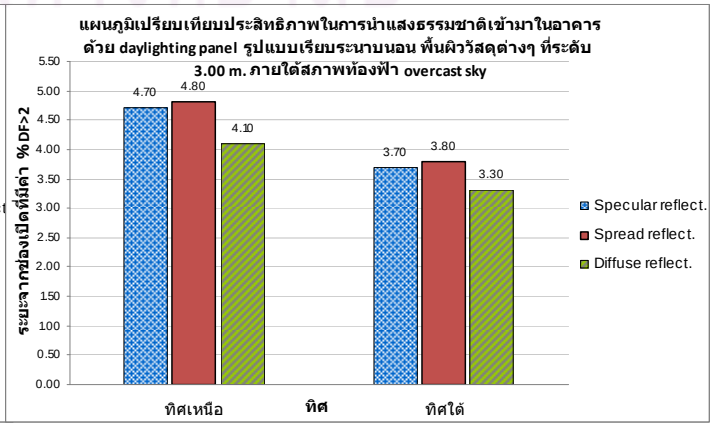
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

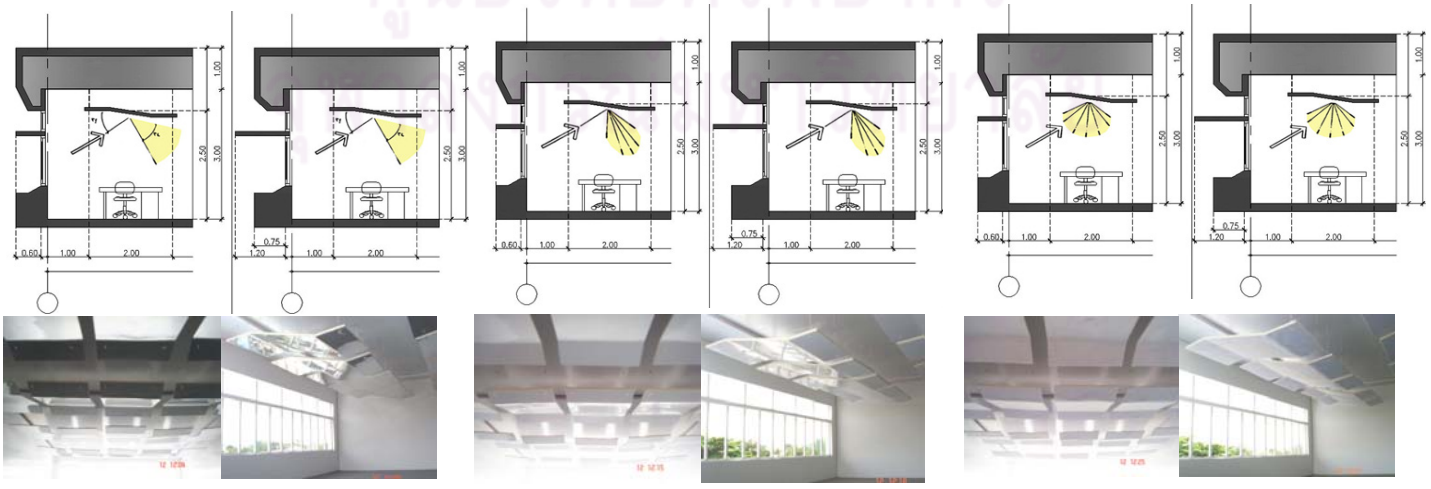
แผนภูมิที่ 4.39 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 3.00 m.





ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว Interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.77	4.54	5.31	4.91	4.78	4.03	8.83	6.41	7.92	5.71	7.39	5.35
2.00 m.	4.04	3.22	3.50	3.60	3.18	2.69	5.85	4.38	5.41	4.03	4.99	3.71
3.00 m.	2.76	2.25	2.44	2.63	2.18	1.86	3.79	2.96	3.67	2.76	3.39	2.45
4.00 m.	1.78	1.73	1.79	1.73	1.38	1.27	2.70	1.88	2.86	1.93	2.38	1.52
5.00 m.	1.29	1.24	1.37	1.13	0.94	0.93	1.90	1.38	2.12	1.52	1.80	1.05
6.00 m.	0.96	0.95	1.05	0.84	0.69	0.70	1.47	0.98	1.59	1.10	1.36	0.78
7.00 m.	0.74	0.74	0.80	0.68	0.51	0.54	1.12	0.78	1.17	0.82	1.06	0.59
8.00 m.	0.60	0.59	0.60	0.47	0.39	0.43	0.87	0.61	0.95	0.60	0.85	0.47
9.00 m.	0.49	0.48	0.50	0.39	0.31	0.33	0.72	0.50	0.75	0.44	0.68	0.37
10.00 m.	0.42	0.41	0.38	0.32	0.25	0.28	0.59	0.42	0.60	0.38	0.57	0.31
11.00 m.	0.36	0.36	0.29	0.26	0.22	0.23	0.47	0.36	0.53	0.27	0.48	0.27
12.00 m.	0.33	0.32	0.27	0.25	0.20	0.20	0.45	0.33	0.46	0.24	0.41	0.24
13.00 m.	0.32	0.31	0.26	0.22	0.19	0.20	0.38	0.32	0.44	0.23	0.39	0.23
14.00 m.	0.34	0.31	0.27	0.22	0.19	0.21	0.36	0.32	0.42	0.24	0.39	0.24
15.00 m.	0.36	0.31	0.30	0.21	0.21	0.23	0.37	0.33	0.46	0.28	0.43	0.27
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.85	3.65	3.85	3.80	3.40	2.90	4.90	3.90	5.30	3.95	4.70	3.60
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	24.06	22.81	24.06	23.75	21.25	18.13	30.63	24.38	33.13	24.69	29.38	22.50
ดูภาคผนวก	ค.9		ค.11		ค.13		ค.10		ค.12		ค.14	



พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

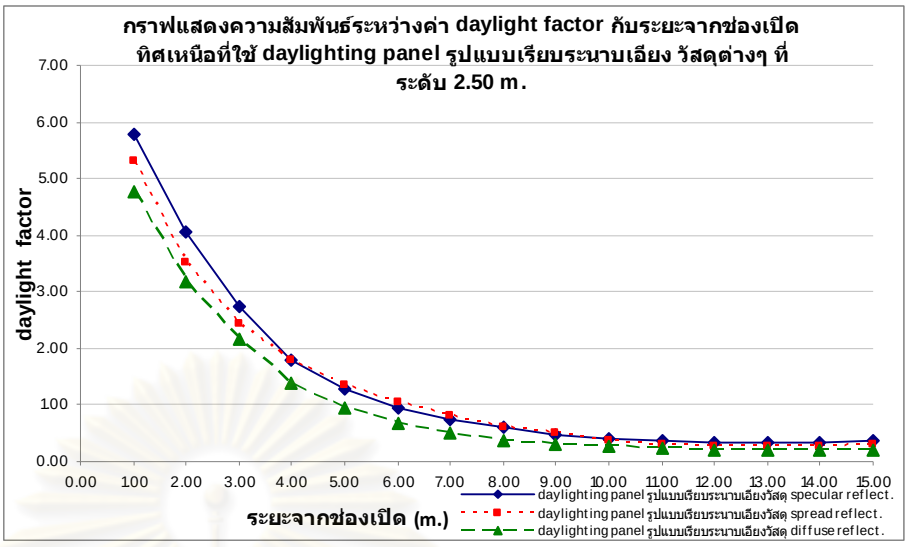
ภาพที่ 4.15 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบเอียง ที่ระดับ** 2.50 m.

แผนภูมิที่ 4.40 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงที่ระดับ 2.50m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

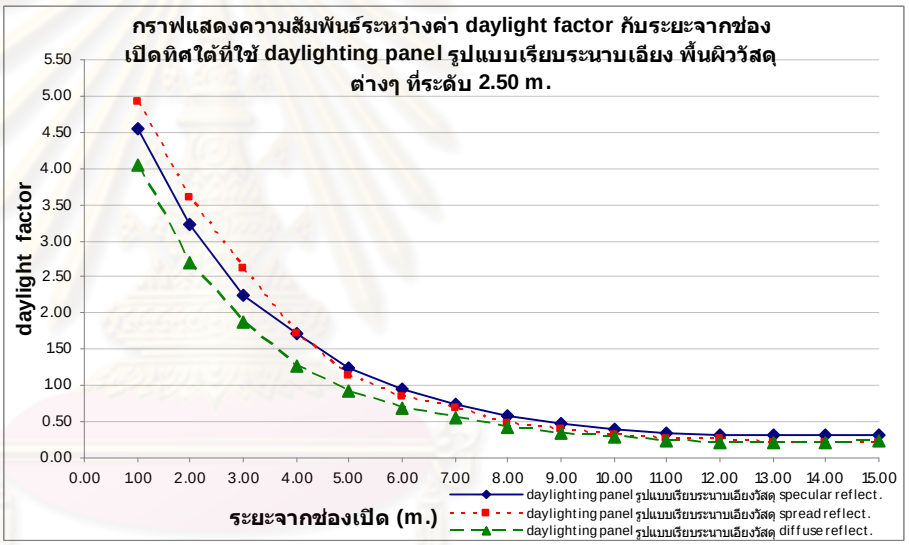
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

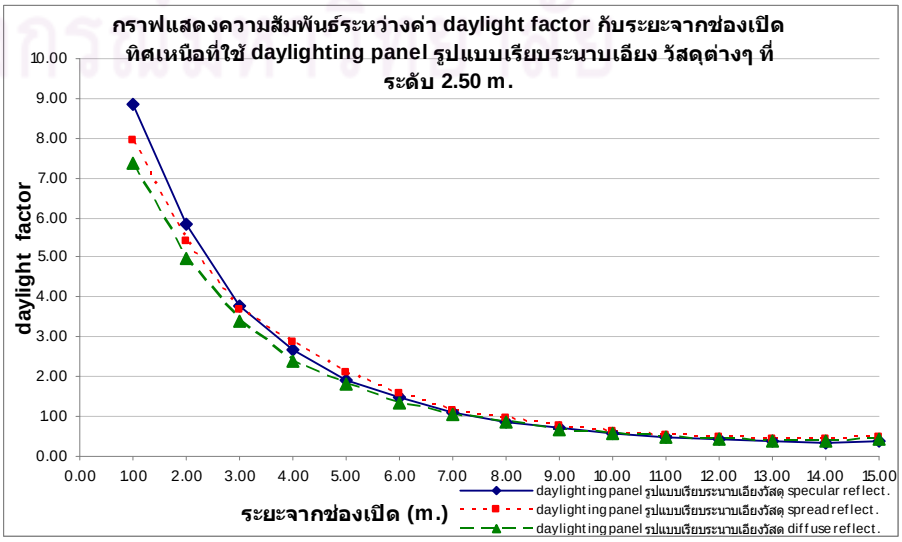


แผนภูมิที่ 4.41 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงที่ระดับ 2.50m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

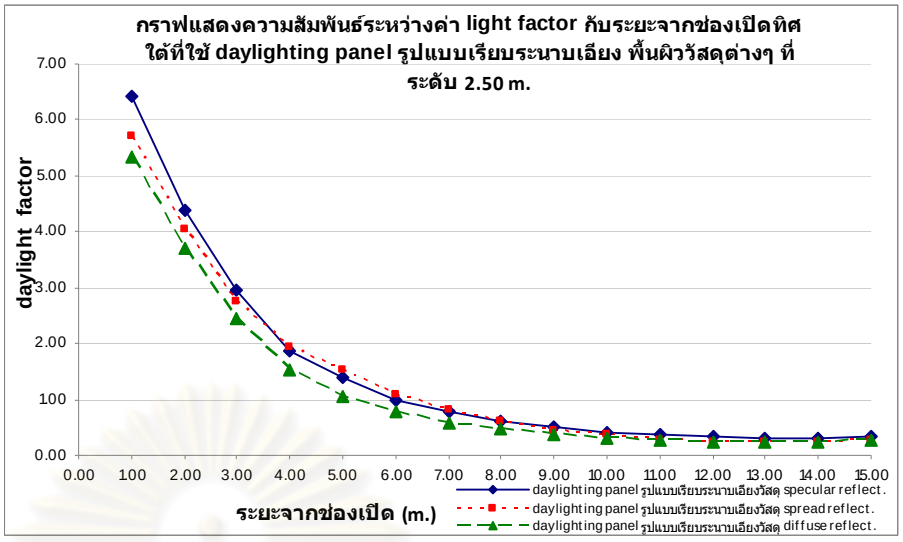
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



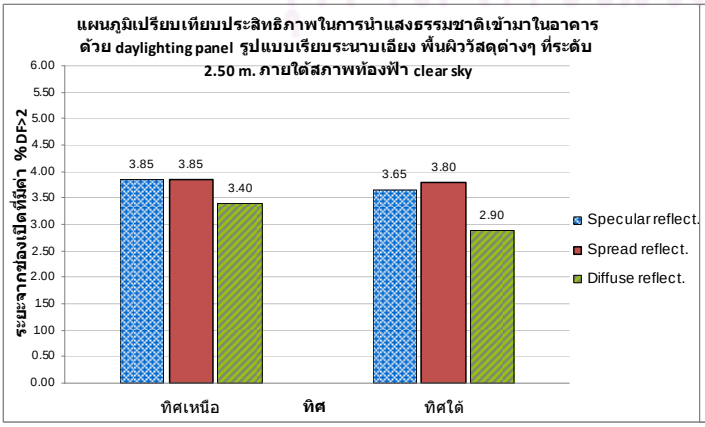
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.30 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 32.50% และในทิศใต้ 3.95 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 21.54% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.40-4.41และแผนภูมิที่ 4.42

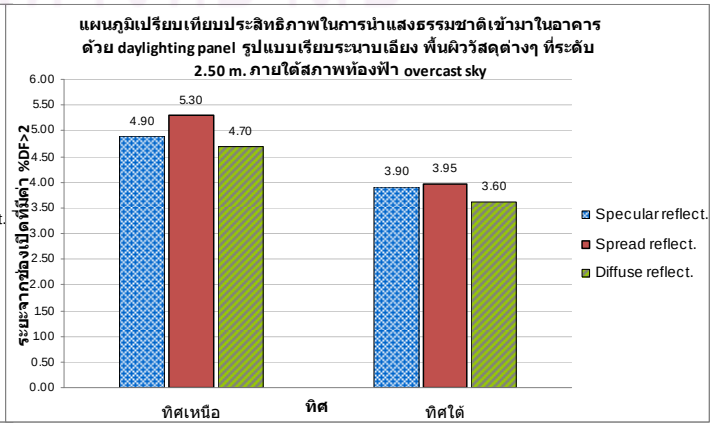
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

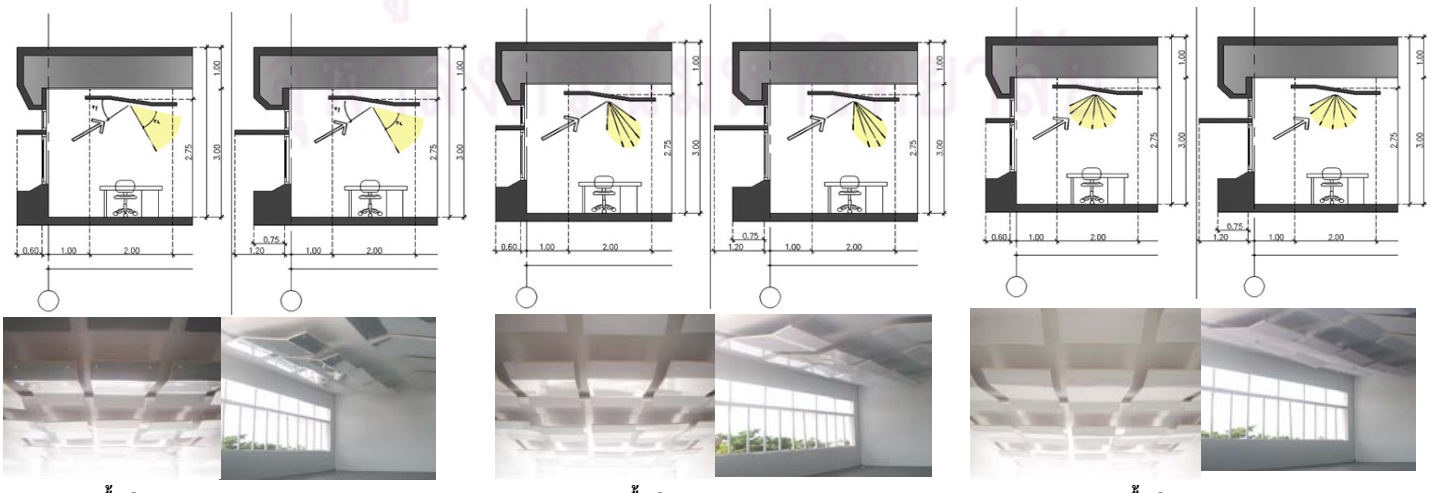
แผนภูมิที่ 4.42 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.50 m.





ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	6.23	5.66	6.02	5.41	5.69	5.20	9.28	6.91	8.74	6.51	8.28	6.42
2.00 m.	4.39	4.00	4.15	3.72	3.97	3.62	6.28	4.53	5.94	4.29	5.52	3.87
3.00 m.	3.15	2.57	3.25	2.65	2.81	2.37	4.17	2.88	3.98	3.08	3.47	2.52
4.00 m.	2.17	1.68	2.43	1.83	1.95	1.57	2.89	2.01	2.96	2.16	2.30	1.64
5.00 m.	1.50	1.12	1.69	1.26	1.42	1.12	2.09	1.34	2.31	1.50	1.62	1.09
6.00 m.	1.11	0.83	1.18	0.94	1.07	0.84	1.52	1.03	1.66	1.03	1.20	0.79
7.00 m.	0.94	0.65	0.95	0.73	0.81	0.63	1.18	0.80	1.22	0.80	0.92	0.59
8.00 m.	0.74	0.49	0.69	0.57	0.64	0.49	0.92	0.60	0.89	0.61	0.73	0.43
9.00 m.	0.59	0.40	0.56	0.46	0.53	0.40	0.75	0.47	0.70	0.44	0.59	0.32
10.00 m.	0.48	0.34	0.46	0.38	0.44	0.33	0.62	0.37	0.60	0.35	0.50	0.26
11.00 m.	0.41	0.30	0.38	0.33	0.38	0.29	0.53	0.32	0.51	0.28	0.42	0.22
12.00 m.	0.35	0.26	0.36	0.29	0.34	0.27	0.47	0.27	0.46	0.26	0.38	0.19
13.00 m.	0.37	0.25	0.33	0.29	0.32	0.26	0.44	0.25	0.43	0.22	0.34	0.18
14.00 m.	0.32	0.24	0.33	0.30	0.33	0.28	0.44	0.26	0.42	0.22	0.36	0.19
15.00 m.	0.42	0.25	0.37	0.31	0.36	0.30	0.44	0.28	0.42	0.24	0.39	0.21
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	4.40	3.70	4.60	3.80	3.95	3.60	5.30	4.20	5.50	4.40	4.70	3.75
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	27.50	23.13	28.75	23.75	24.69	22.50	33.13	26.25	34.38	27.50	29.38	23.44
ดูภาคผนวก	ค.27		ค.29		ค.31		ค.28		ค.30		ค.32	



พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

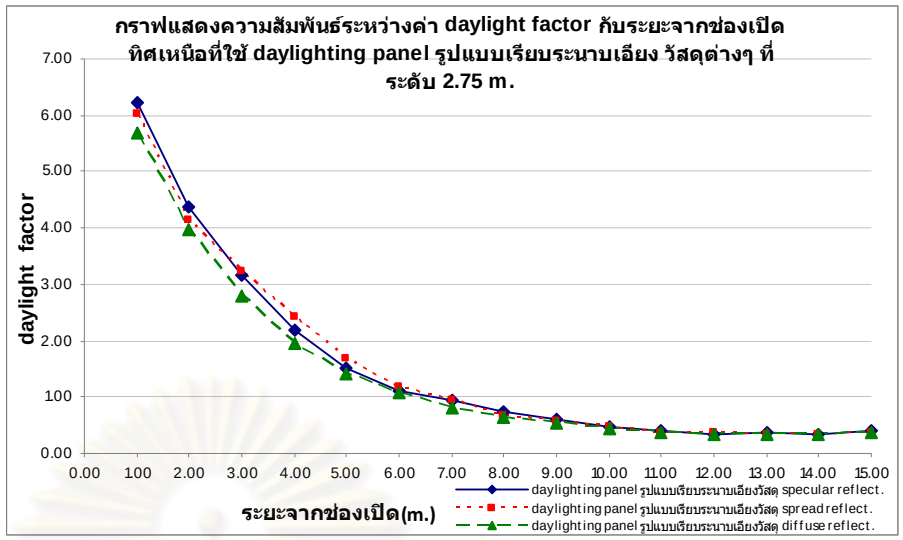
ภาพที่ 4.16 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบเอียง ที่ระดับ** 2.75 m.

แผนภูมิที่ 4.43 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงที่ระดับ 2.75m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

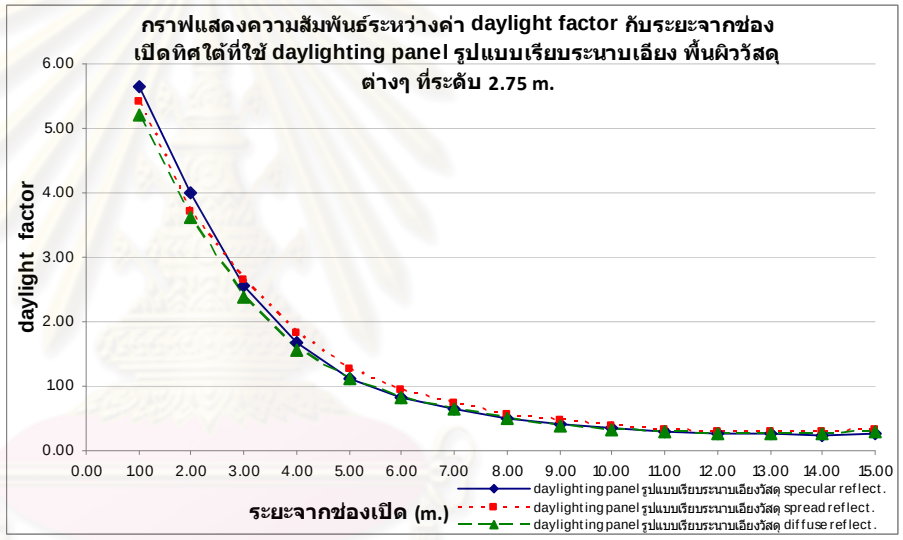
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

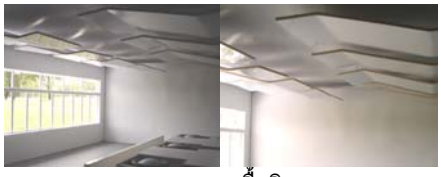
พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

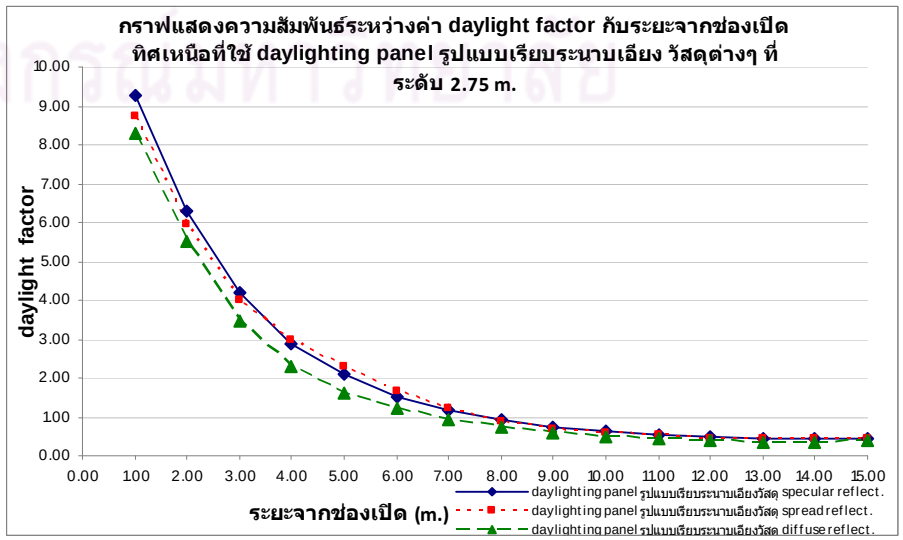


แผนภูมิที่ 4.44 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงที่ระดับ 2.75m.ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.


พื้นผิว spread reflect.

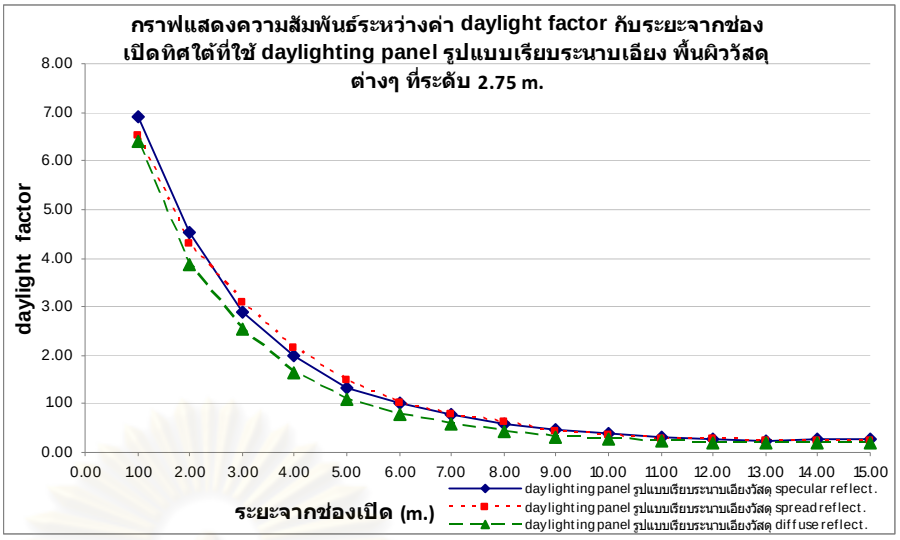
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



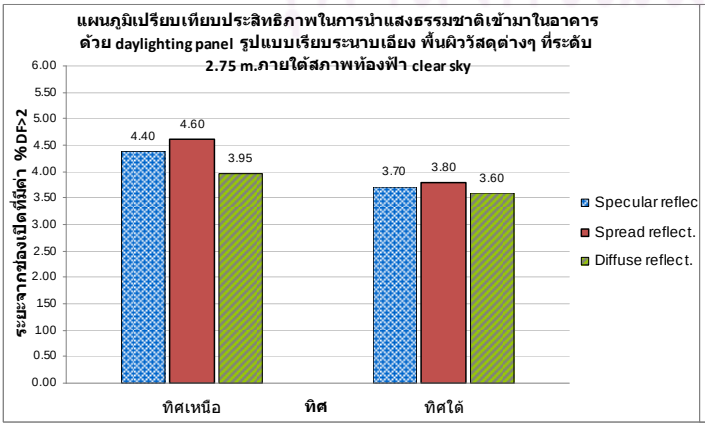
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.50 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 37.50% และในทิศใต้ 4.40 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 35.38% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.43-4.44และแผนภูมิที่ 4.45

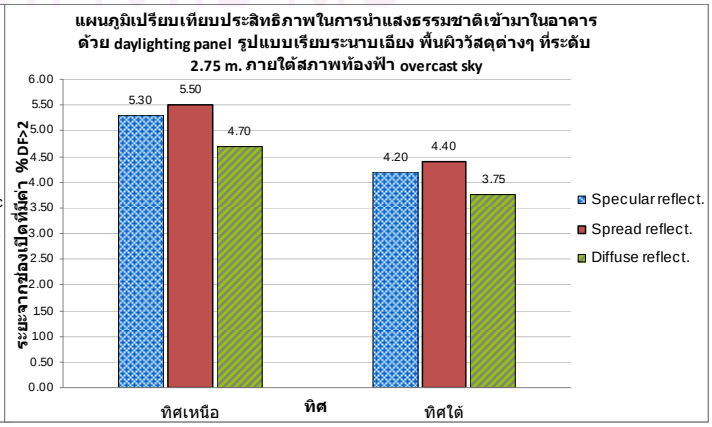
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

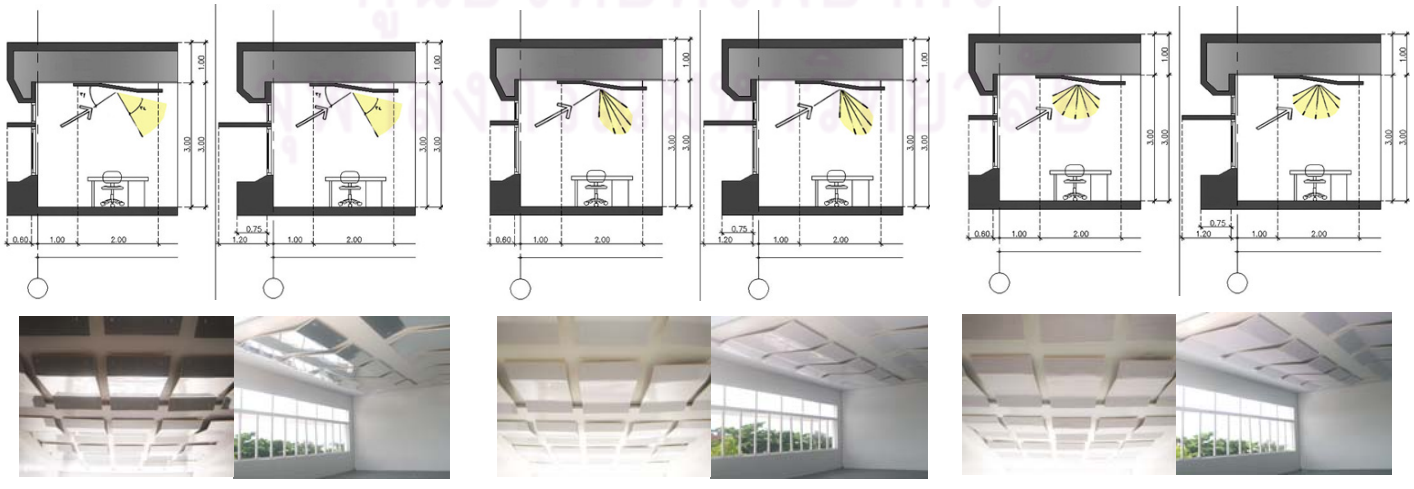
แผนภูมิที่ 4.45 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.75 m.





ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.35	4.28	5.03	3.57	4.51	3.69	9.32	5.95	8.08	5.36	7.73	5.19
2.00 m.	3.72	2.77	3.49	2.60	3.10	2.60	6.05	4.01	5.55	3.59	5.19	3.42
3.00 m.	2.46	1.76	2.48	2.02	2.01	1.85	3.95	2.64	3.83	2.54	3.38	2.25
4.00 m.	1.54	1.18	1.65	1.38	1.32	1.23	2.71	1.65	2.81	1.86	2.29	1.52
5.00 m.	0.98	0.81	1.12	0.95	0.91	0.90	1.89	1.15	1.96	1.29	1.64	1.10
6.00 m.	0.70	0.61	0.84	0.73	0.71	0.68	1.39	0.85	1.59	0.90	1.23	0.83
7.00 m.	0.54	0.47	0.66	0.58	0.56	0.52	1.02	0.64	1.23	0.70	0.95	0.64
8.00 m.	0.43	0.38	0.48	0.43	0.40	0.41	0.86	0.48	0.91	0.57	0.76	0.51
9.00 m.	0.32	0.30	0.39	0.34	0.28	0.33	0.66	0.38	0.70	0.46	0.62	0.41
10.00 m.	0.26	0.25	0.31	0.30	0.26	0.27	0.50	0.32	0.53	0.39	0.51	0.35
11.00 m.	0.22	0.23	0.25	0.26	0.21	0.23	0.47	0.27	0.44	0.34	0.45	0.30
12.00 m.	0.19	0.21	0.23	0.22	0.20	0.20	0.41	0.24	0.40	0.31	0.41	0.28
13.00 m.	0.18	0.21	0.21	0.22	0.17	0.19	0.38	0.22	0.36	0.31	0.39	0.27
14.00 m.	0.19	0.22	0.20	0.22	0.23	0.20	0.38	0.24	0.33	0.32	0.39	0.28
15.00 m.	0.20	0.26	0.22	0.22	0.20	0.21	0.39	0.26	0.34	0.37	0.40	0.29
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.50	2.80	3.60	3.10	3.20	2.80	4.90	3.75	4.90	3.90	4.55	3.45
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	21.88	17.50	22.50	19.38	20.00	17.50	30.63	23.44	30.63	24.38	28.44	21.56
ดูภาคผนวก	ค.45		ค.47		ค.49		ค.46		ค.48		ค.50	



พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

ภาพที่ 4.17 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบเอียง ที่ระดับ** 3.00 m.

แผนภูมิที่ 4.46 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงที่ระดับ 3.00m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.

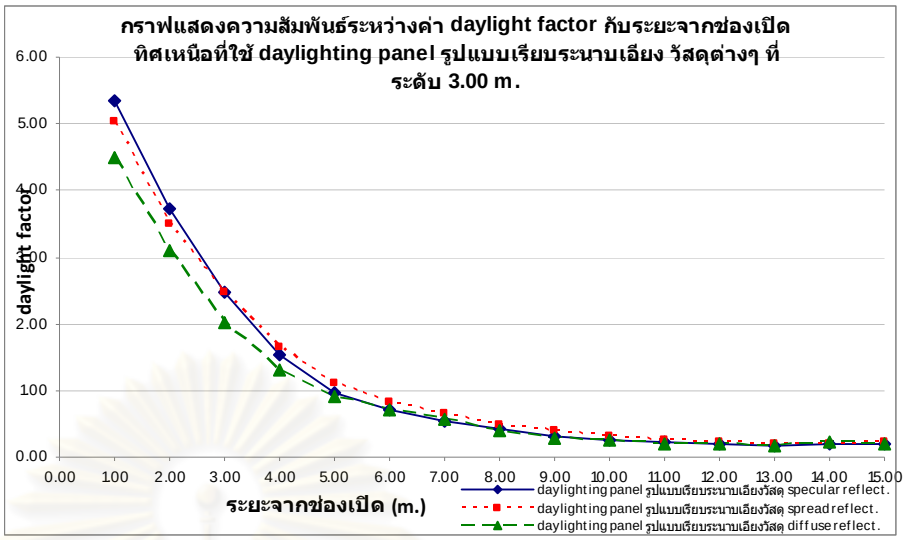
พื้นผิว spread reflect.

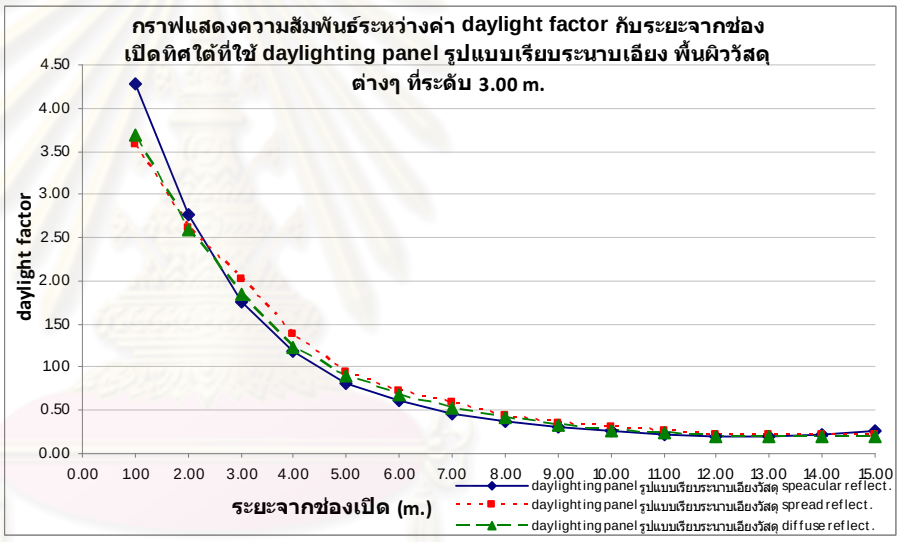
พื้นผิว diffuse reflect.

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



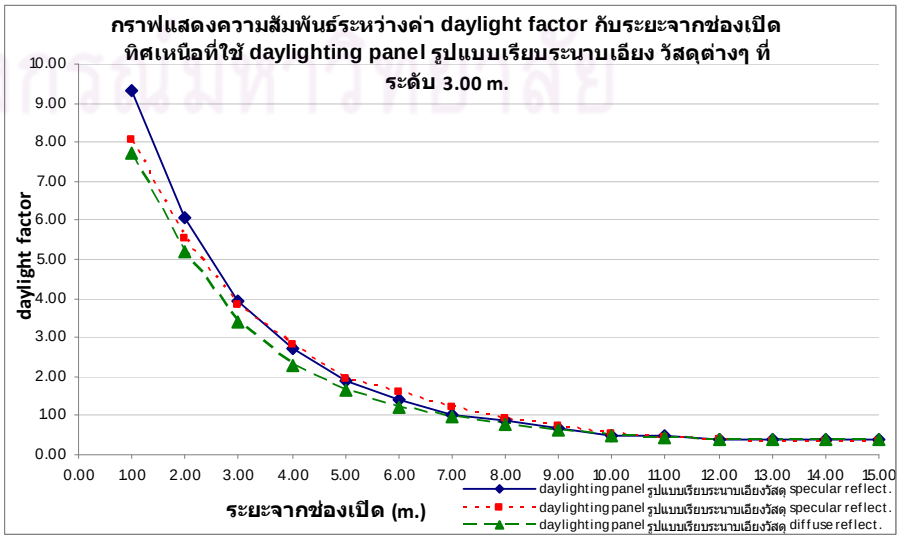


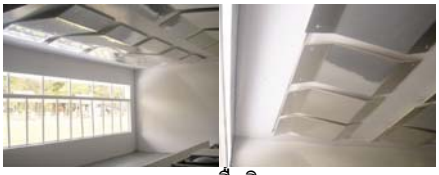
แผนภูมิที่ 4.47 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงที่ระดับ 3.00m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

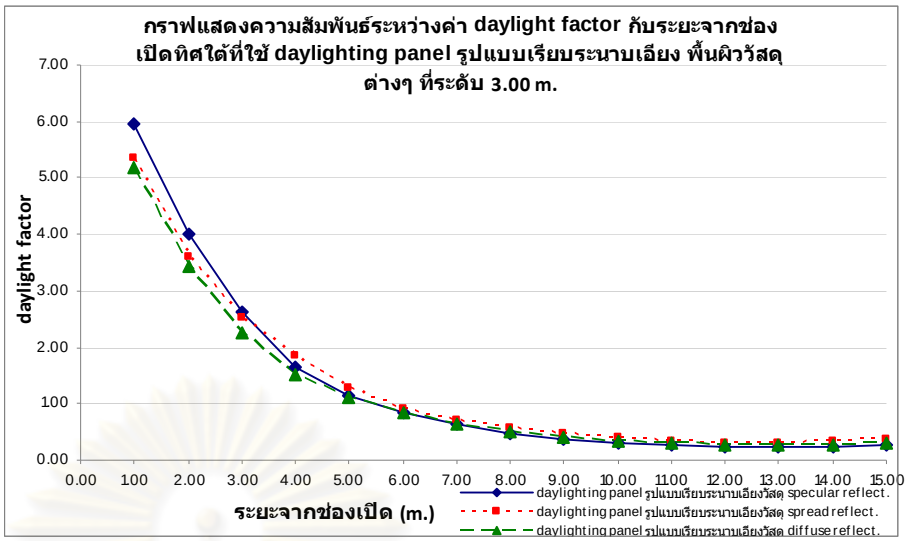




พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



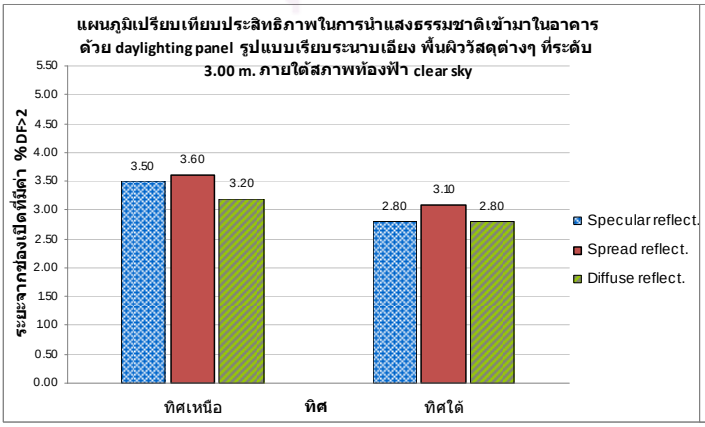
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.90 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 22.50% และในทิศใต้ 3.90 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 20.00% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.46-4.47 และแผนภูมิที่ 4.48

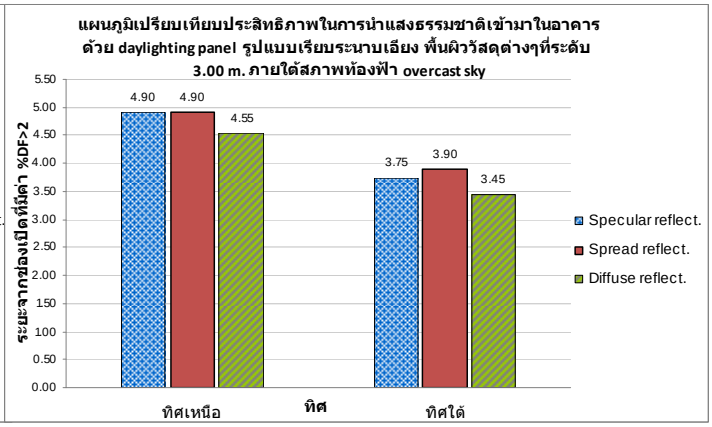
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

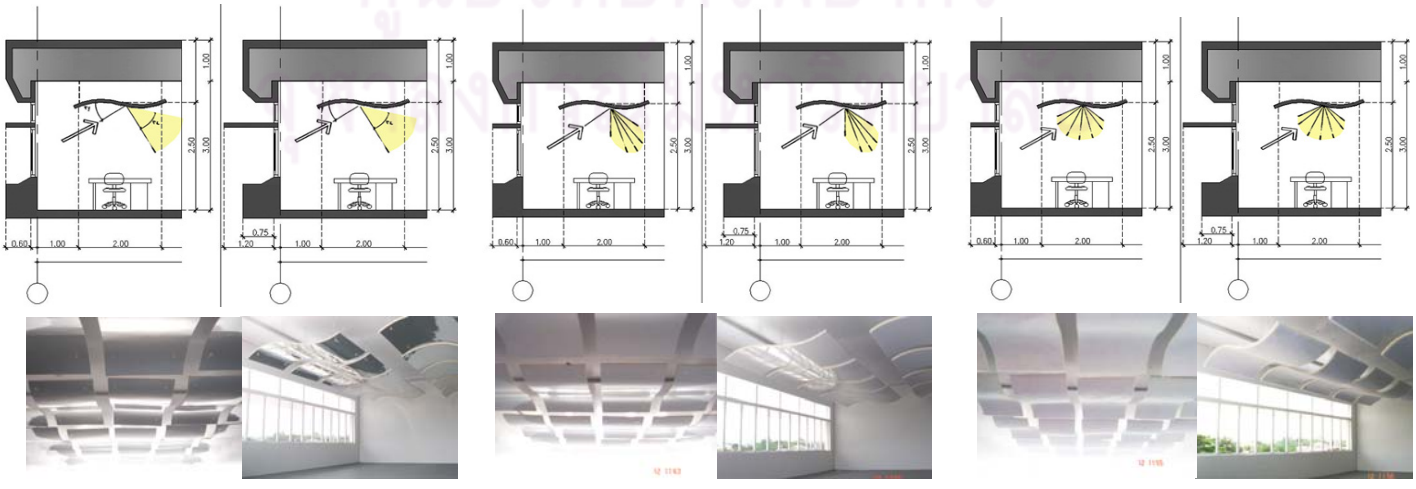
แผนภูมิที่ 4.48 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุต่างๆที่ระดับ 3.00 m.





ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	6.39	5.56	5.31	4.64	5.37	3.92	10.41	6.20	7.64	5.72	9.05	5.34
2.00 m.	4.29	3.79	3.66	3.17	3.61	2.71	6.60	4.21	5.12	4.11	5.09	3.57
3.00 m.	3.08	2.55	2.66	2.42	2.27	2.02	4.37	3.11	3.72	3.12	3.68	2.57
4.00 m.	2.12	1.62	2.02	1.85	1.40	1.47	2.89	2.28	2.85	2.38	2.48	1.91
5.00 m.	1.54	1.10	1.59	1.47	0.96	1.00	2.08	1.72	2.25	1.87	1.81	1.36
6.00 m.	1.10	0.81	1.24	1.12	0.71	0.77	1.52	1.21	1.70	1.38	1.27	0.94
7.00 m.	0.90	0.63	1.03	0.87	0.53	0.55	1.16	0.87	1.28	1.01	1.08	0.66
8.00 m.	0.68	0.47	0.82	0.66	0.41	0.49	0.91	0.66	1.02	0.79	0.76	0.50
9.00 m.	0.56	0.37	0.65	0.56	0.32	0.43	0.72	0.52	0.85	0.58	0.60	0.41
10.00 m.	0.47	0.32	0.52	0.48	0.28	0.36	0.60	0.45	0.68	0.51	0.49	0.34
11.00 m.	0.38	0.27	0.42	0.42	0.23	0.31	0.50	0.38	0.61	0.40	0.41	0.29
12.00 m.	0.35	0.25	0.36	0.39	0.21	0.30	0.44	0.33	0.53	0.36	0.36	0.26
13.00 m.	0.32	0.24	0.34	0.38	0.20	0.28	0.40	0.31	0.48	0.35	0.32	0.26
14.00 m.	0.29	0.25	0.36	0.38	0.21	0.28	0.41	0.31	0.47	0.35	0.33	0.25
15.00 m.	0.30	0.26	0.36	0.39	0.23	0.29	0.47	0.33	0.46	0.31	0.38	0.29
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	4.35	3.70	4.35	3.80	3.50	3.05	5.10	4.60	5.55	4.85	4.80	3.90
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	27.19	13.13	27.19	23.75	21.88	19.06	31.88	28.75	34.69	30.31	30.00	24.38
ดูภาคผนวก	ค.15		ค.17		ค.19		ค.16		ค.18		ค.20	



พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

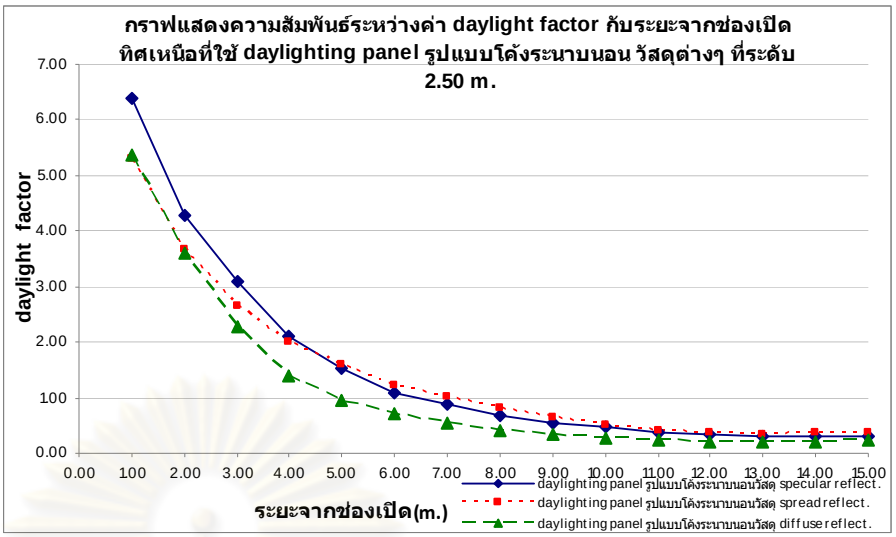
ภาพที่ 4.18 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ** 2.50 m.

แผนภูมิที่ 4.49 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ 2.50m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

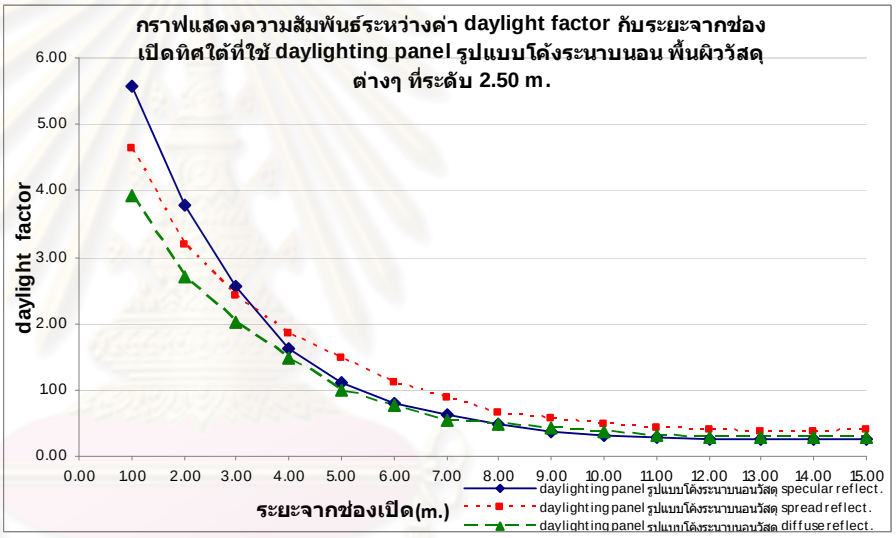
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

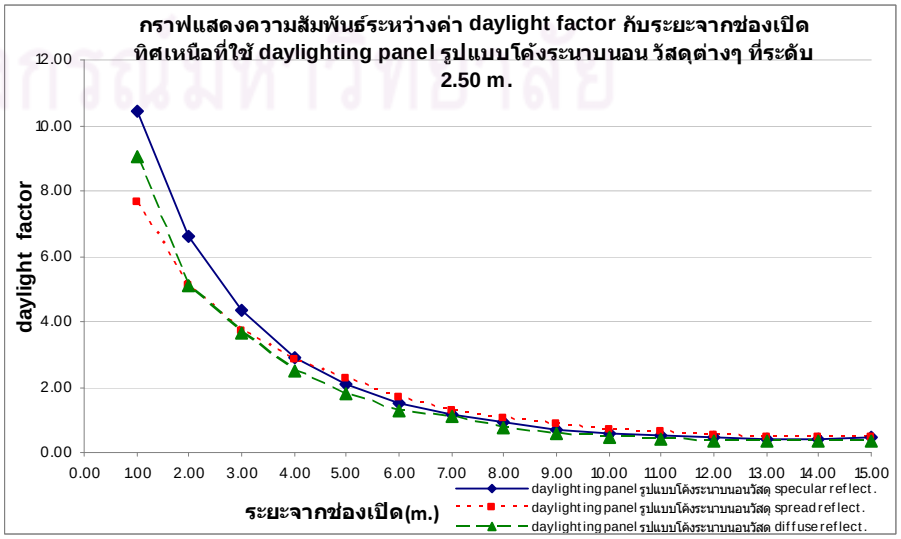


แผนภูมิที่ 4.50 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ 2.50m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

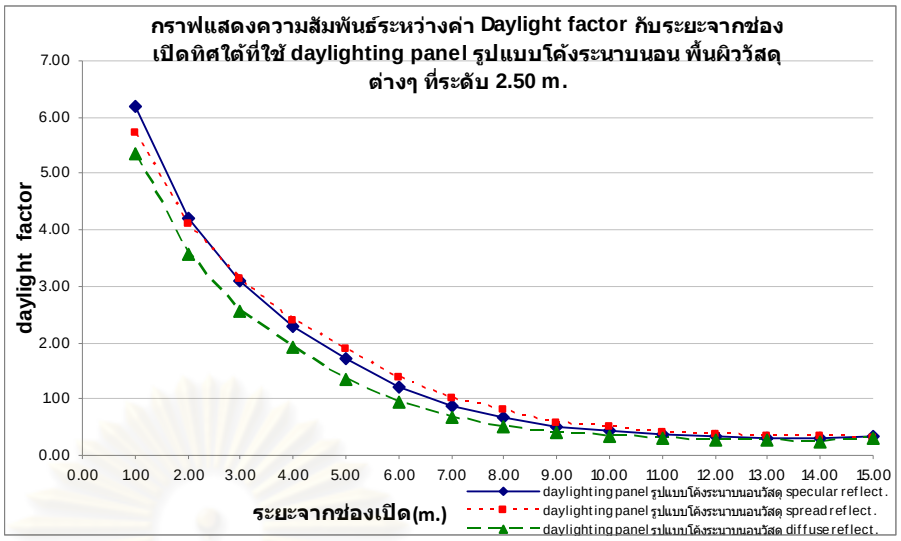
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



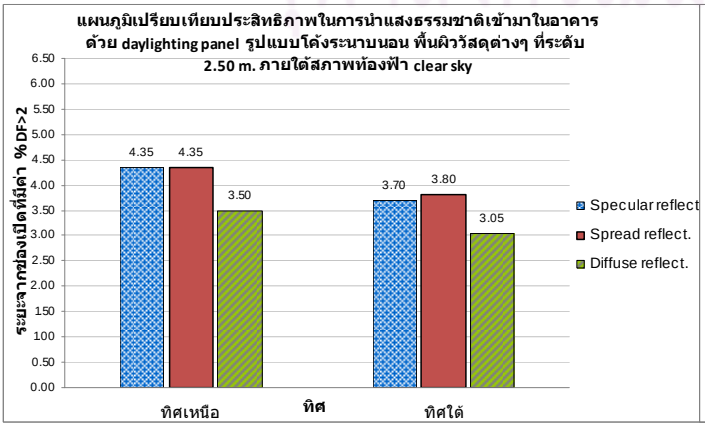
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.55 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 38.75% และในทิศใต้ 4.85 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 49.23% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.49-4.50และแผนภูมิที่ 4.51

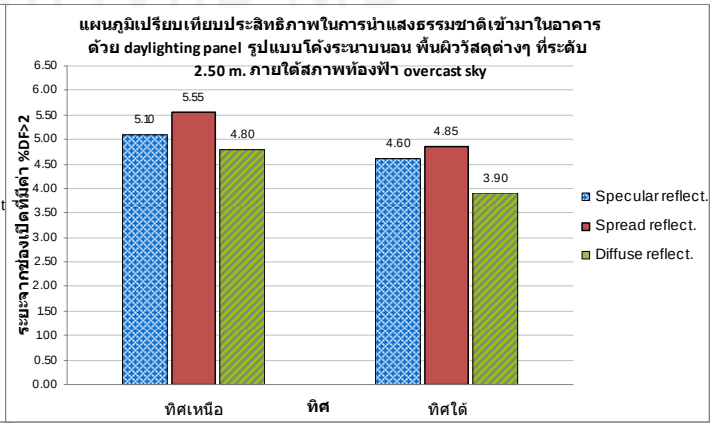
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

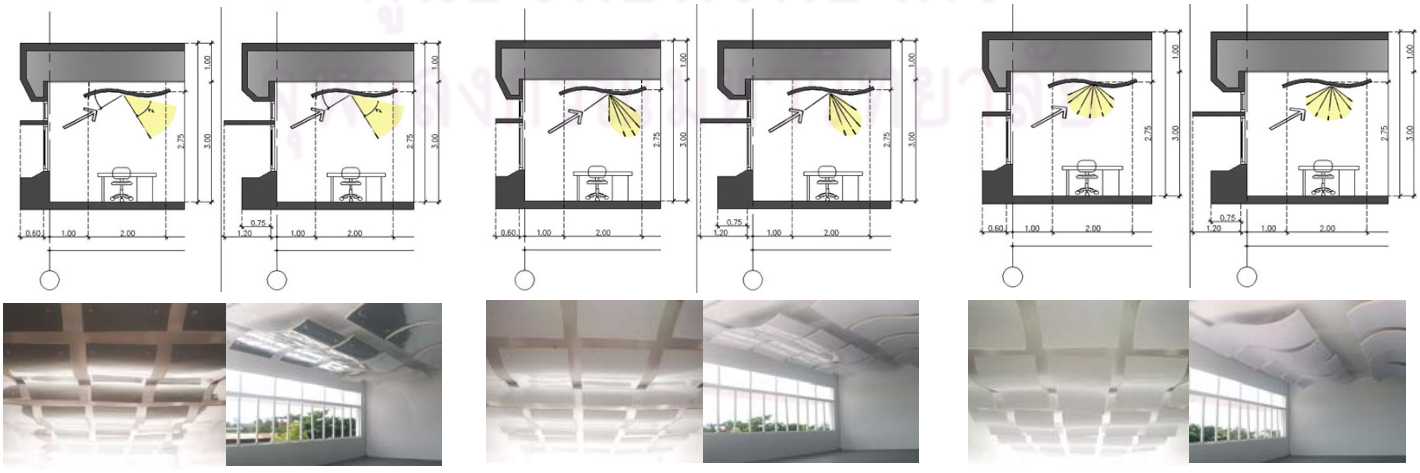
แผนภูมิที่ 4.51 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุต่าง ๆที่ระดับ 2.50 m.





ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	8.29	5.83	8.10	4.95	6.99	5.05	10.02	8.34	9.01	7.08	8.82	5.98
2.00 m.	5.35	3.99	5.21	3.67	4.48	3.47	6.70	5.22	6.41	4.98	5.80	4.13
3.00 m.	3.74	2.80	4.00	2.78	3.26	2.42	4.66	3.50	4.43	3.65	3.81	2.90
4.00 m.	2.28	1.96	2.63	2.10	1.95	1.59	3.26	2.41	3.41	2.66	2.61	2.01
5.00 m.	1.60	1.36	1.81	1.52	1.36	1.12	2.33	1.76	2.53	2.03	1.83	1.28
6.00 m.	1.17	1.07	1.46	1.14	0.98	0.84	1.73	1.18	1.82	1.42	1.34	0.88
7.00 m.	0.88	0.83	1.12	0.90	0.75	0.64	1.38	0.83	1.39	1.02	1.02	0.66
8.00 m.	0.70	0.64	0.88	0.71	0.59	0.50	1.03	0.63	1.09	0.74	0.80	0.51
9.00 m.	0.56	0.54	0.70	0.59	0.47	0.41	0.77	0.48	0.91	0.54	0.66	0.39
10.00 m.	0.47	0.46	0.70	0.52	0.38	0.35	0.64	0.39	0.74	0.45	0.55	0.31
11.00 m.	0.40	0.37	0.49	0.46	0.32	0.30	0.54	0.33	0.63	0.40	0.47	0.27
12.00 m.	0.35	0.34	0.44	0.41	0.29	0.28	0.49	0.29	0.55	0.33	0.41	0.23
13.00 m.	0.32	0.34	0.40	0.40	0.28	0.27	0.45	0.28	0.50	0.30	0.39	0.22
14.00 m.	0.33	0.33	0.38	0.40	0.27	0.27	0.42	0.28	0.47	0.28	0.39	0.22
15.00 m.	0.36	0.36	0.41	0.39	0.30	0.29	0.45	0.30	0.49	0.29	0.40	0.26
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	4.50	3.95	4.70	4.20	3.95	3.60	5.60	4.70	5.70	5.00	4.85	4.00
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	28.13	24.69	29.38	26.25	24.69	22.50	35.00	29.38	35.63	31.25	30.31	25.00
ดูภาคผนวก	ค.33		ค.35		ค.37		ค.34		ค.36		ค.38	

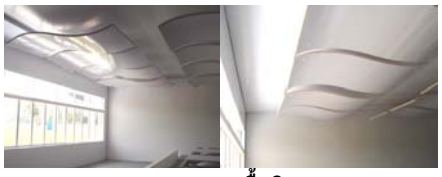


พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

ภาพที่ 4.19 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ** 2.75 m.

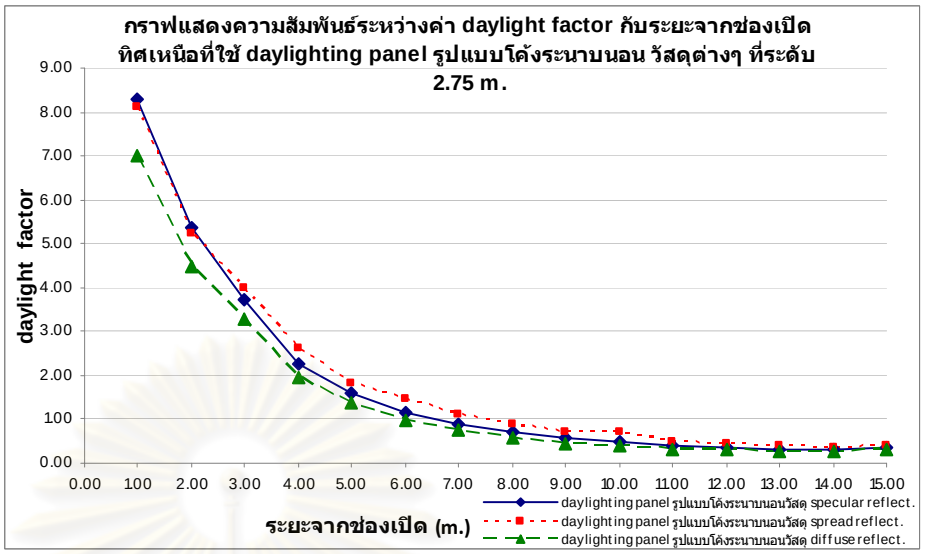
แผนภูมิที่ 4.52 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ 2.75m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.



พื้นผิว spread reflect.

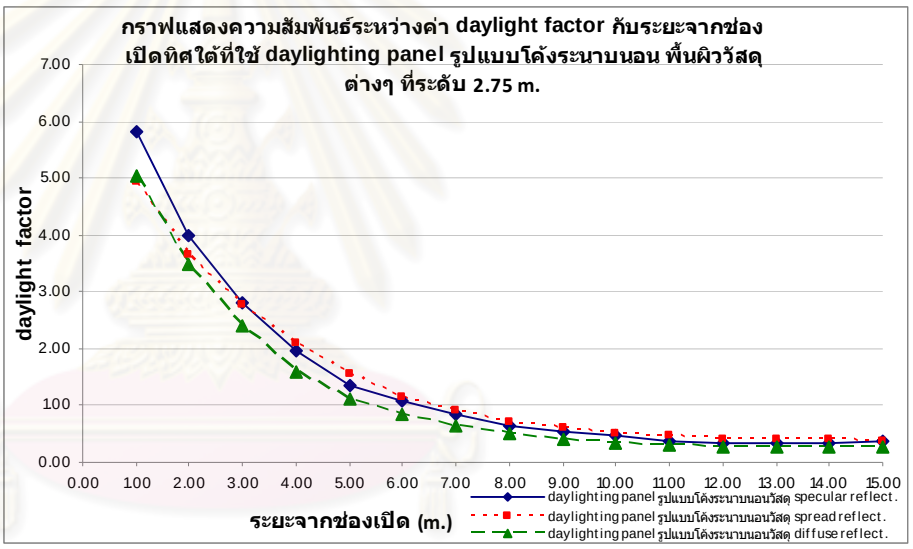
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.

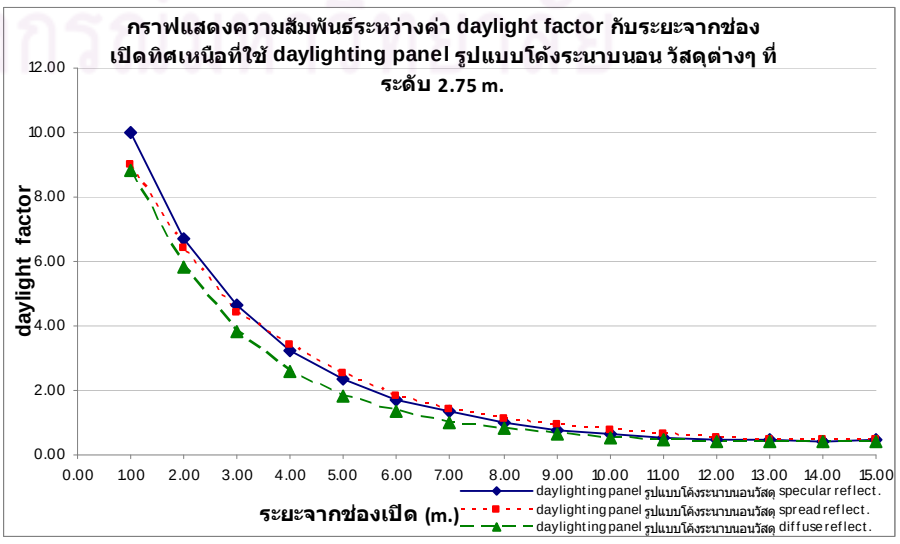


แผนภูมิที่ 4.53 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ 2.75m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

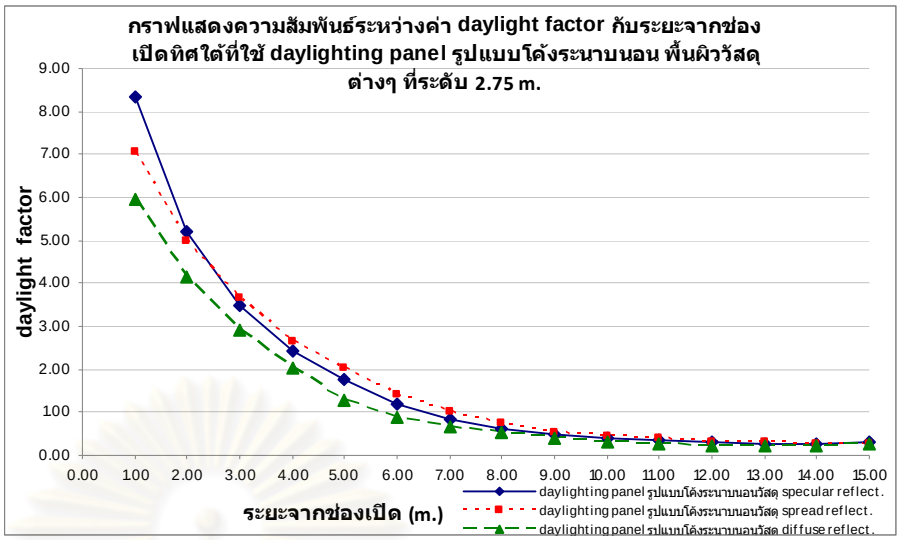
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



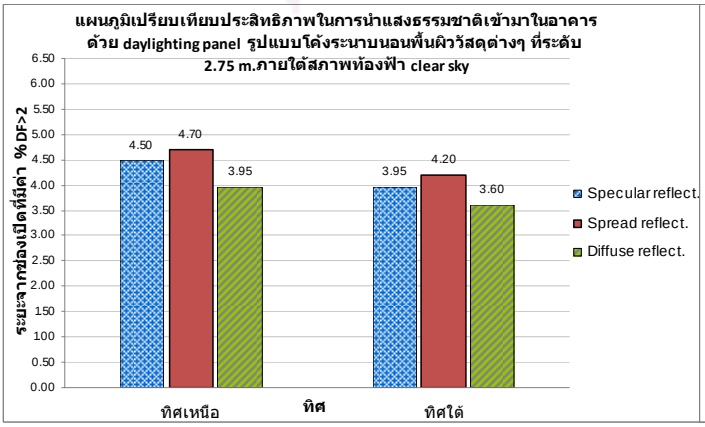
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.70 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 42.50% และในทิศใต้ 5.00 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 53.85% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.52-4.53และแผนภูมิที่ 4.54

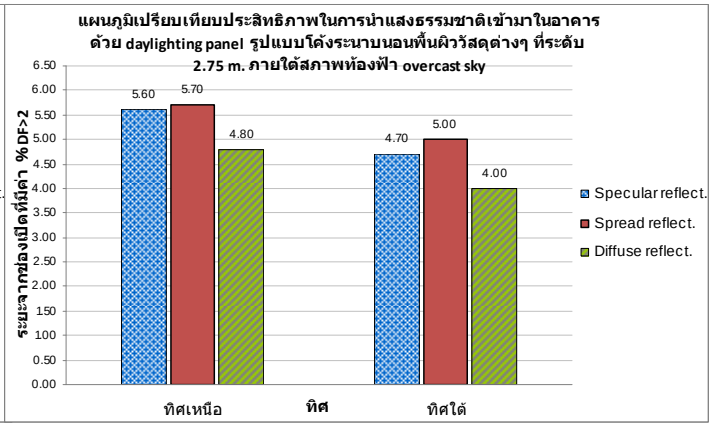
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

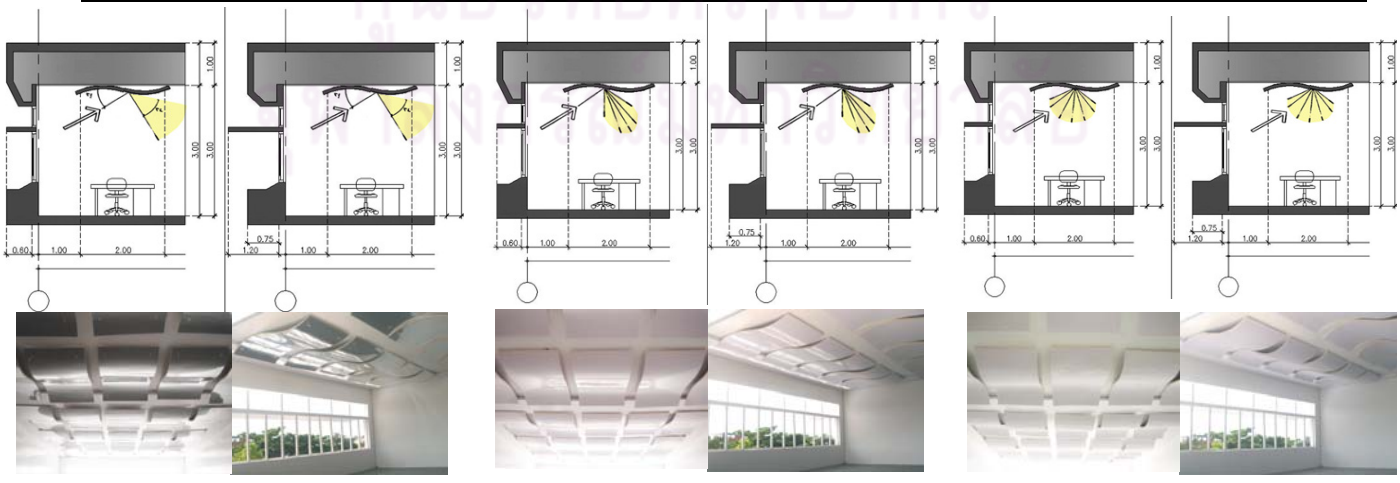
แผนภูมิที่ 4.54 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 2.75 m.





ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของวัสดุและพื้นผิว interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 เมตร

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 เมตร												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	Specular reflec.		Spread reflect.		Diffuse reflect.		Specular reflect.		Spread reflect.		Diffuse reflect.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.61	5.72	4.77	5.06	4.94	4.51	8.47	5.79	9.65	5.24	7.28	4.59
2.00 m.	3.81	3.67	3.45	3.43	3.26	3.06	6.43	4.06	5.80	3.90	5.64	3.38
3.00 m.	2.76	2.43	2.57	2.53	2.16	1.97	4.28	2.95	4.07	2.82	3.84	2.45
4.00 m.	2.04	1.47	2.10	1.69	1.32	1.22	2.85	2.10	3.15	2.22	2.49	1.69
5.00 m.	1.45	0.97	1.50	1.19	0.91	0.87	1.98	1.51	2.33	1.74	1.80	1.19
6.00 m.	1.08	0.69	1.12	0.88	0.66	0.65	1.47	1.11	1.63	1.28	1.37	0.90
7.00 m.	0.87	0.53	0.96	0.72	0.50	0.51	1.16	0.85	1.23	0.96	1.06	0.68
8.00 m.	0.74	0.39	0.76	0.55	0.39	0.39	0.92	0.67	0.95	0.73	0.84	0.56
9.00 m.	0.60	0.28	0.58	0.44	0.30	0.30	0.75	0.55	0.78	0.57	0.68	0.46
10.00 m.	0.50	0.22	0.49	0.37	0.24	0.25	0.63	0.46	0.60	0.47	0.67	0.39
11.00 m.	0.41	0.18	0.39	0.30	0.20	0.21	0.54	0.40	0.47	0.41	0.49	0.33
12.00 m.	0.38	0.15	0.36	0.29	0.18	0.18	0.47	0.35	0.41	0.38	0.45	0.30
13.00 m.	0.37	0.14	0.34	0.27	0.16	0.17	0.44	0.33	0.38	0.36	0.41	0.29
14.00 m.	0.35	0.15	0.34	0.26	0.16	0.18	0.44	0.34	0.38	0.35	0.42	0.29
15.00 m.	0.34	0.16	0.29	0.27	0.18	0.20	0.45	0.35	0.42	0.33	0.43	0.29
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	4.15	3.60	4.20	3.70	3.20	2.95	4.95	4.20	5.50	4.45	4.80	3.65
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	25.94	22.50	26.25	23.13	20.00	18.44	30.94	26.25	34.38	27.81	30.00	22.81
ดูภาคผนวก	ค.51		ค.53		ค.55		ค.52		ค.54		ค.56	



พื้นผิววัสดุ specular reflect. **พื้นผิววัสดุ** spread reflect. **พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

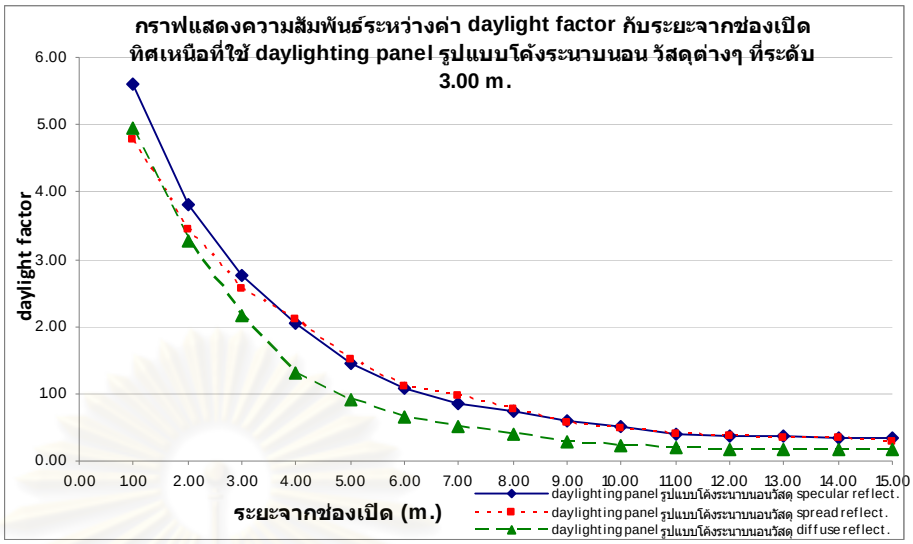
ภาพที่ 4.20 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ** daylighting panels **รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ** 3.00 m.

แผนภูมิที่ 4.55 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ 3.00m. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

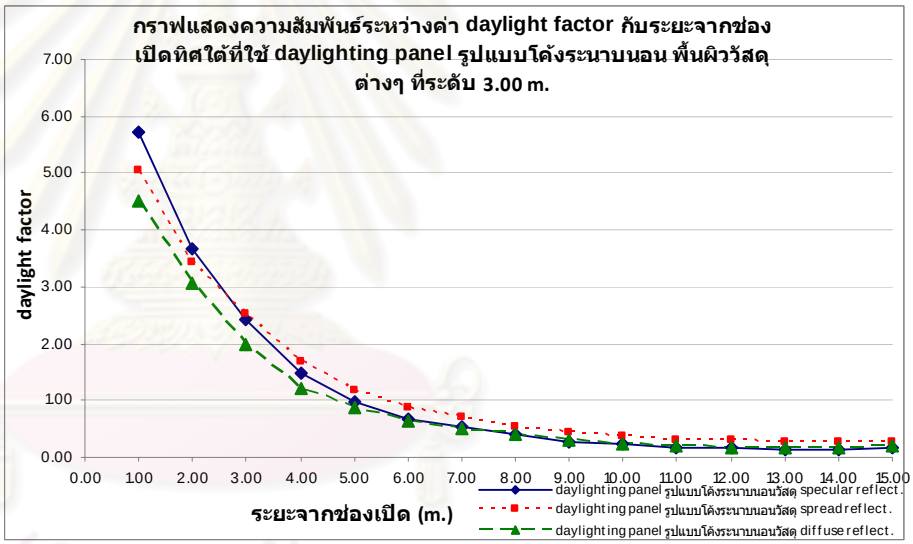
พื้นผิว diffuse reflect.



พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.

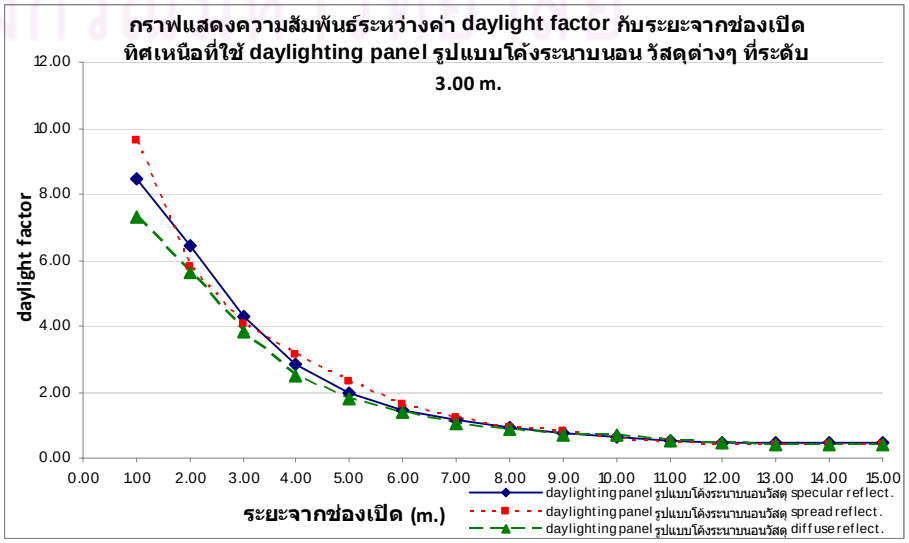
พื้นผิว diffuse reflect.



แผนภูมิที่ 4.56 กราฟแสดงผลการทดลองวัสดุ lighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ที่ระดับ 3.00m. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

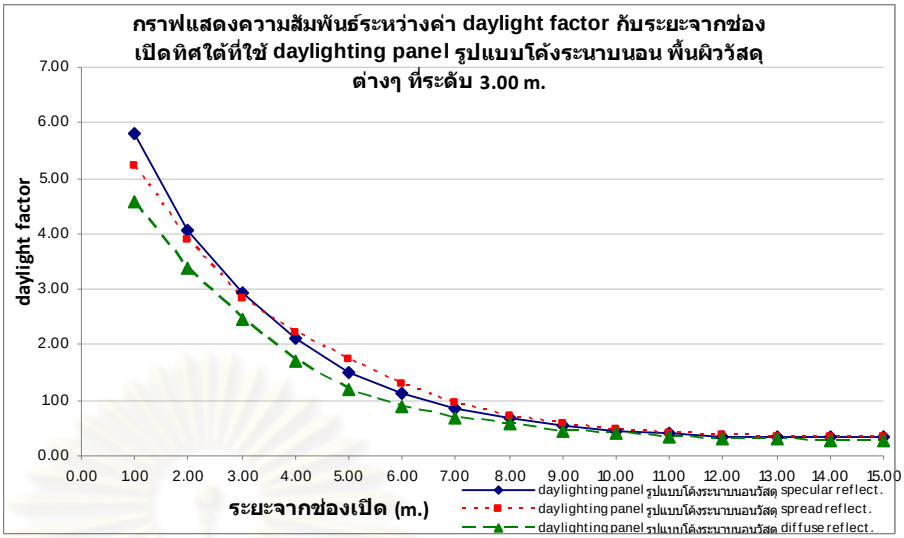
พื้นผิว specular reflect.

พื้นผิว spread reflect.



พื้นผิว spread reflect.

พื้นผิว diffuse reflect.



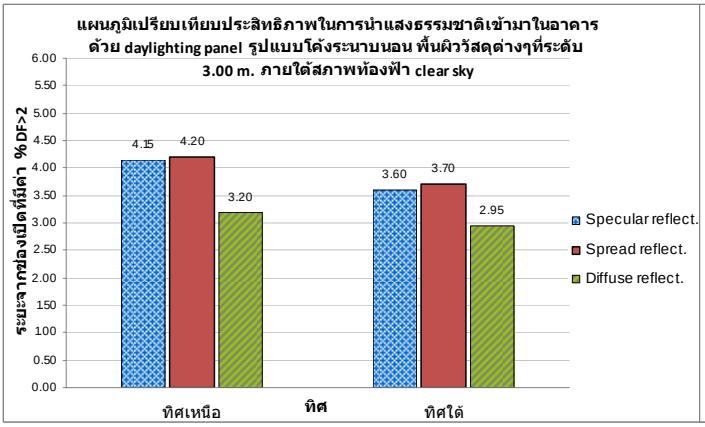
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตรกับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระเจิงแสง (spread reflect.) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า พื้นผิว specular reflect. และพื้นผิว diffuse reflect.ตามลำดับ โดยรูปแบบพื้นผิววัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ daylighting panels พื้นผิว spread reflect. ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.50 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 37.50% และในทิศใต้ 4.45 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 36.92% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.55-4.56 และแผนภูมิที่ 4.57

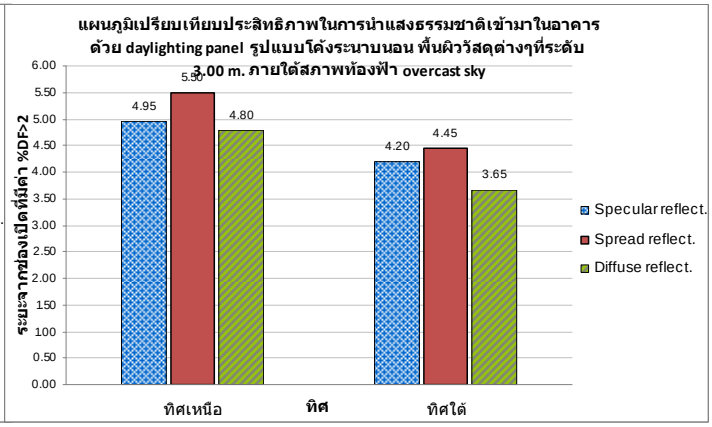
พื้นผิววัสดุ specular reflect.

พื้นผิววัสดุ spread reflect.

พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.

แผนภูมิที่ 4.57 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุต่างๆที่ระดับ 3.00 m.





ตารางที่ 4.23 สรุปผลการศึกษาตัวแปรกายภาพด้านพื้นผิววัสดุที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ daylighting panels

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง ทิศเหนือ-ทิศใต้ (เรียงตามลำดับประสิทธิภาพ)	ผลการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า	ระยะแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (m.)					
				ทิศเหนือ			ทิศใต้		
				ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)	ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)
4.1.1. ตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel									
2.	พื้นผิววัสดุ interior daylighting panels (ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพที่สุด พบในการทดลองพื้นผิววัสดุ interiordaylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอนที่ระดับ 2.75 เมตร)	1. พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระเจิง(spread reflect.)	Clear sky	4.70	+1.65	54.09%	4.20	+1.70	68.00%
			Overcast sky	5.70	+1.70	42.50%	5.00	+1.75	53.85%
		2. พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจก(specular reflect.)	Clear sky	4.50	+1.50	47.54%	3.95	+1.45	58.00%
			Overcast sky	5.60	+1.60	40.00%	4.70	+1.45	44.61%
		3. พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflect.)	Clear sky	3.95	+0.90	29.51%	3.60	+1.10	44.00%
			Overcast sky	4.85	+0.85	21.25%	4.00	+0.75	23.08%

หมายเหตุ : ระยะที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองนี้เป็นระยะที่เพิ่มจากกรณีปกติ (base case)

จากการศึกษาตัวแปรกายภาพด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels พบว่า daylighting panels ที่มีพื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระเจิงแสง(spread reflect)ที่รวมการสะท้อนแสงแบบกระจกและกระจายเข้าด้วยกันมีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ (2%DF)ได้ดีกว่า พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจก(specular reflect)และพื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจาย(diffuse reflect)ตามลำดับ ดังนี้

1) พื้นผิววัสดุ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่พบจากการทดลอง เป็น daylighting panels **พื้นผิววัสดุ spread reflect.** รูปแบบโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.70 เมตรและทิศใต้ 4.20 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.65 เมตร(54.09%) และทิศใต้ 1.70 เมตร(68.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตรและทิศใต้ 5.00 เมตร เพิ่มจาก base case ทิศเหนือ 1.70 เมตร(42.50%) และทิศใต้ 1.75 เมตร(53.85%)

2) พื้นผิววัสดุ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ 2 ที่พบจากการทดลอง เป็น daylighting panels **พื้นผิววัสดุ specular reflect.** รูปแบบโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.50 เมตรและทิศใต้ 3.95 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.50 เมตร(47.54%) และทิศใต้ 1.45 เมตร(58.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.60 เมตร และทิศใต้ 4.70 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base caseในทิศเหนือ 1.60 เมตร(40.00%),ทิศใต้ 1.45 เมตร(44.61%)

3) พื้นผิววัสดุ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ 3 ที่พบจากการทดลอง เป็น daylighting panel **พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.** รูปแบบโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 3.95 เมตรและทิศใต้ 3.60 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 0.90 เมตร(29.51%) และทิศใต้ 1.10 เมตร(44.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.85 เมตร และทิศใต้ 4.00 เมตร เพิ่มจาก base caseในทิศเหนือ 0.85 เมตร (21.25%),ทิศใต้ 0.75 เมตร(23.08%)

3) **ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านระดับของการติดตั้ง** interior daylighting panels

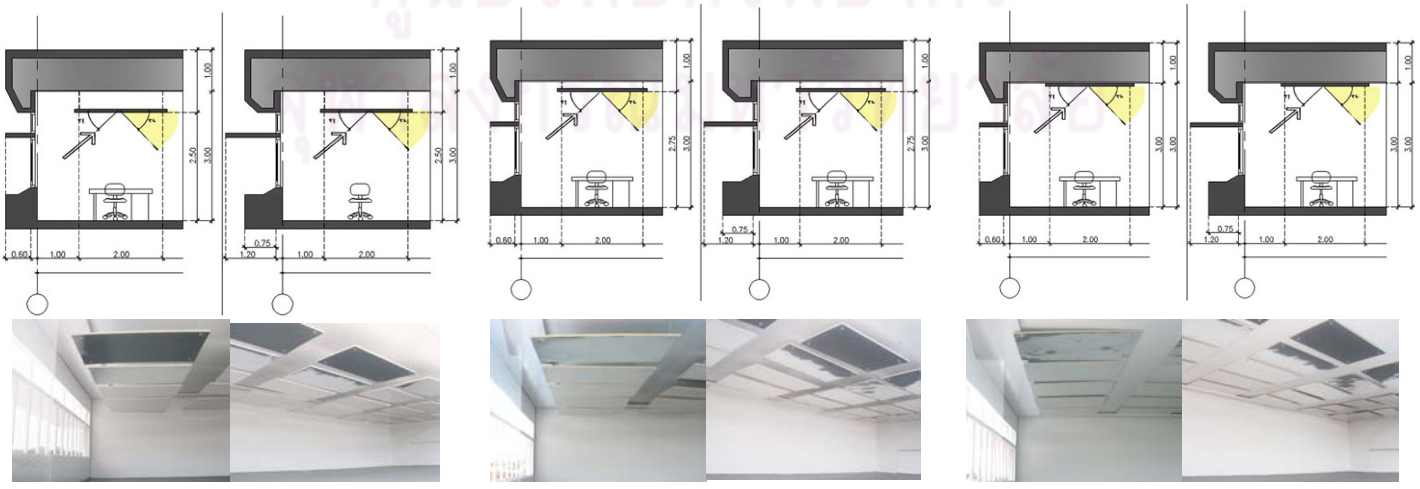
ตารางที่ 4.24 แสดงการกำหนดตัวแปรกายภาพที่ใช้ในการทดลองด้านระดับติดตั้งของ daylighting panels

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม	หมายเหตุ
ระดับติดตั้ง interior daylighting panels	ค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบใช้งาน	สภาพท้องฟ้าในการทดสอบ	ทดสอบในสภาพท้องฟ้า clear sky และ overcast sky
		ทิศในการทดสอบ	ทิศเหนือและทิศใต้
		หุ่นจำลอง -รูปแบบช่องเปิด -องค์ประกอบภายใน พื้น,ผนัง,ฝ้าเพดาน	รายละเอียดในตารางที่ 3.8 -3.9
		Light shelves ภายนอก	รายละเอียดในหน้าที่ 54 - 55
		ชนิดของกระจก	กระจกโฟลตใสความหนา 6 มม. ที่มีค่าการส่องผ่าน 90 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ specular reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน พื้นผิววัสดุ specular reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.18	3.78	6.99	5.93	4.52	3.78	8.04	5.24	8.87	6.97	9.02	5.97
2.00 m.	3.34	2.90	4.66	4.11	2.82	2.56	5.72	3.67	5.79	4.07	5.72	3.90
3.00 m.	2.25	1.81	2.97	2.56	1.95	1.79	3.72	2.48	3.82	2.51	3.70	2.55
4.00 m.	1.50	1.25	1.90	1.61	1.23	1.18	2.58	1.68	2.63	1.66	2.47	1.52
5.00 m.	1.06	0.92	1.40	1.17	0.85	0.87	1.86	1.20	1.84	1.18	1.66	1.07
6.00 m.	0.80	0.71	1.06	0.89	0.63	0.68	1.45	0.91	1.38	0.90	1.23	0.75
7.00 m.	0.59	0.54	0.80	0.64	0.48	0.54	1.09	0.69	1.01	0.67	0.94	0.59
8.00 m.	0.46	0.43	0.63	0.49	0.36	0.43	0.91	0.55	0.82	0.52	0.73	0.44
9.00 m.	0.37	0.33	0.50	0.39	0.28	0.35	0.71	0.43	0.67	0.40	0.58	0.34
10.00 m.	0.31	0.29	0.42	0.32	0.24	0.30	0.60	0.36	0.55	0.32	0.47	0.28
11.00 m.	0.27	0.24	0.36	0.29	0.20	0.26	0.51	0.32	0.47	0.28	0.40	0.25
12.00 m.	0.24	0.21	0.32	0.26	0.18	0.24	0.46	0.29	0.41	0.25	0.36	0.22
13.00 m.	0.23	0.20	0.31	0.25	0.18	0.24	0.43	0.28	0.38	0.25	0.33	0.21
14.00 m.	0.23	0.21	0.31	0.25	0.19	0.24	0.43	0.29	0.41	0.25	0.33	0.22
15.00 m.	0.25	0.23	0.33	0.28	0.20	0.26	0.44	0.31	0.42	0.28	0.35	0.27
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.50	2.90	3.90	3.70	2.95	2.80	4.90	3.75	4.90	3.80	4.70	3.70
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	21.88	18.13	24.38	23.13	18.44	17.50	30.63	23.44	30.63	23.75	29.38	23.13
ดูภาคผนวก	ค.3		ค.39		ค.51		ค.4		ค.40		ค.52	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

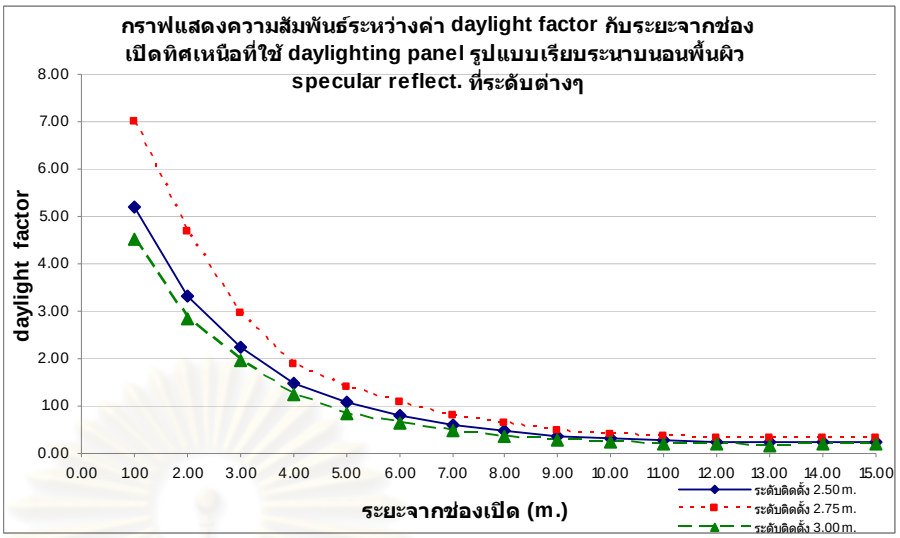
ภาพที่ 4.21 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบนอน พื้นผิววัสดุ** specular reflect.

แผนภูมิที่4.58 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบนอน วัสดุspecular reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

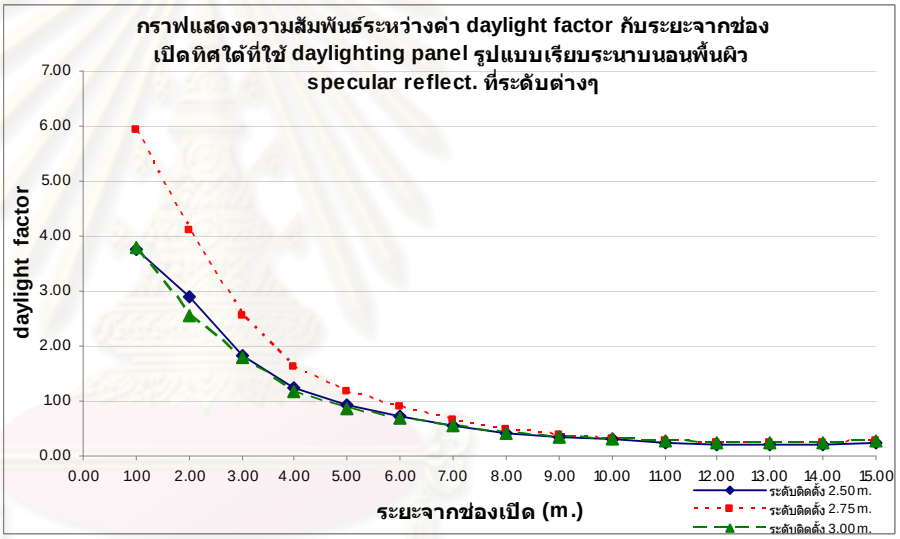
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

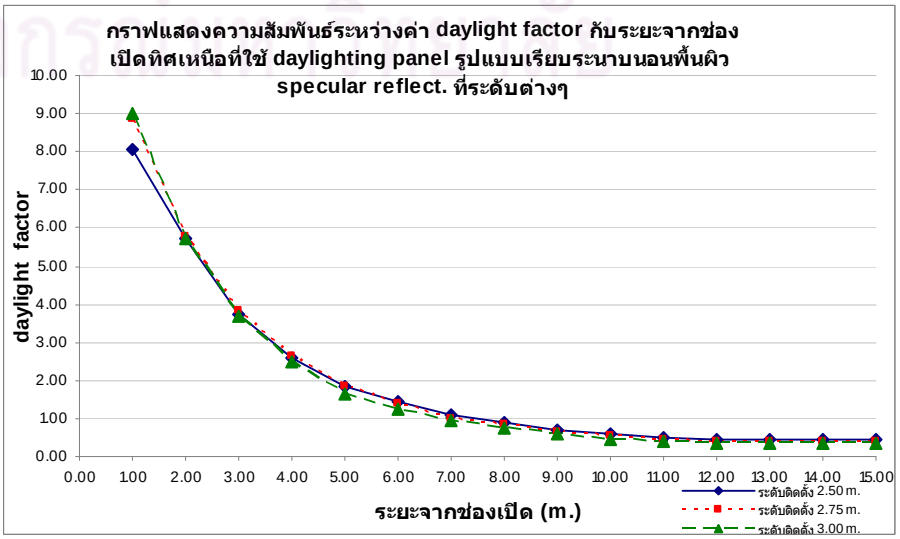


แผนภูมิที่4.59 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบนอน วัสดุspecular reflect. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

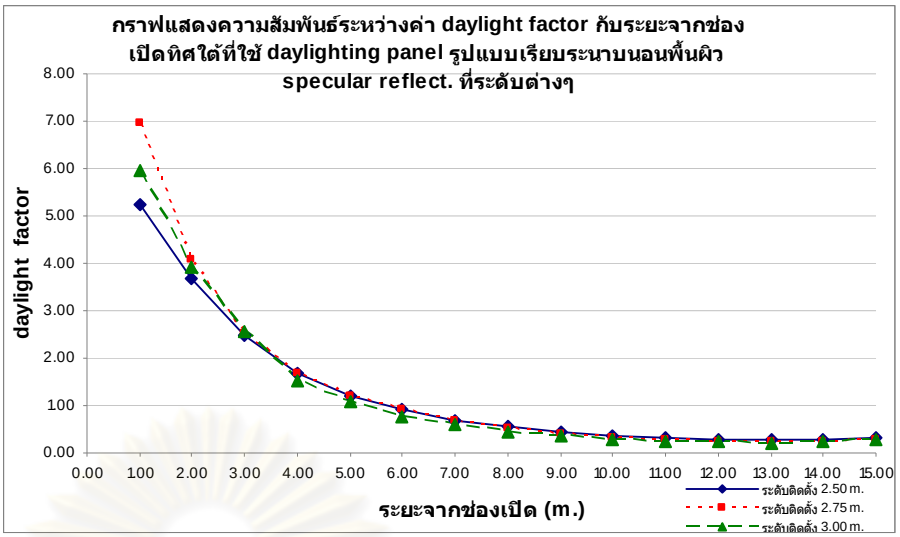
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



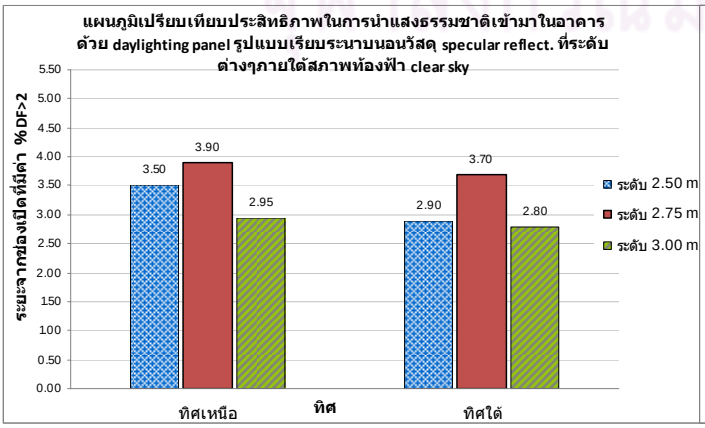
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอนวัสดุ specular reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตร และ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF)ในทิศเหนือได้ระยะ 4.90 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 22.50% และทิศใต้ 3.80 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 16.92% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.58-4.59 และแผนภูมิที่ 4.60

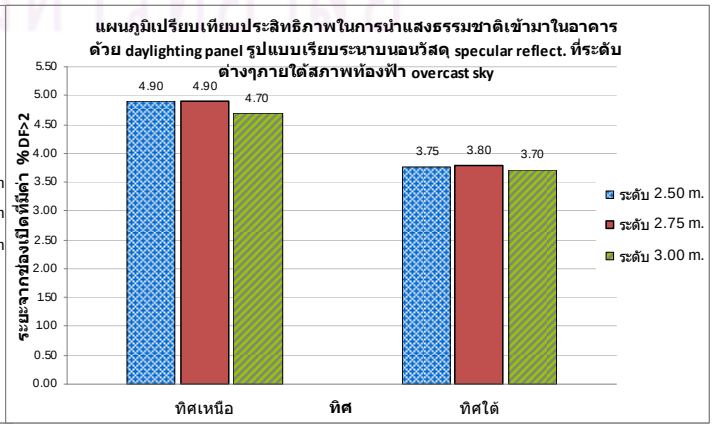
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

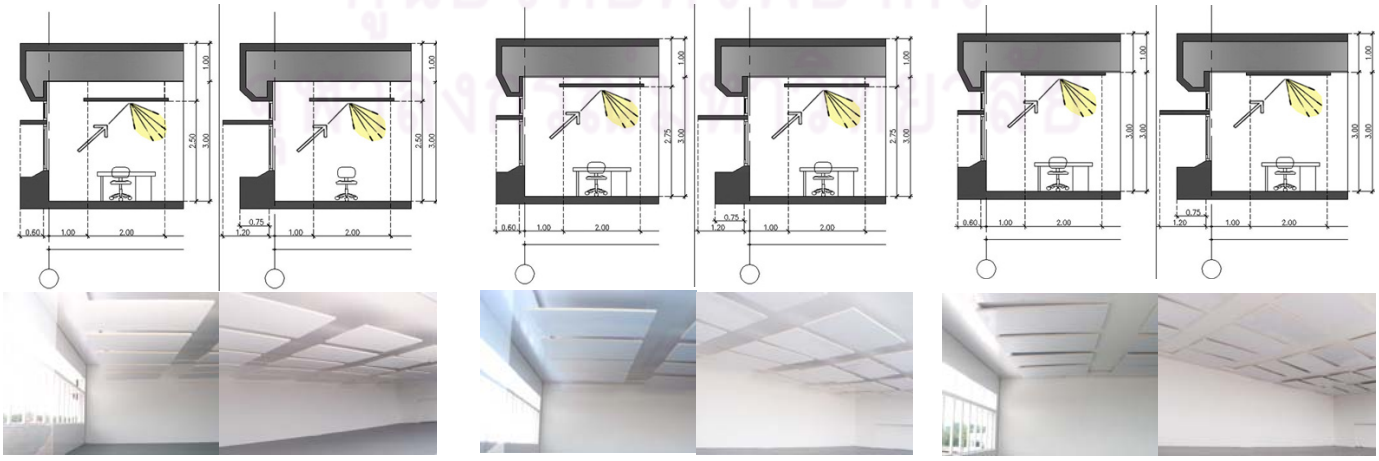
แผนภูมิที่ 4.60 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ specular ที่ระดับต่างๆ





ตารางที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ spread reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน พื้นผิววัสดุ spread reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.34	3.70	5.48	5.02	4.11	3.65	7.12	4.69	8.55	5.84	8.36	5.65
2.00 m.	3.05	2.62	3.85	3.54	2.58	2.39	4.93	3.34	5.75	3.98	5.45	3.68
3.00 m.	2.29	1.97	2.62	2.47	1.96	1.84	3.65	2.45	4.06	2.84	3.80	2.57
4.00 m.	1.82	1.40	1.95	1.76	1.47	1.33	2.68	1.84	2.93	2.02	2.71	1.68
5.00 m.	1.36	1.08	1.50	1.31	1.04	1.04	1.94	1.35	2.02	1.43	1.81	1.22
6.00 m.	1.02	0.81	1.10	1.00	0.76	0.81	1.61	1.01	1.46	1.06	1.45	0.87
7.00 m.	0.79	0.61	0.78	0.70	0.54	0.64	1.23	0.73	1.11	0.75	0.99	0.69
8.00 m.	0.65	0.47	0.60	0.56	0.43	0.51	0.97	0.57	0.90	0.60	0.79	0.51
9.00 m.	0.51	0.38	0.45	0.44	0.34	0.43	0.82	0.48	0.75	0.47	0.60	0.37
10.00 m.	0.38	0.32	0.36	0.39	0.38	0.38	0.70	0.41	0.62	0.39	0.51	0.30
11.00 m.	0.32	0.28	0.31	0.33	0.25	0.33	0.58	0.36	0.54	0.33	0.37	0.27
12.00 m.	0.29	0.24	0.28	0.28	0.21	0.30	0.53	0.34	0.48	0.29	0.33	0.24
13.00 m.	0.29	0.23	0.26	0.27	0.20	0.30	0.51	0.34	0.45	0.27	0.28	0.24
14.00 m.	0.29	0.23	0.26	0.27	0.20	0.31	0.50	0.33	0.45	0.27	0.28	0.25
15.00 m.	0.29	0.24	0.29	0.28	0.21	0.32	0.53	0.39	0.47	0.29	0.32	0.27
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.70	2.95	3.95	3.80	2.95	2.80	4.90	3.80	5.00	4.10	4.80	3.80
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	23.13	18.44	24.69	23.75	18.44	17.50	30.63	23.75	31.25	25.63	30.00	23.75
ดูภาคผนวก	ค.5		ค.23		ค.41		ค.6		ค.24		ค.42	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

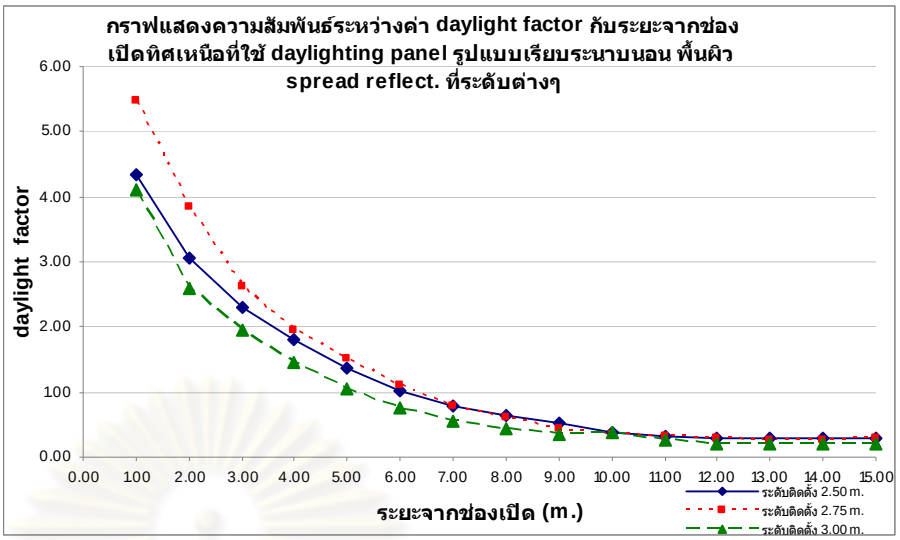
ภาพที่ 4.22 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบนอน พื้นผิววัสดุ** spread reflect.

แผนภูมิที่4.61 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบนอน วัสดุ spread reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

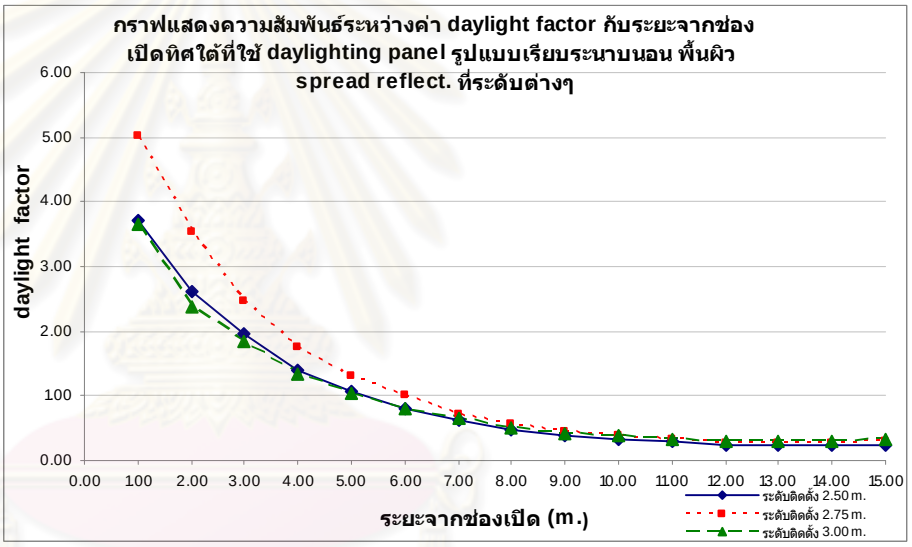
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

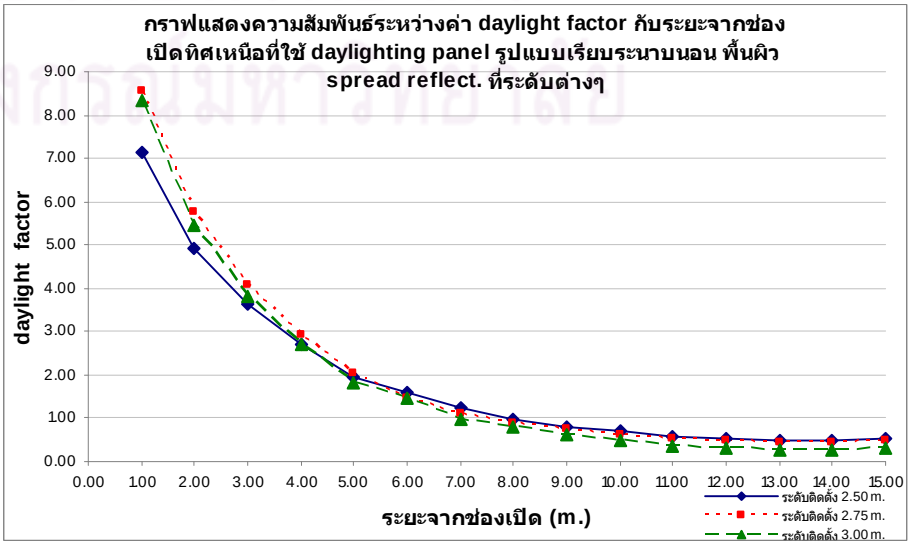


แผนภูมิที่ 4.62 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบนอน วัสดุ spread reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

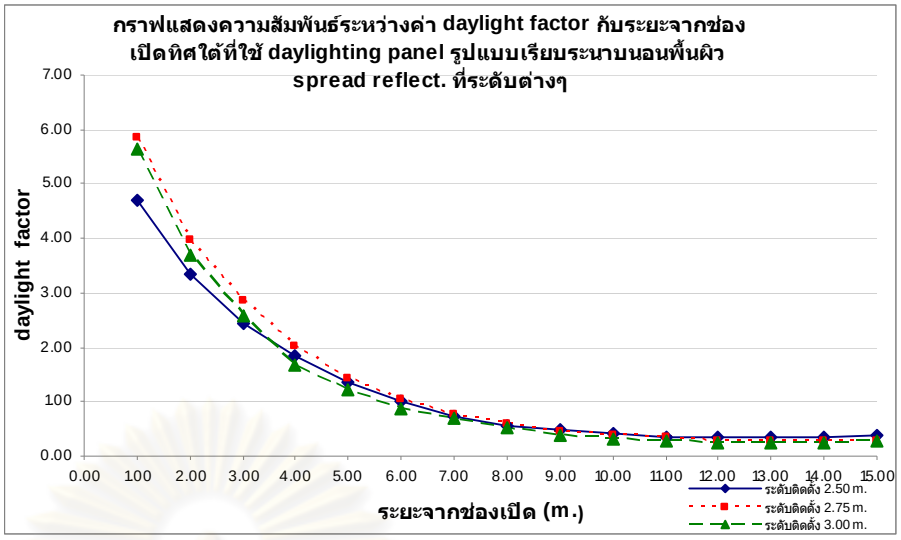
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

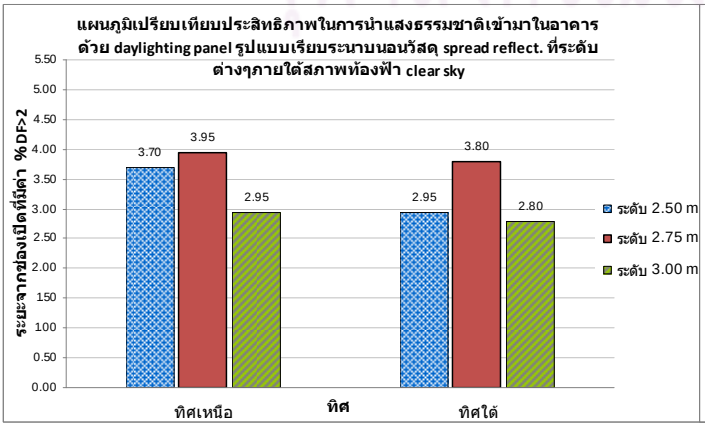
ระดับ 3.00 m.

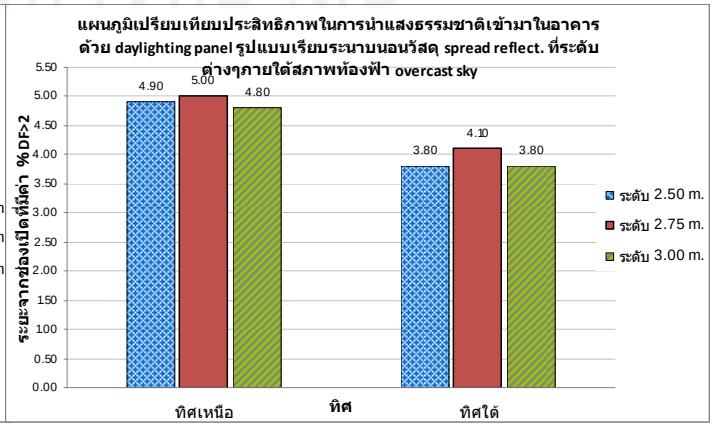


จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอนวัสดุ spread reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรและ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.00 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 25.00%และทิศใต้ 4.10 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 2615% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.61-4.62 และแผนภูมิที่ 4.63

ที่ระดับ 2.50 m. ที่ระดับ 2.75 m. ที่ระดับ 3.00 m.

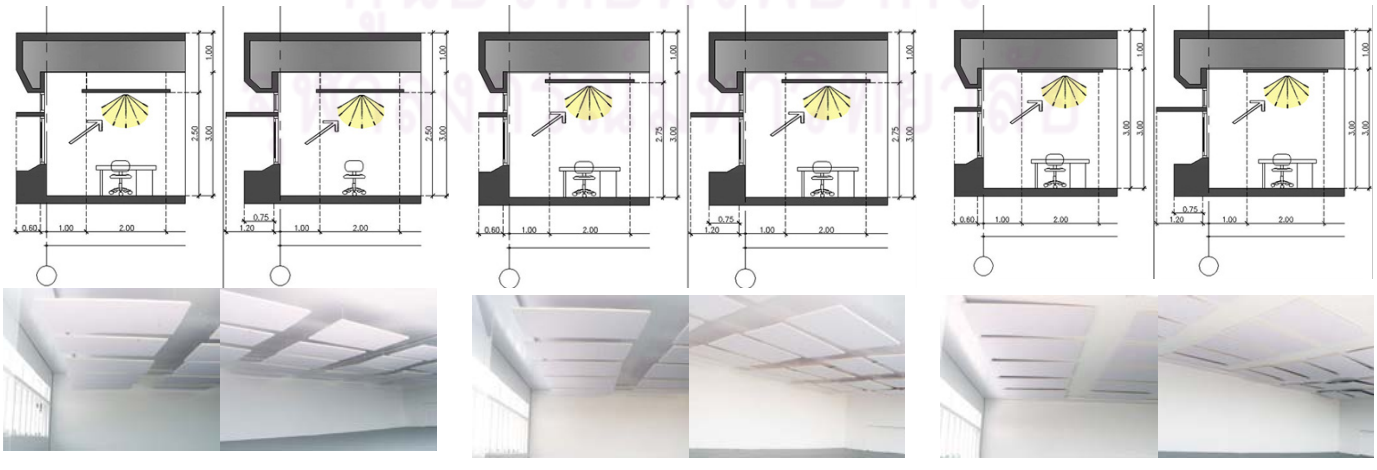
แผนภูมิที่ 4.63 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ spread ที่ระดับต่าง ๆ





ตารางที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.23	3.45	4.63	4.81	3.82	3.21	6.75	5.53	8.35	5.33	7.10	4.68
2.00 m.	2.58	2.42	3.10	3.28	2.37	2.14	4.48	3.56	5.33	3.45	4.67	3.04
3.00 m.	1.90	1.64	2.22	2.05	1.65	1.50	3.07	2.30	3.40	2.40	3.05	2.12
4.00 m.	1.39	1.13	1.45	1.34	1.11	0.99	2.13	1.46	2.32	1.46	2.08	1.42
5.00 m.	0.96	0.86	1.06	0.95	0.77	0.73	1.53	1.01	1.56	1.00	1.44	0.99
6.00 m.	0.70	0.63	0.79	0.70	0.56	0.57	1.09	0.74	1.18	0.74	1.09	0.74
7.00 m.	0.55	0.51	0.60	0.52	0.43	0.45	0.87	0.54	0.89	0.56	0.83	0.57
8.00 m.	0.42	0.42	0.48	0.41	0.33	0.37	0.67	0.40	0.71	0.43	0.65	0.43
9.00 m.	0.33	0.32	0.38	0.31	0.26	0.30	0.52	0.32	0.55	0.34	0.52	0.35
10.00 m.	0.27	0.26	0.32	0.25	0.22	0.26	0.43	0.26	0.46	0.29	0.44	0.29
11.00 m.	0.24	0.24	0.28	0.22	0.18	0.22	0.37	0.22	0.40	0.24	0.28	0.25
12.00 m.	0.21	0.19	0.25	0.19	0.16	0.21	0.30	0.20	0.34	0.22	0.34	0.23
13.00 m.	0.20	0.19	0.23	0.19	0.16	0.20	0.29	0.19	0.32	0.21	0.33	0.23
14.00 m.	0.20	0.20	0.23	0.20	0.16	0.21	0.29	0.20	0.33	0.22	0.33	0.24
15.00 m.	0.22	0.21	0.26	0.23	0.19	0.23	0.32	0.24	0.37	0.24	0.35	0.26
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	2.90	2.80	3.40	3.20	2.80	2.50	4.30	3.50	4.60	3.60	4.10	3.30
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	18.13	17.50	21.25	20.00	17.50	15.63	26.88	21.88	20.75	22.50	25.63	20.63
ดูภาคผนวก	ค.7		ค.25		ค.43		ค.8		ค.26		ค.44	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

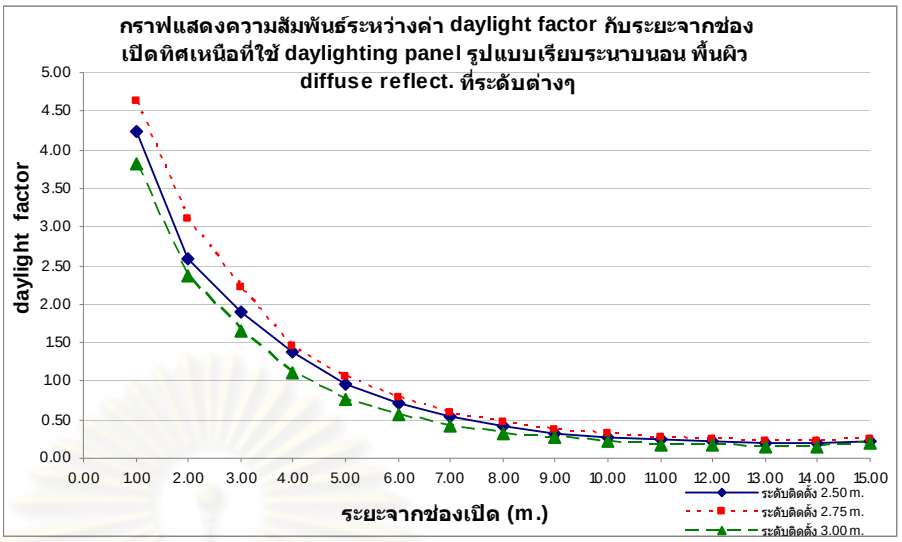
ภาพที่ 4.23 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบนอน พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

แผนภูมิที่ 4.64 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

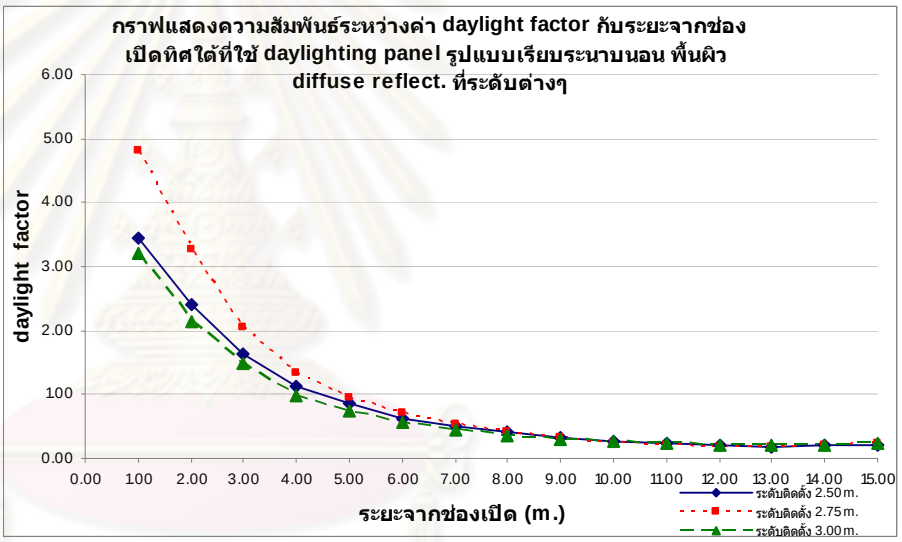
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

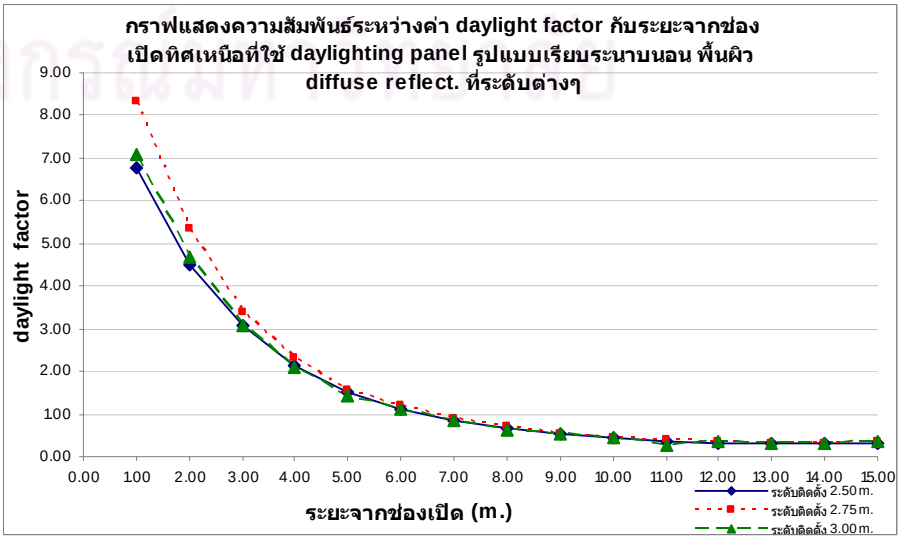


แผนภูมิที่ 4.65 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

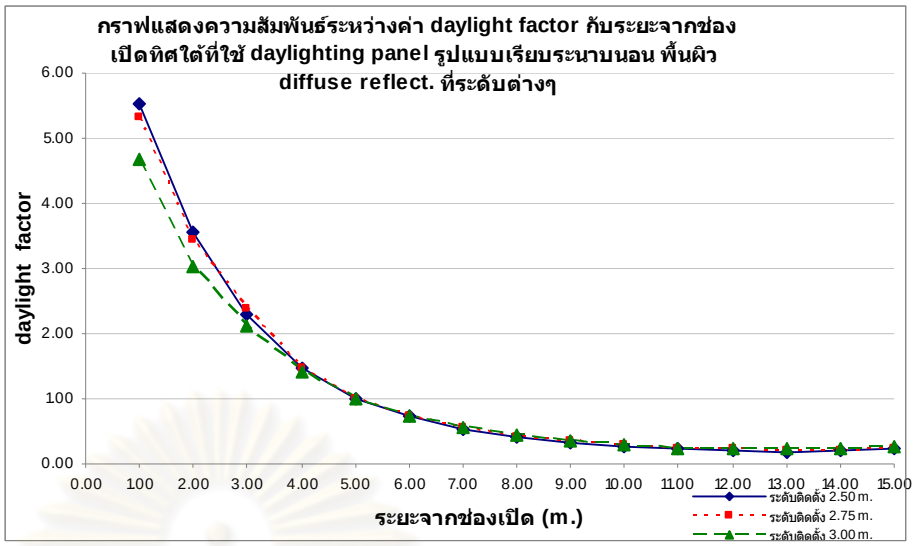
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



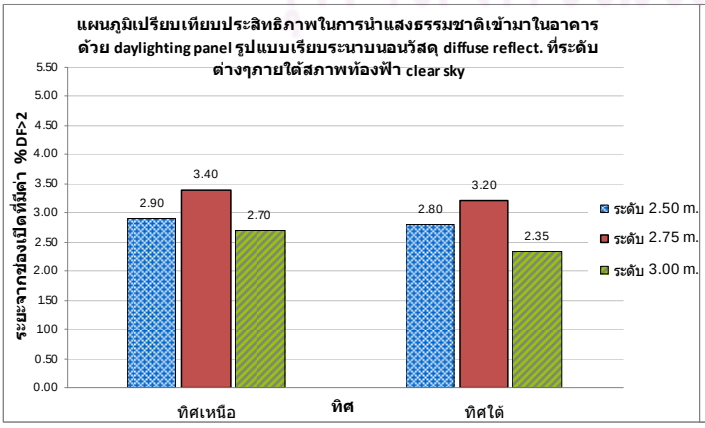
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอนวัสดุ diffuse reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรและ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.60 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 15.00%และทิศใต้ 3.60 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 10.77% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.64-4.65 และแผนภูมิที่ 4.66

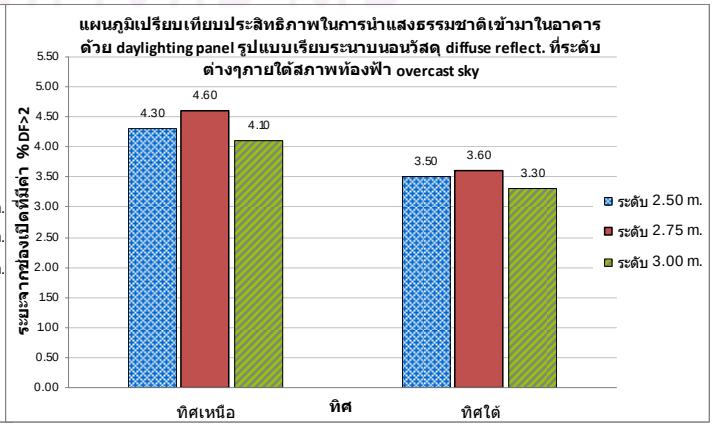
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

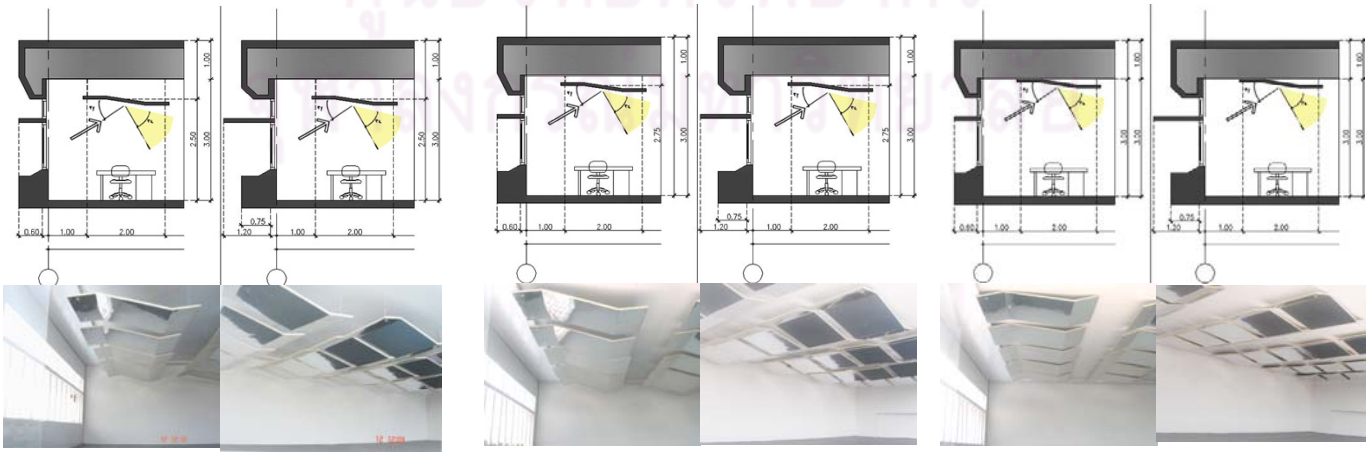
แผนภูมิที่ 4.66 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบนอน วัสดุ diffuse ที่ระดับต่างๆ





ตารางที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง Interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ specular reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง พื้นผิววัสดุ specular reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.77	4.54	6.23	5.66	5.35	4.28	8.83	6.41	9.28	6.91	9.32	5.95
2.00 m.	4.04	3.22	4.39	4.00	3.72	2.77	5.85	4.38	6.28	4.53	6.05	4.01
3.00 m.	2.76	2.25	3.15	2.57	2.46	1.76	3.79	2.96	4.17	2.88	3.95	2.64
4.00 m.	1.78	1.73	2.17	1.68	1.54	1.18	2.70	1.88	2.89	2.01	2.71	1.65
5.00 m.	1.29	1.24	1.50	1.12	0.98	0.81	1.90	1.38	2.09	1.34	1.89	1.15
6.00 m.	0.96	0.95	1.11	0.83	0.70	0.61	1.47	0.98	1.52	1.03	1.39	0.85
7.00 m.	0.74	0.74	0.94	0.65	0.54	0.47	1.12	0.78	1.18	0.80	1.02	0.64
8.00 m.	0.60	0.59	0.74	0.49	0.43	0.38	0.87	0.61	0.92	0.60	0.86	0.48
9.00 m.	0.49	0.48	0.59	0.40	0.32	0.30	0.72	0.50	0.75	0.47	0.66	0.38
10.00 m.	0.42	0.41	0.48	0.34	0.26	0.25	0.59	0.42	0.62	0.37	0.50	0.32
11.00 m.	0.36	0.36	0.41	0.30	0.22	0.23	0.47	0.36	0.53	0.32	0.47	0.27
12.00 m.	0.33	0.32	0.35	0.26	0.19	0.21	0.45	0.33	0.47	0.27	0.41	0.24
13.00 m.	0.32	0.31	0.37	0.25	0.18	0.21	0.38	0.32	0.44	0.25	0.38	0.22
14.00 m.	0.34	0.31	0.32	0.24	0.19	0.22	0.36	0.32	0.44	0.26	0.38	0.24
15.00 m.	0.36	0.31	0.42	0.25	0.20	0.26	0.37	0.33	0.44	0.28	0.39	0.26
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.85	3.65	4.40	3.70	3.50	2.80	4.90	3.90	5.30	4.20	4.90	3.75
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	24.13	22.81	27.50	23.13	21.88	17.50	30.63	24.38	33.13	26.25	30.63	23.44
ดูภาคผนวก	ค.9		ค.27		ค.45		ค.10		ค.28		ค.46	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

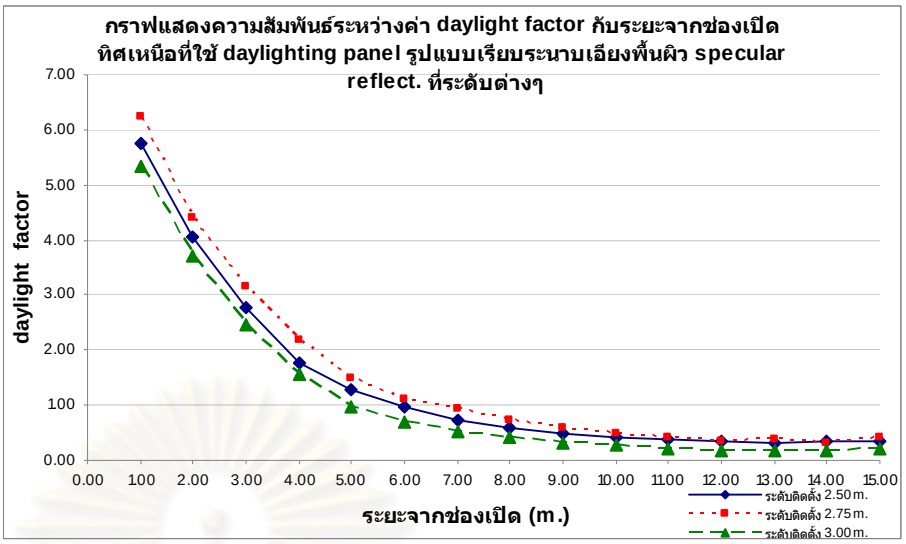
ภาพที่ 4.24 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบเอียง พื้นผิววัสดุ** specular reflect.

แผนภูมิที่ 4.67 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบเอียง วัสดุspecular reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

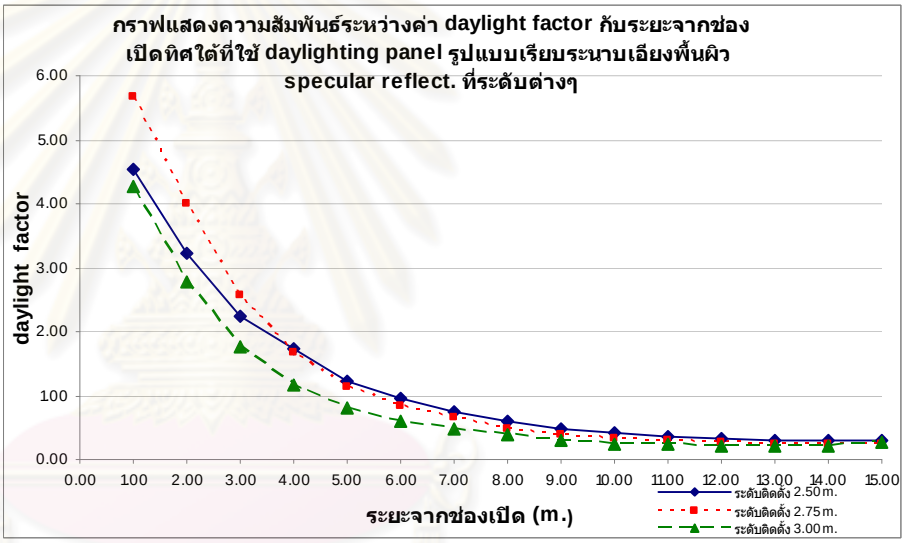
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

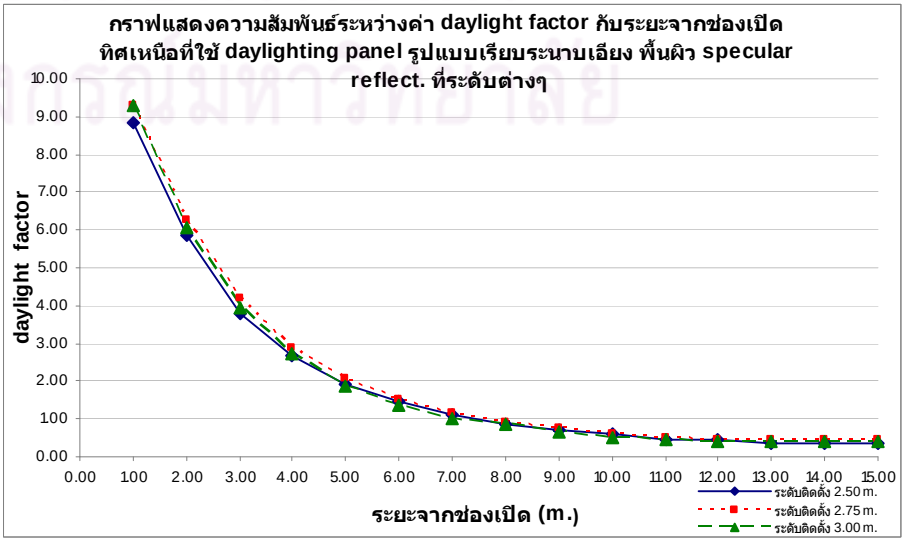


แผนภูมิที่ 4.68 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบเอียง วัสดุ specular reflect. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

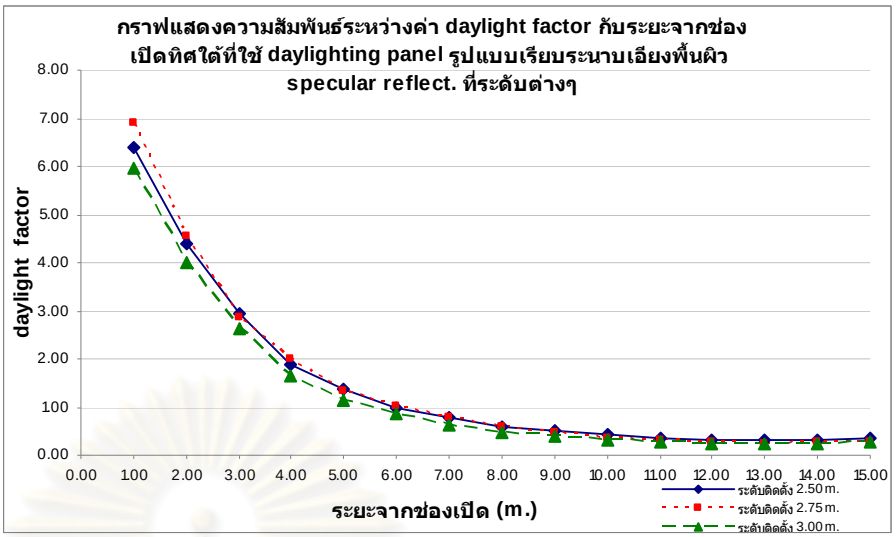
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



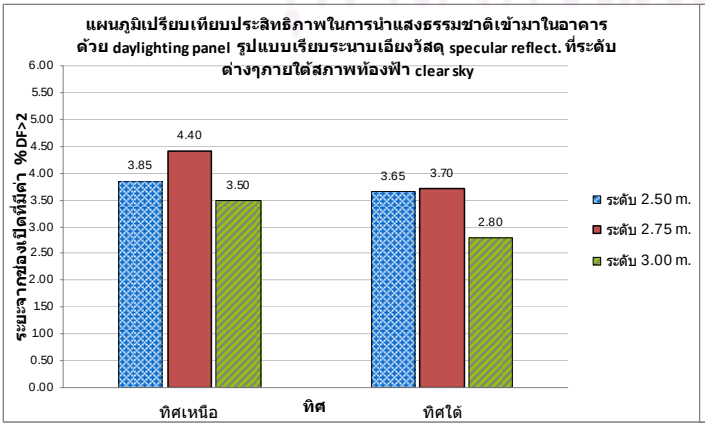
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงวัสดุ specular reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรและ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF)ในทิศเหนือได้ระยะ 5.30 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 32.50%และทิศใต้ 4.20 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 29.23% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.67-4.68 และแผนภูมิที่ 4.69

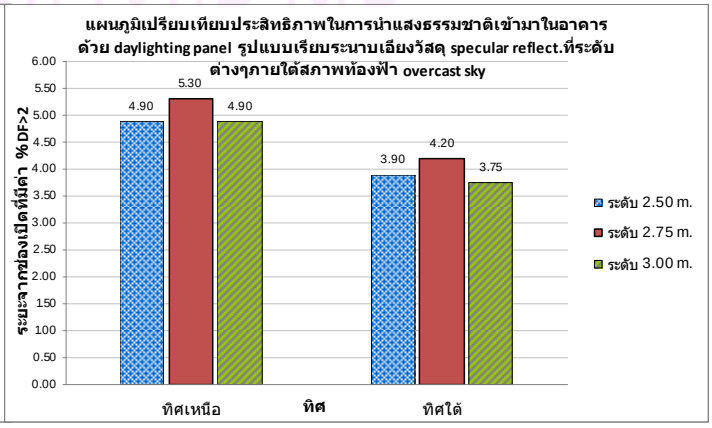
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

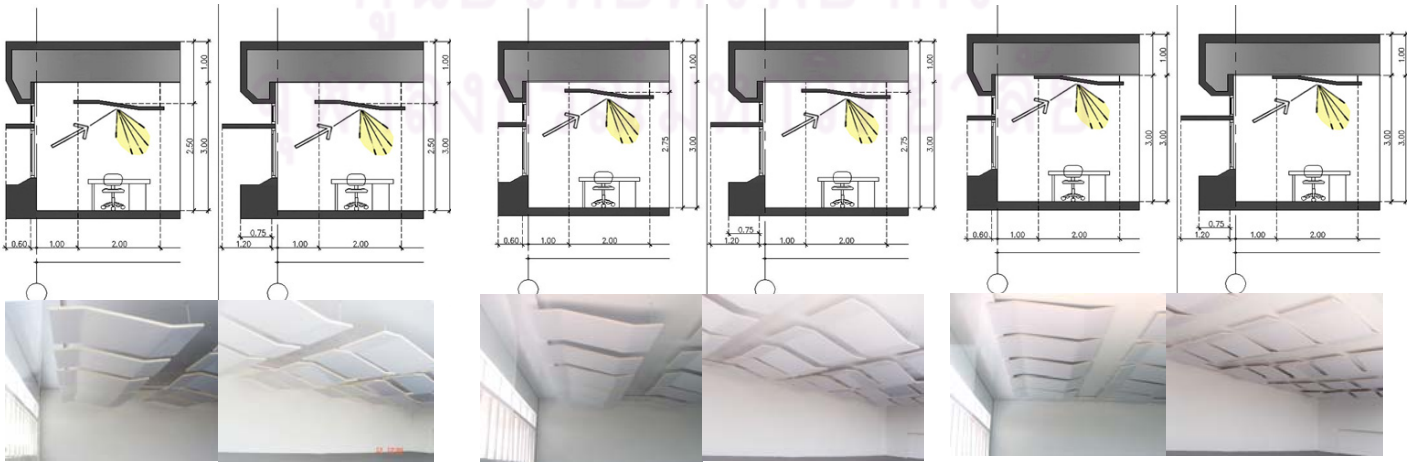
แผนภูมิที่ 4.69 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ specular ที่ระดับต่าง ๆ





ตารางที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง Interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงวัสดุ spread reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง พื้นผิววัสดุ spread reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.31	4.91	6.02	5.41	5.03	3.57	7.92	5.71	8.74	6.51	8.08	5.36
2.00 m.	3.50	3.60	4.15	3.72	3.49	2.60	5.41	4.03	5.94	4.29	5.55	3.59
3.00 m.	2.44	2.63	3.25	2.65	2.48	2.02	3.67	2.76	3.98	3.08	3.83	2.54
4.00 m.	1.79	1.73	2.43	1.83	1.65	1.38	2.86	1.93	2.96	2.16	2.81	1.86
5.00 m.	1.37	1.13	1.69	1.26	1.12	0.95	2.12	1.52	2.31	1.50	1.96	1.29
6.00 m.	1.05	0.84	1.18	0.94	0.84	0.73	1.59	1.10	1.66	1.03	1.59	0.90
7.00 m.	0.80	0.68	0.95	0.73	0.66	0.58	1.17	0.82	1.22	0.80	1.23	0.70
8.00 m.	0.60	0.47	0.69	0.57	0.48	0.43	0.95	0.60	0.89	0.61	0.91	0.57
9.00 m.	0.50	0.39	0.56	0.46	0.39	0.34	0.75	0.44	0.70	0.44	0.70	0.46
10.00 m.	0.38	0.32	0.46	0.38	0.31	0.30	0.60	0.38	0.60	0.35	0.53	0.39
11.00 m.	0.29	0.26	0.38	0.33	0.25	0.26	0.53	0.27	0.51	0.28	0.44	0.34
12.00 m.	0.27	0.25	0.36	0.29	0.23	0.22	0.46	0.24	0.46	0.26	0.40	0.31
13.00 m.	0.26	0.22	0.33	0.29	0.21	0.22	0.44	0.23	0.43	0.22	0.36	0.31
14.00 m.	0.27	0.22	0.33	0.30	0.20	0.22	0.42	0.24	0.42	0.22	0.33	0.32
15.00 m.	0.30	0.21	0.37	0.31	0.22	0.22	0.46	0.28	0.42	0.24	0.34	0.37
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.85	3.80	4.60	3.80	3.60	3.10	5.30	3.95	5.50	4.40	4.90	3.90
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	24.06	23.75	28.75	23.75	22.50	19.38	33.13	24.69	34.38	27.50	30.63	24.38
ดูภาคผนวก	ค.11		ค.29		ค.47		ค.12		ค.30		ค.48	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

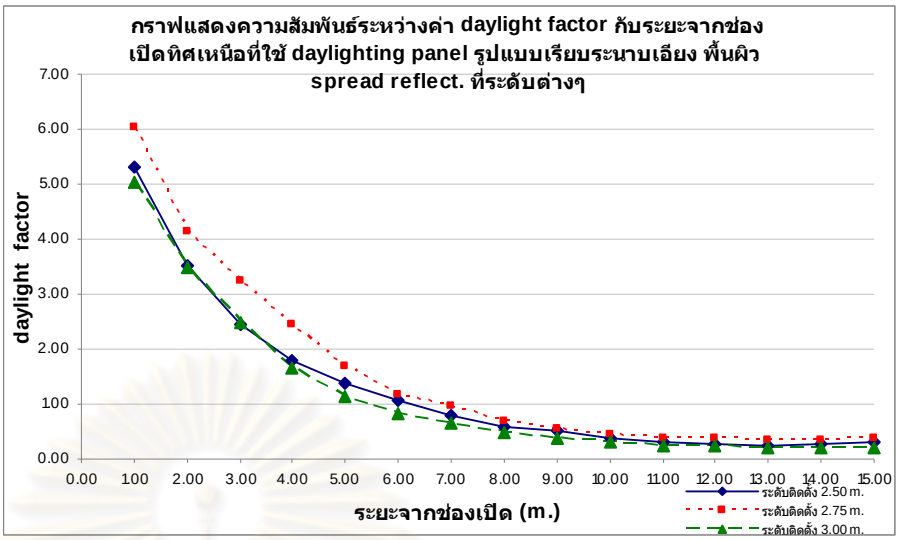
ภาพที่ 4.25 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบเอียง พื้นผิววัสดุ** spread reflect.

แผนภูมิที่ 4.70 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบเอียง วัสดุ spread reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

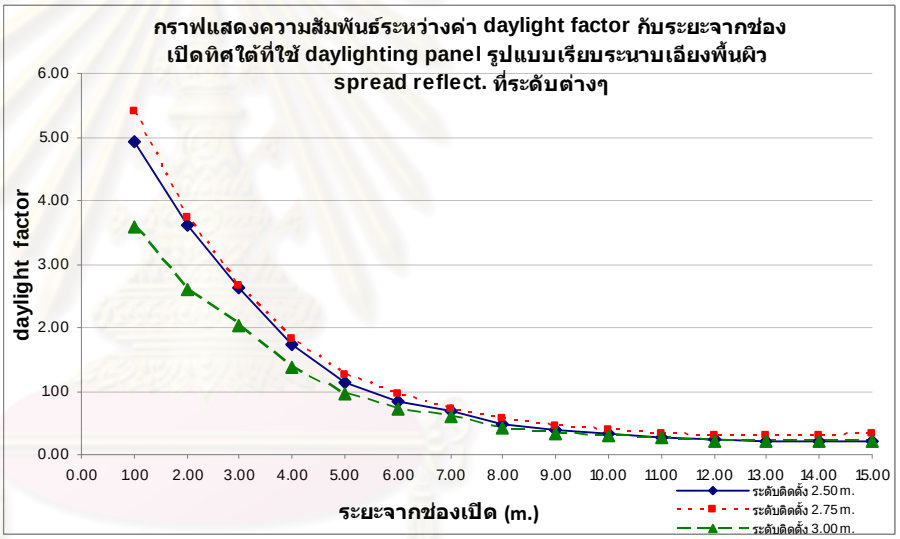
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

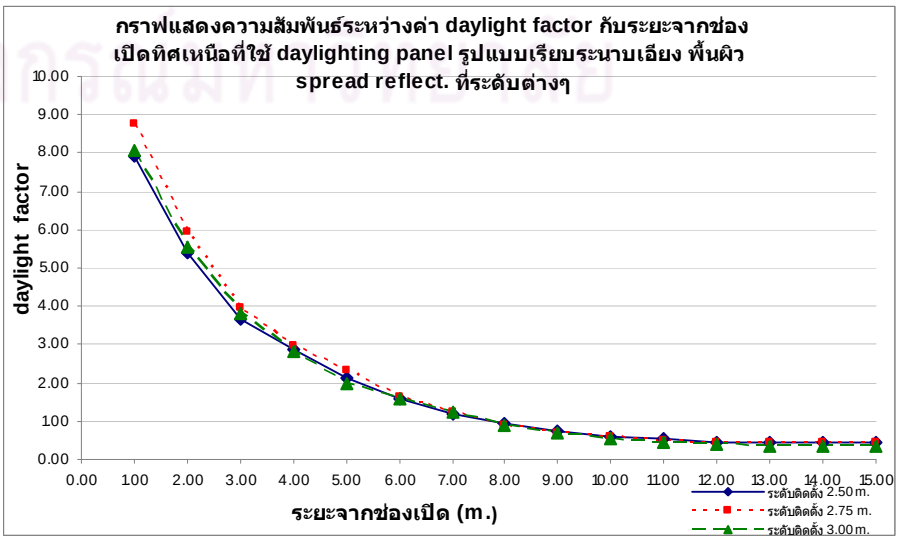


แผนภูมิที่ 4.71 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบเอียง วัสดุ spread reflect. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

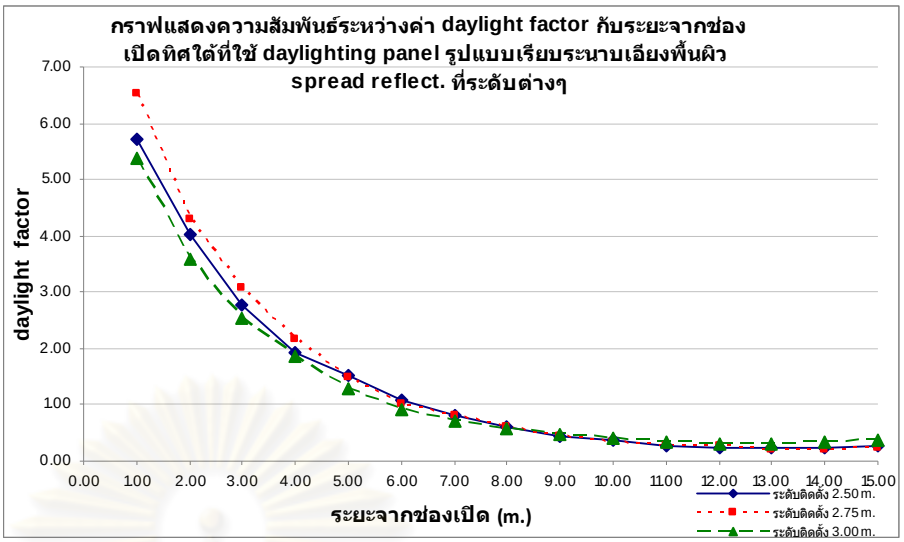
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



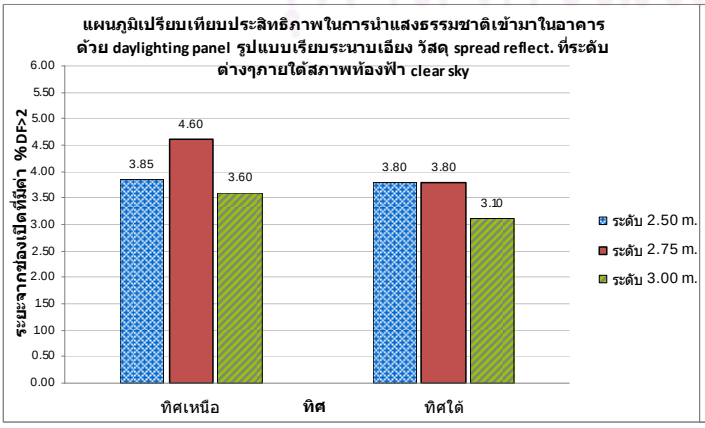
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงวัสดุ spread reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตร และ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF)ในทิศเหนือได้ระยะ 5.50 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 37.50%และทิศใต้ 4.40 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 35.38% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.70-4.71 และแผนภูมิที่ 4.72

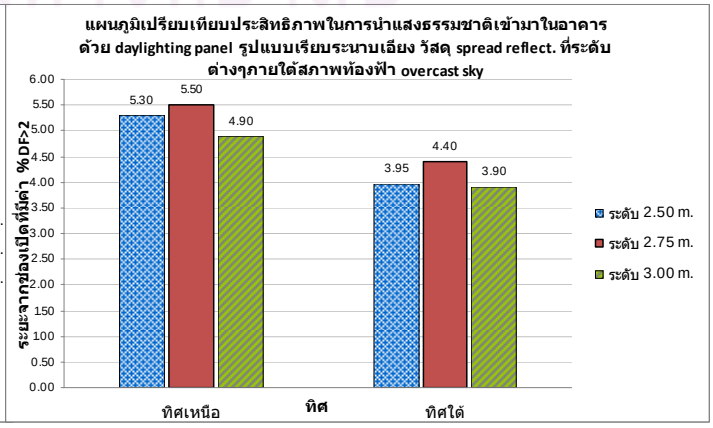
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

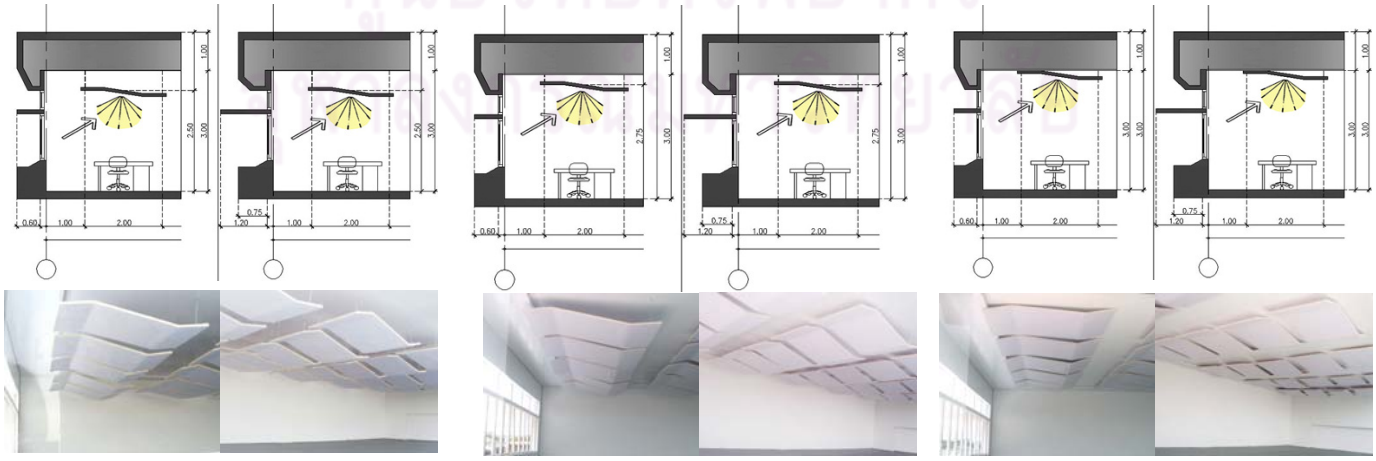
แผนภูมิที่ 4.72 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ spread ที่ระดับต่าง ๆ





ตารางที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ diffuse reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	4.78	4.03	5.69	5.20	4.51	3.69	7.39	5.35	8.28	6.42	7.73	5.19
2.00 m.	3.18	2.69	3.97	3.62	3.10	2.60	4.99	3.71	5.52	3.87	5.19	3.42
3.00 m.	2.18	1.86	2.81	2.37	2.01	1.85	3.39	2.45	3.47	2.52	3.38	2.25
4.00 m.	1.38	1.27	1.95	1.57	1.32	1.23	2.38	1.52	2.30	1.64	2.29	1.52
5.00 m.	0.94	0.93	1.42	1.12	0.91	0.90	1.80	1.05	1.62	1.09	1.64	1.10
6.00 m.	0.69	0.70	1.07	0.84	0.71	0.68	1.36	0.78	1.20	0.79	1.23	0.83
7.00 m.	0.51	0.54	0.81	0.63	0.56	0.52	1.06	0.59	0.92	0.59	0.95	0.64
8.00 m.	0.39	0.43	0.64	0.49	0.40	0.41	0.85	0.47	0.73	0.43	0.76	0.51
9.00 m.	0.31	0.33	0.53	0.40	0.28	0.33	0.68	0.37	0.59	0.32	0.62	0.41
10.00 m.	0.25	0.28	0.44	0.33	0.26	0.27	0.57	0.31	0.50	0.26	0.51	0.35
11.00 m.	0.22	0.23	0.38	0.29	0.21	0.23	0.48	0.27	0.42	0.22	0.45	0.30
12.00 m.	0.20	0.20	0.34	0.27	0.20	0.20	0.41	0.24	0.38	0.19	0.41	0.28
13.00 m.	0.19	0.20	0.32	0.26	0.17	0.19	0.39	0.23	0.34	0.18	0.39	0.27
14.00 m.	0.19	0.21	0.33	0.28	0.23	0.20	0.39	0.24	0.36	0.19	0.39	0.28
15.00 m.	0.21	0.23	0.36	0.30	0.20	0.21	0.43	0.27	0.39	0.21	0.40	0.29
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.40	2.90	3.95	3.60	3.20	2.80	4.70	3.60	4.70	3.75	4.55	3.45
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	21.25	18.13	24.69	22.50	20.00	17.50	29.38	22.50	29.38	23.44	28.44	21.56
ดูภาคผนวก	ค.13		ค.31		ค.49		ค.14		ค.32		ค.50	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

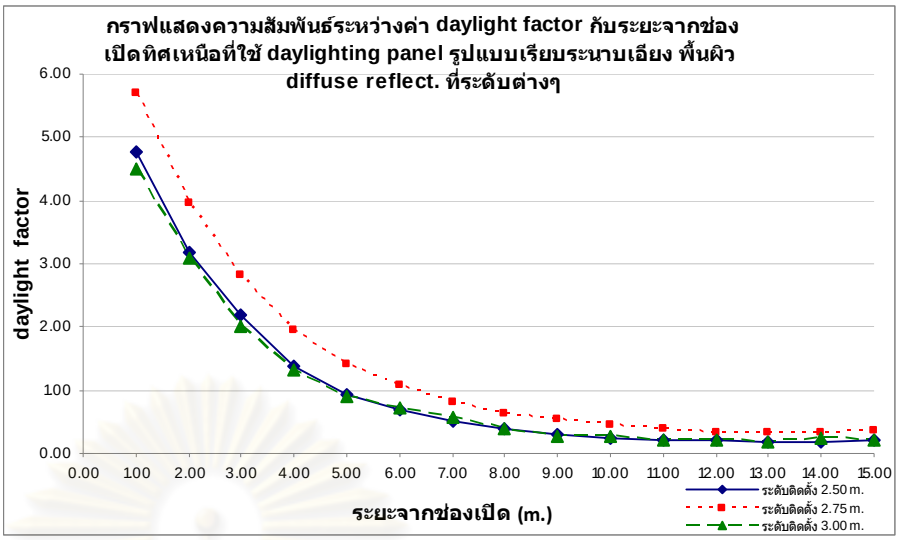
ภาพที่ 4.26 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบเรียบระนาบเอียง พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

แผนภูมิที่ 4.73 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบเอียง วัสดุ diffuse reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

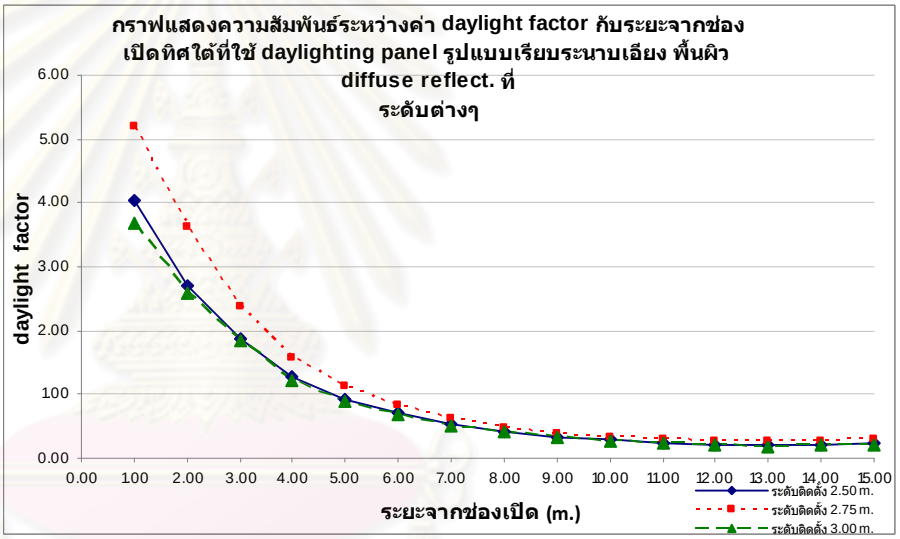
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

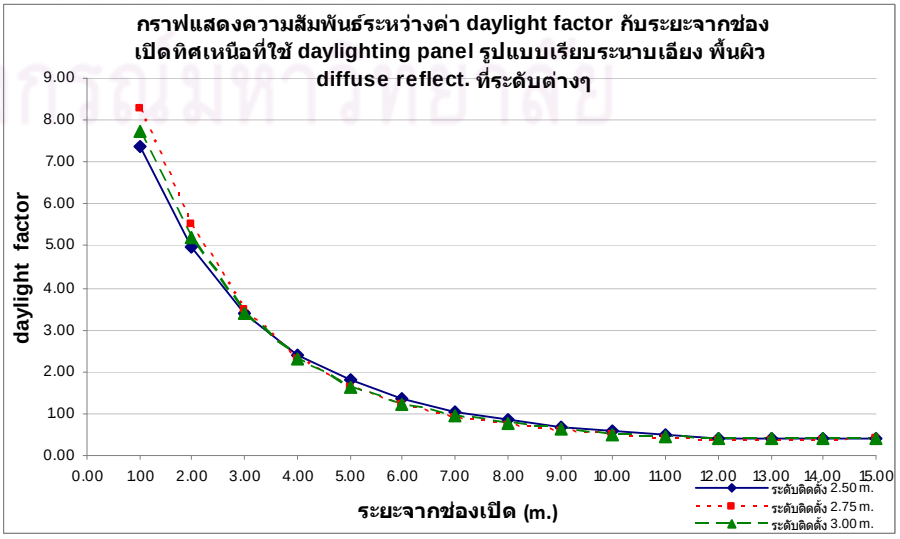


แผนภูมิที่ 4.74 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels เรียบระนาบเอียง วัสดุ diffuse reflect. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

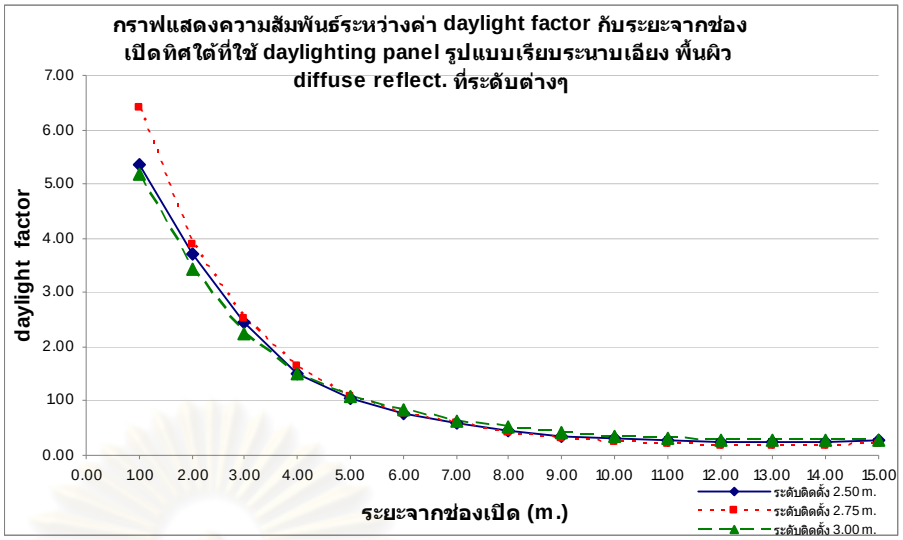
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



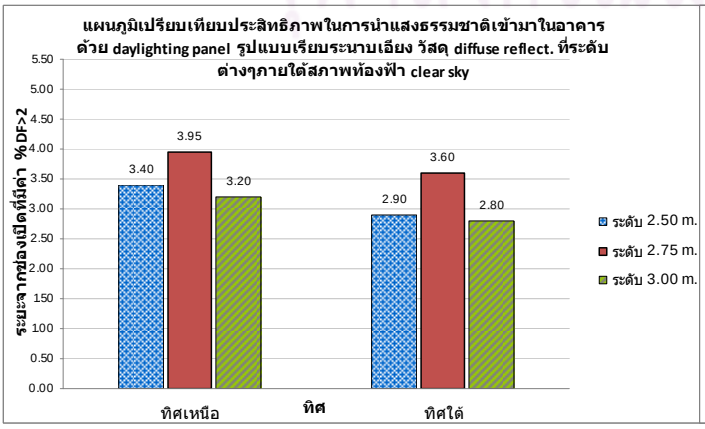
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียงวัสดุ diffuse reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรและ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.70 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 17.50%และทิศใต้ 3.75 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 15.38% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.73-4.74 และแผนภูมิที่ 4.75

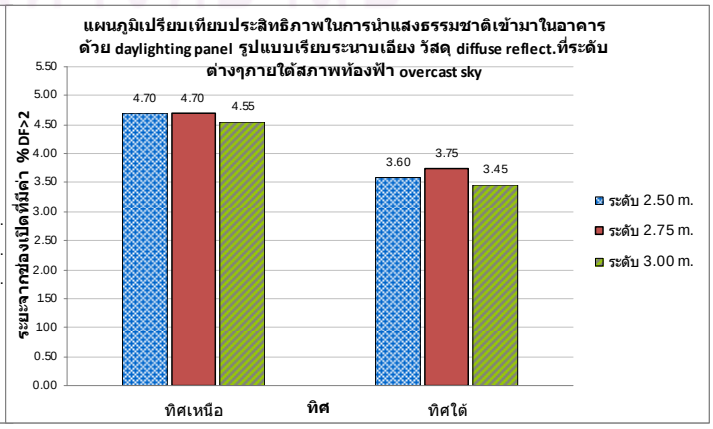
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

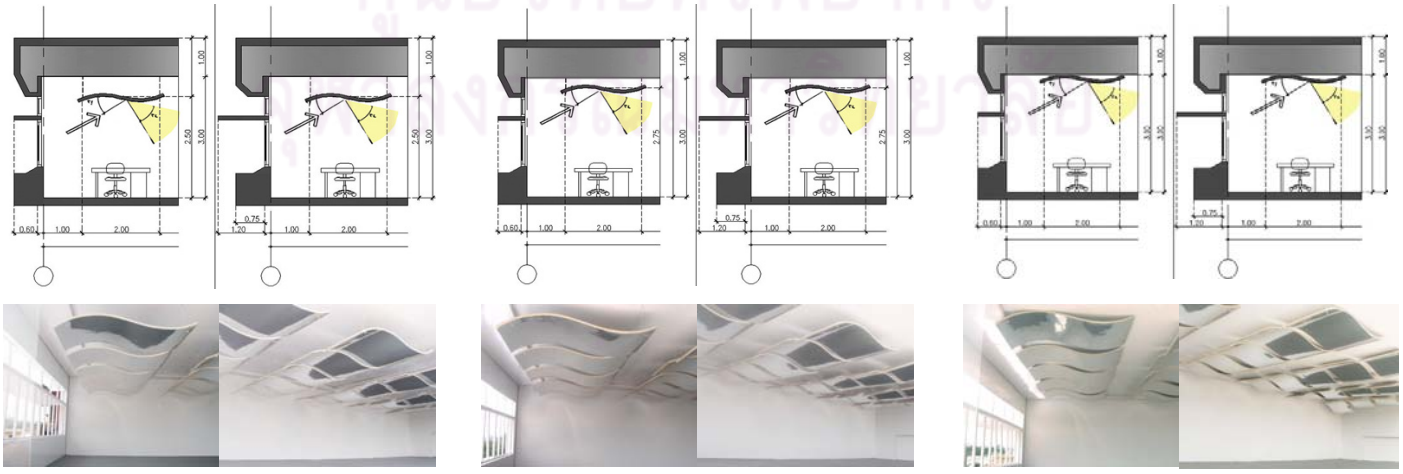
แผนภูมิที่ 4.75 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบเรียบระนาบเอียง วัสดุ diffuse ที่ระดับต่าง ๆ





ตารางที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง Interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนวัสดุ specular reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ specular reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	6.39	5.56	8.29	5.83	5.61	5.72	10.41	6.20	10.02	8.34	8.47	5.79
2.00 m.	4.29	3.79	5.35	3.99	3.81	3.67	6.60	4.21	6.70	5.22	6.43	4.06
3.00 m.	3.08	2.55	3.74	2.80	2.76	2.43	4.37	3.11	4.66	3.50	4.28	2.95
4.00 m.	2.12	1.62	2.28	1.96	2.04	1.47	2.89	2.28	3.26	2.41	2.85	2.10
5.00 m.	1.54	1.10	1.60	1.36	1.45	0.97	2.08	1.72	2.33	1.76	1.98	1.51
6.00 m.	1.10	0.81	1.17	1.07	1.08	0.69	1.52	1.21	1.73	1.18	1.47	1.11
7.00 m.	0.90	0.63	0.88	0.83	0.87	0.53	1.16	0.87	1.38	0.83	1.16	0.85
8.00 m.	0.68	0.47	0.70	0.64	0.74	0.39	0.91	0.66	1.03	0.63	0.92	0.67
9.00 m.	0.56	0.37	0.56	0.54	0.60	0.28	0.72	0.52	0.77	0.48	0.75	0.55
10.00 m.	0.47	0.32	0.47	0.46	0.50	0.22	0.60	0.45	0.64	0.39	0.63	0.46
11.00 m.	0.38	0.27	0.40	0.37	0.41	0.18	0.50	0.38	0.54	0.33	0.54	0.40
12.00 m.	0.35	0.25	0.35	0.34	0.38	0.15	0.44	0.33	0.49	0.29	0.47	0.35
13.00 m.	0.32	0.24	0.32	0.34	0.37	0.14	0.40	0.31	0.45	0.28	0.44	0.33
14.00 m.	0.29	0.25	0.33	0.33	0.35	0.15	0.41	0.31	0.42	0.28	0.44	0.34
15.00 m.	0.30	0.26	0.36	0.36	0.34	0.16	0.47	0.33	0.45	0.30	0.45	0.35
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	4.35	3.70	4.50	3.95	4.15	3.60	5.10	4.60	5.60	4.70	4.95	4.20
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	27.19	23.13	28.13	24.69	25.94	22.50	31.88	28.75	35.00	29.38	30.94	26.25
ดูภาคผนวก	ค.15		ค.33		ค.51		ค.16		ค.34		ค.52	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

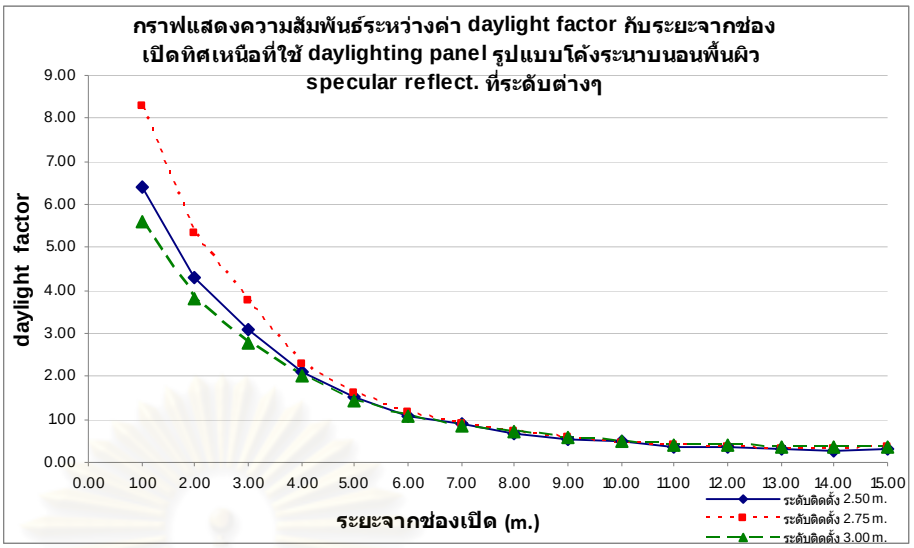
ภาพที่ 4.27 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ** specular reflect.

แผนภูมิที่ 4.76 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels โค้งระนาบนอน วัสดุ specular reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

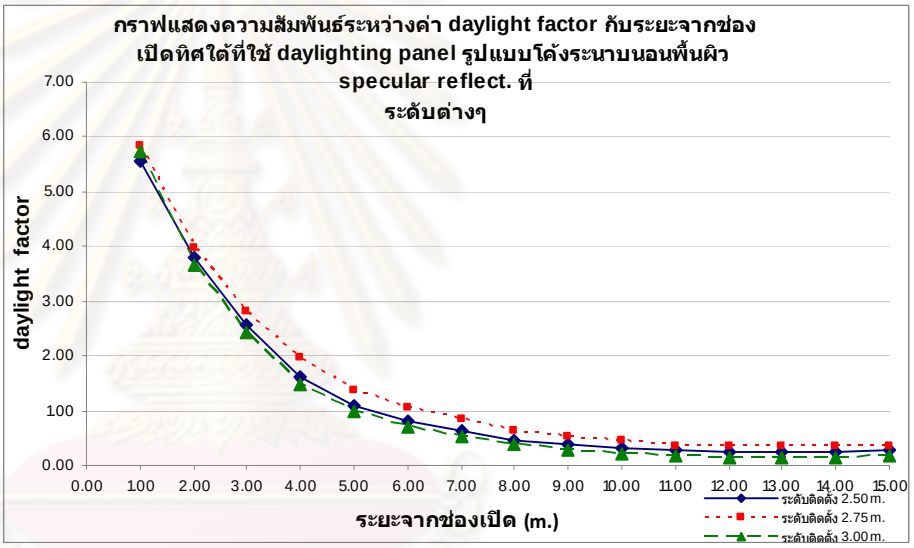
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

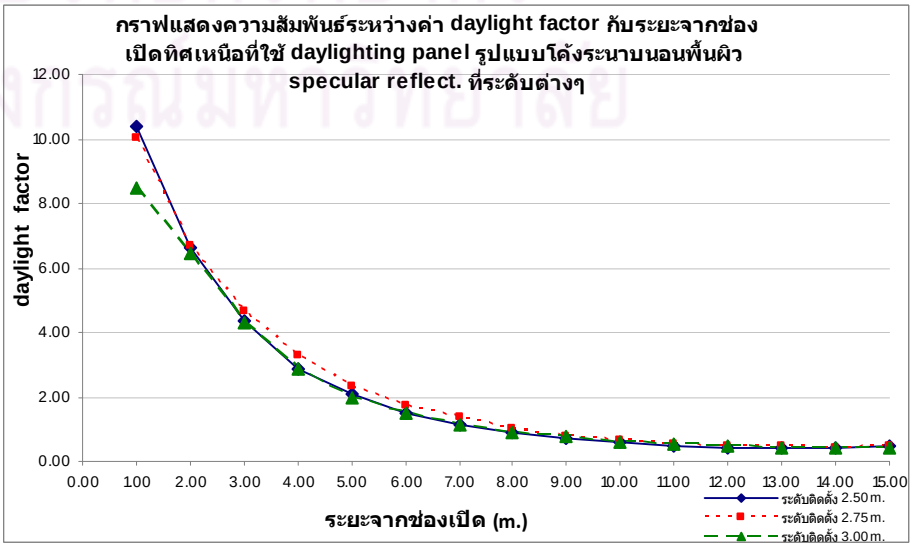


แผนภูมิที่ 4.77 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels โค้งระนาบนอน วัสดุ specular reflect. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

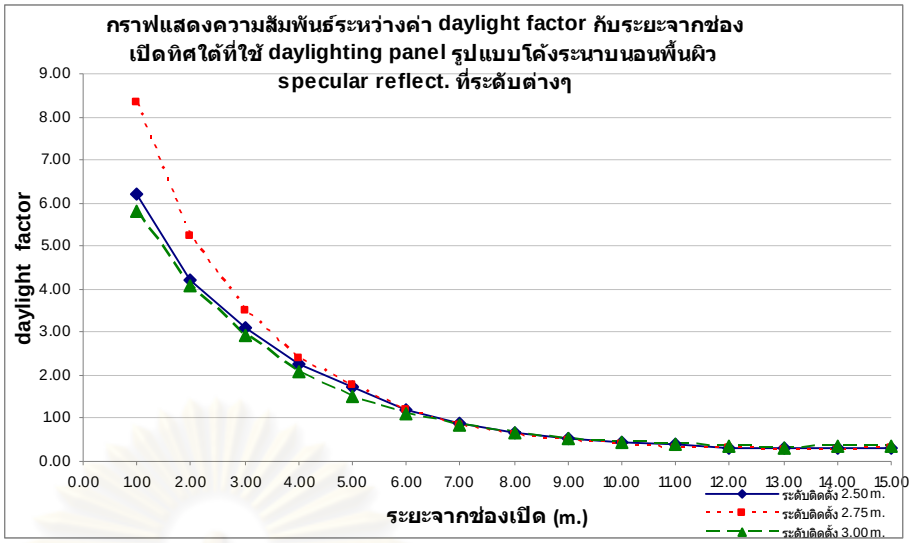
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



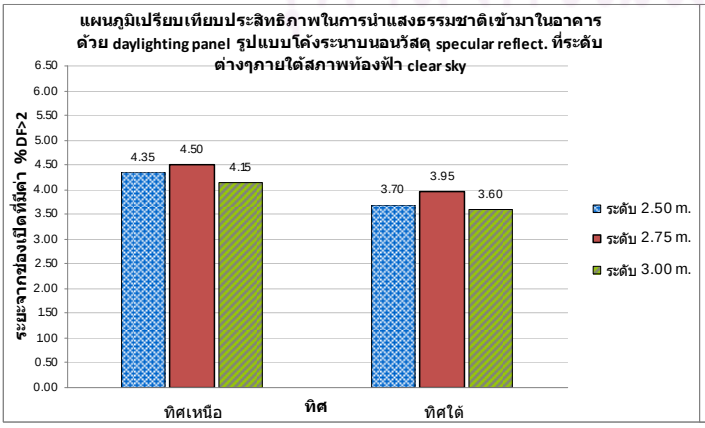
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนวัสดุ specular reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรและ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.60 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 40.00% และทิศใต้ 4.70 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 44.62% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.76-4.77และแผนภูมิที่ 4.78

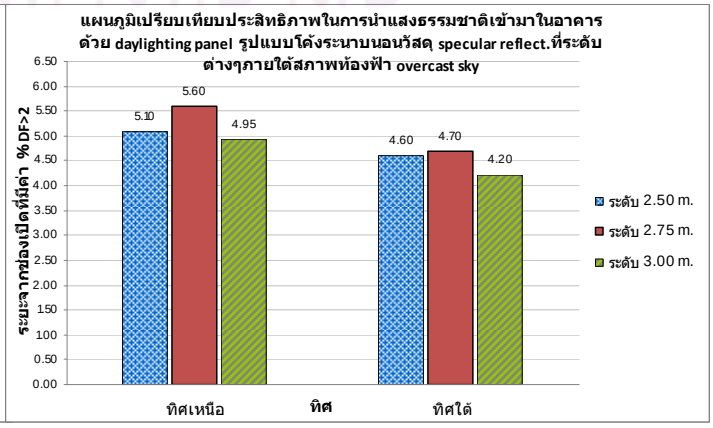
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

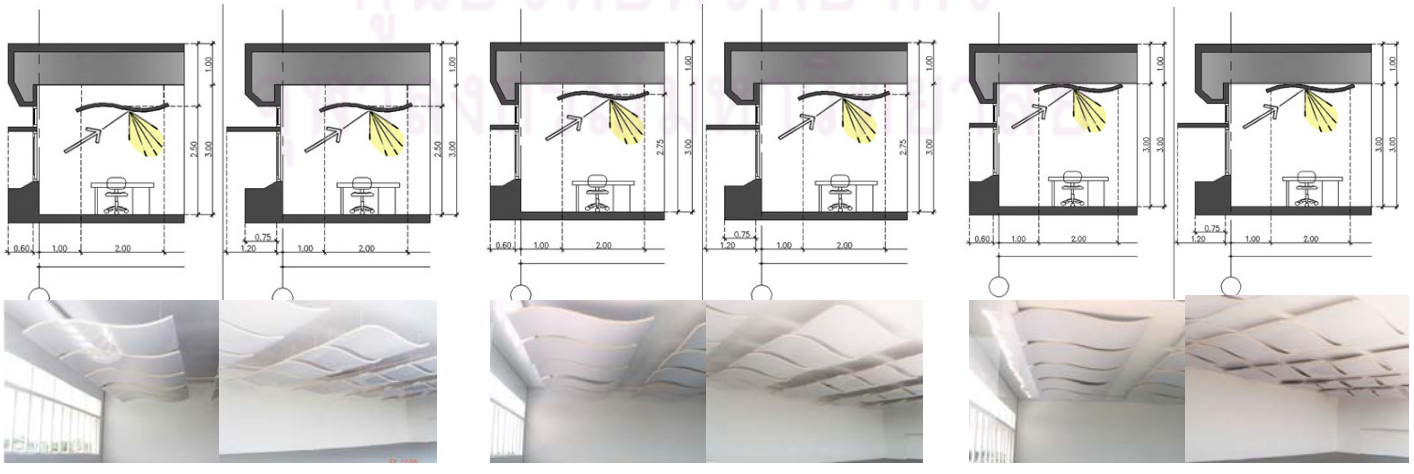
แผนภูมิที่ 4.78 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ specular ที่ระดับต่าง ๆ





ตารางที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ spread reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ spread reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.31	4.64	8.10	4.95	4.77	5.06	7.64	5.72	9.01	7.08	9.65	5.24
2.00 m.	3.66	3.17	5.21	3.67	3.45	3.43	5.12	4.11	6.41	4.98	5.80	3.90
3.00 m.	2.66	2.42	4.00	2.78	2.57	2.53	3.72	3.12	4.43	3.65	4.07	2.82
4.00 m.	2.02	1.85	2.63	2.10	2.10	1.69	2.85	2.38	3.41	2.66	3.15	2.22
5.00 m.	1.59	1.47	1.81	1.52	1.50	1.19	2.25	1.87	2.53	2.03	2.33	1.74
6.00 m.	1.24	1.12	1.46	1.14	1.12	0.88	1.70	1.38	1.82	1.42	1.63	1.28
7.00 m.	1.03	0.87	1.12	0.90	0.96	0.72	1.28	1.01	1.39	1.02	1.23	0.96
8.00 m.	0.82	0.66	0.88	0.71	0.76	0.55	1.02	0.79	1.09	0.74	0.95	0.73
9.00 m.	0.65	0.56	0.70	0.59	0.58	0.44	0.85	0.58	0.91	0.54	0.78	0.57
10.00 m.	0.52	0.48	0.70	0.52	0.49	0.37	0.68	0.51	0.74	0.45	0.60	0.47
11.00 m.	0.42	0.42	0.49	0.46	0.39	0.30	0.61	0.40	0.63	0.40	0.47	0.41
12.00 m.	0.36	0.39	0.44	0.41	0.36	0.29	0.53	0.36	0.55	0.33	0.41	0.38
13.00 m.	0.34	0.38	0.40	0.40	0.34	0.27	0.48	0.35	0.50	0.30	0.38	0.36
14.00 m.	0.36	0.38	0.38	0.40	0.34	0.26	0.47	0.35	0.47	0.28	0.38	0.35
15.00 m.	0.36	0.39	0.41	0.39	0.29	0.27	0.46	0.31	0.49	0.29	0.42	0.33
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	4.35	3.80	4.70	4.20	4.20	3.70	5.55	4.85	5.70	5.00	5.50	4.45
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	27.19	23.75	29.38	26.25	26.25	23.13	34.69	30.31	35.63	31.25	34.38	27.81
ดูภาคผนวก	ค.17		ค.35		ค.53		ค.18		ค.36		ค.54	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

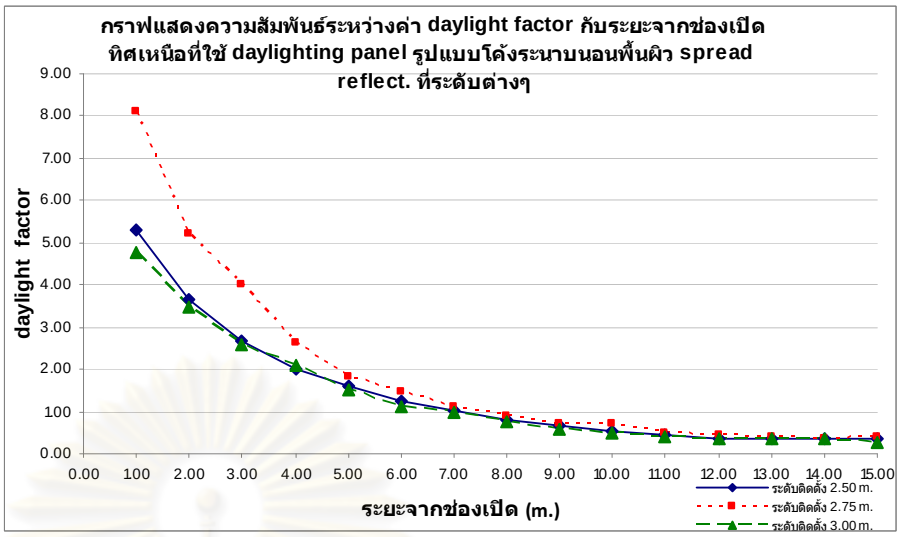
ภาพที่ 4.28 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ** spread reflect.

แผนภูมิที่ 4.79 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels โค้งระนาบนอน วัสดุ spread reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

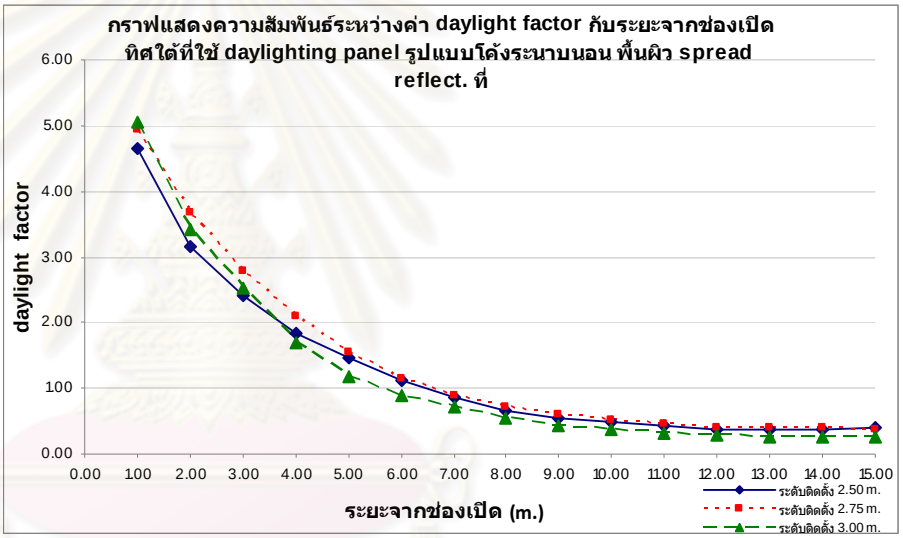
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

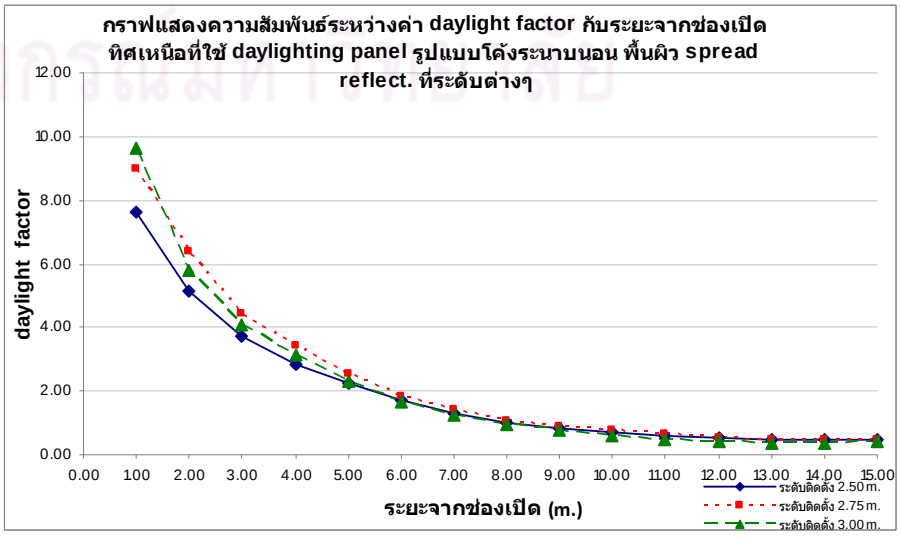


แผนภูมิที่ 4.80 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels โค้งระนาบนอน วัสดุspread reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

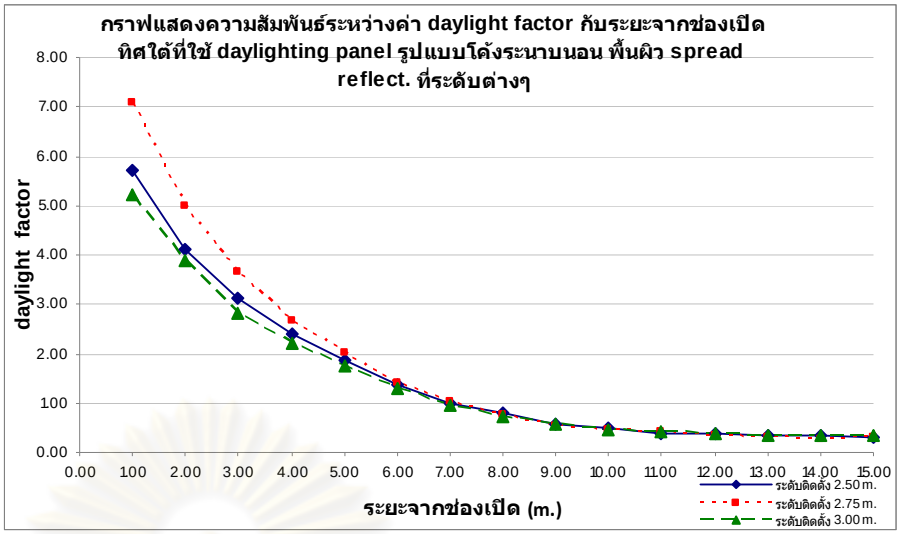
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



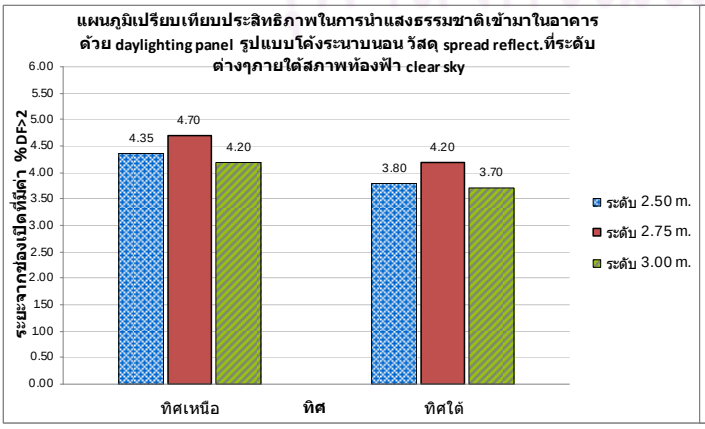
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนวัสดุ spread reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรและ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 5.70 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 42.50% และทิศใต้ 5.00 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 53.85% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.79-4.80 และแผนภูมิที่ 4.81

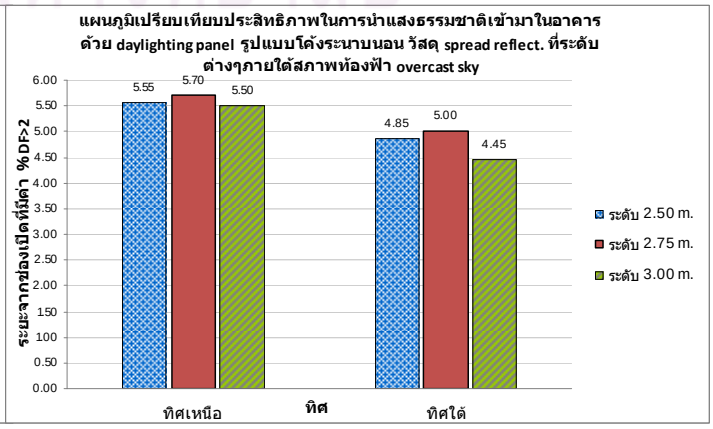
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

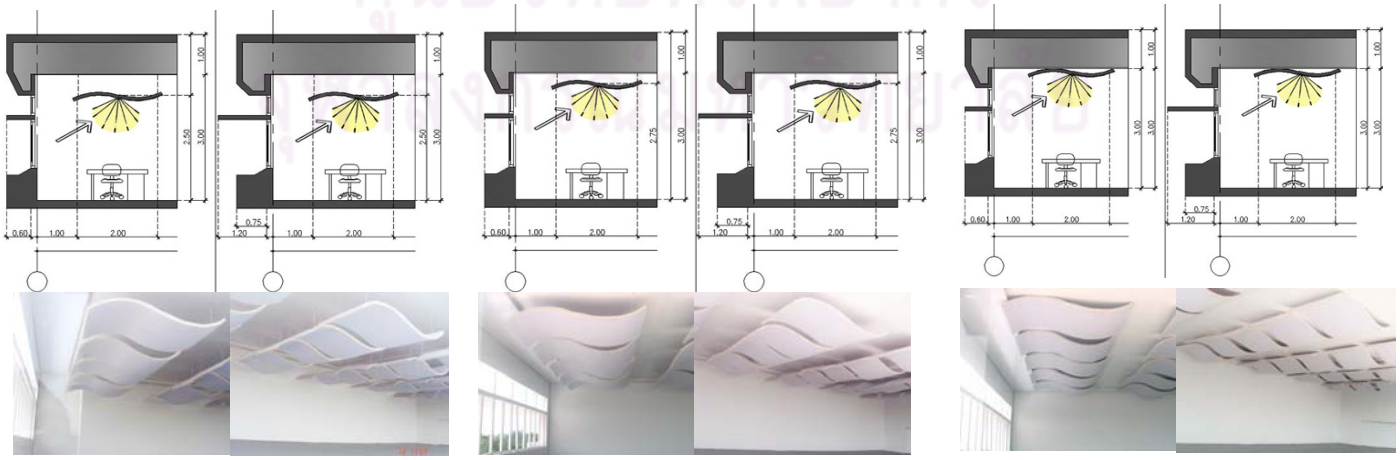
แผนภูมิที่ 4.81 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ spread ที่ระดับต่างๆ





ตารางที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของระดับติดตั้ง interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect.

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ diffuse reflect.												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.		ระดับ 2.50 m.		ระดับ 2.75 m.		ระดับ 3.00 m.	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	5.37	3.92	6.99	5.05	4.94	4.51	9.05	5.34	8.82	5.98	7.28	4.59
2.00 m.	3.61	2.71	4.48	3.47	3.26	3.06	5.09	3.57	5.80	4.13	5.64	3.38
3.00 m.	2.27	2.02	3.26	2.42	2.16	1.97	3.68	2.57	3.81	2.90	3.84	2.45
4.00 m.	1.40	1.47	1.95	1.59	1.32	1.22	2.48	1.91	2.61	2.01	2.49	1.69
5.00 m.	0.96	1.00	1.36	1.12	0.91	0.87	1.81	1.36	1.83	1.28	1.80	1.19
6.00 m.	0.71	0.77	0.98	0.84	0.66	0.65	1.27	0.94	1.34	0.88	1.37	0.90
7.00 m.	0.53	0.55	0.75	0.64	0.50	0.51	1.08	0.66	1.02	0.66	1.06	0.68
8.00 m.	0.41	0.49	0.59	0.50	0.39	0.39	0.76	0.50	0.80	0.51	0.84	0.56
9.00 m.	0.32	0.43	0.47	0.41	0.30	0.30	0.60	0.41	0.66	0.39	0.68	0.46
10.00 m.	0.28	0.36	0.38	0.35	0.24	0.25	0.49	0.34	0.55	0.31	0.67	0.39
11.00 m.	0.23	0.31	0.32	0.30	0.20	0.21	0.41	0.29	0.47	0.27	0.49	0.33
12.00 m.	0.21	0.30	0.29	0.28	0.18	0.18	0.36	0.26	0.41	0.23	0.45	0.30
13.00 m.	0.20	0.28	0.28	0.27	0.16	0.17	0.32	0.26	0.39	0.22	0.41	0.29
14.00 m.	0.21	0.28	0.27	0.27	0.16	0.18	0.33	0.25	0.39	0.22	0.42	0.29
15.00 m.	0.23	0.29	0.30	0.29	0.18	0.20	0.38	0.29	0.40	0.26	0.43	0.29
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.50	3.05	3.95	3.60	3.20	2.95	4.80	3.90	4.85	4.00	4.80	3.65
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	21.88	19.06	24.69	22.50	20.00	18.44	30.00	24.38	30.31	25.00	30.00	22.81
ดูภาคผนวก	ค.19		ค.37		ค.55		ค.20		ค.38		ค.56	



ที่ระดับ 2.50 m. **ที่ระดับ** 2.75 m. **ที่ระดับ** 3.00 m.

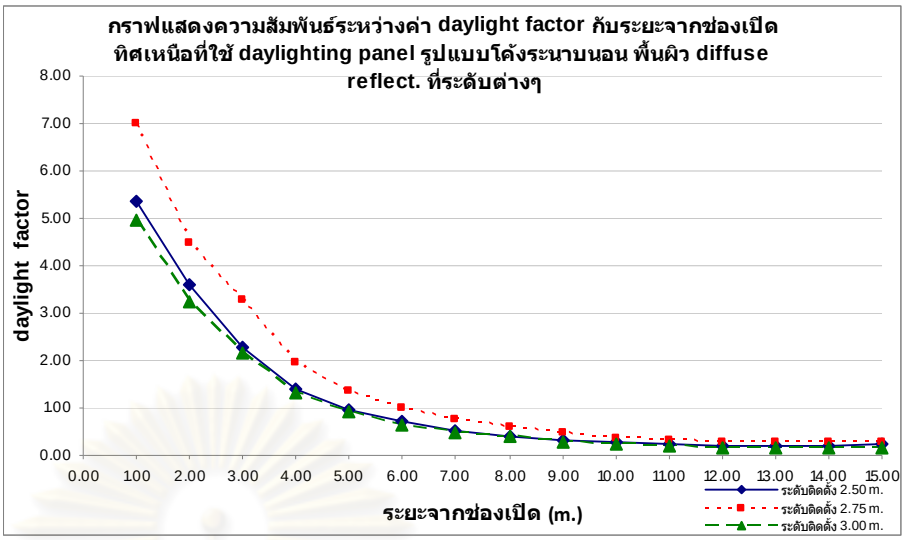
ภาพที่ 4.29 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ** daylighting panels **รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ** diffuse reflect.

แผนภูมิที่ 4.82 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels โค้งระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect. ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

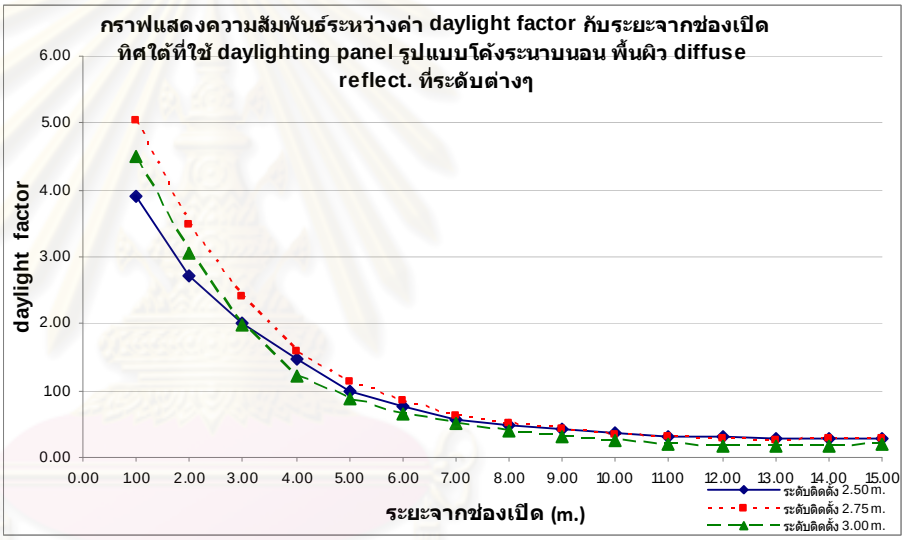
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.

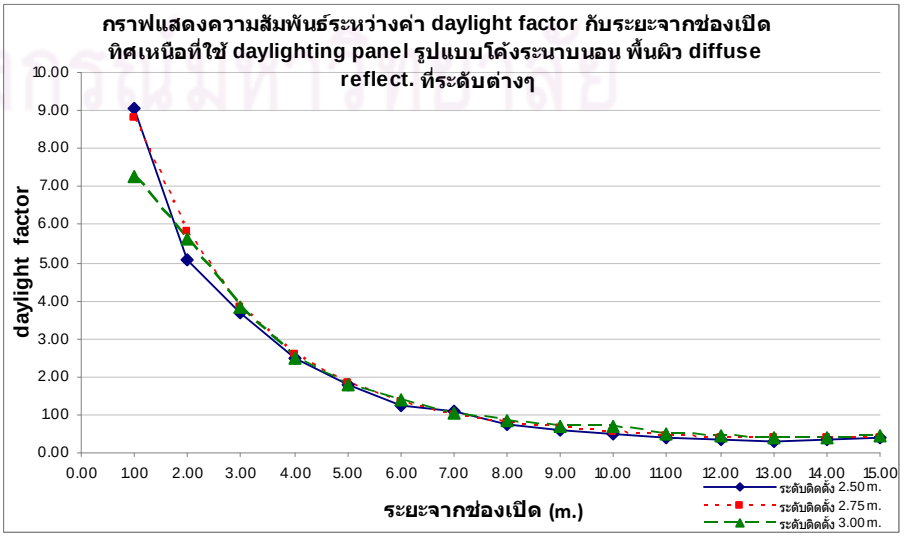


แผนภูมิที่ 4.83 กราฟแสดงผลการทดลองระดับ lighting panels โค้งระนาบนอน วัสดุ diffuse reflect. ใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

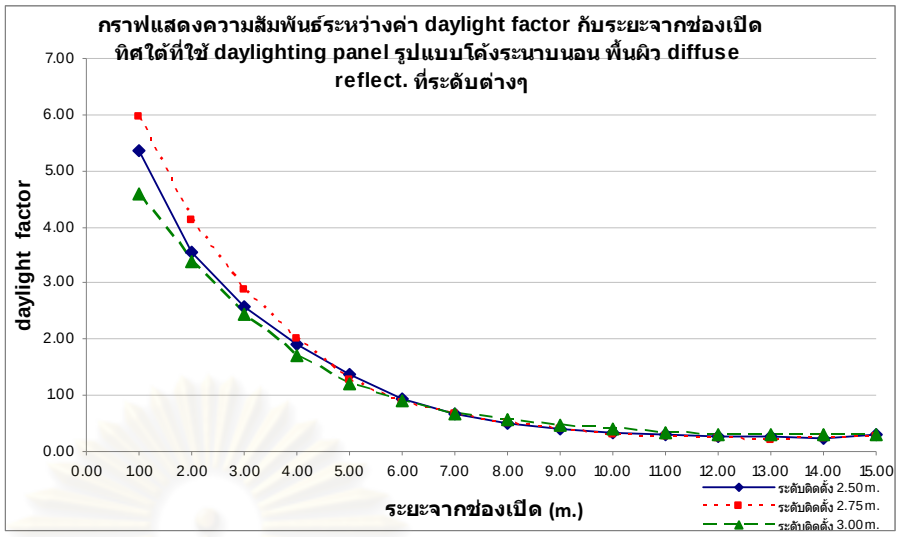
ระดับ 3.00 m.



ระดับ 2.50 m.

ระดับ 2.75 m.

ระดับ 3.00 m.



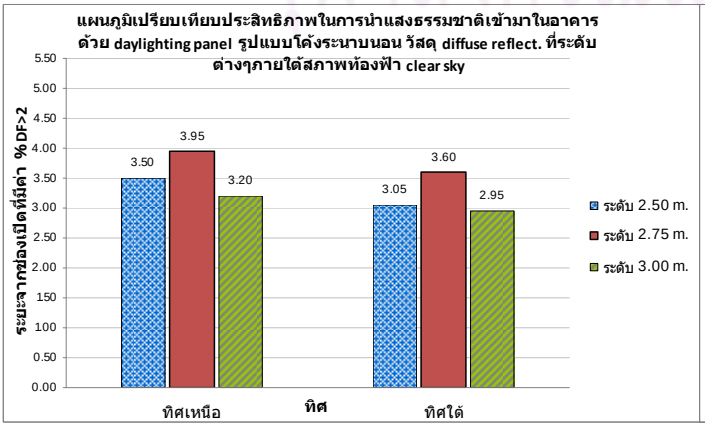
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระดับติดตั้งของ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอนวัสดุ diffuse reflect. กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตรและ 3.00 เมตรตามลำดับ โดยรูปแบบระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ติดตั้งระดับ 2.75 เมตร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 4.85 เมตรคิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 21.25% และทิศใต้ 4.00 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 23.08% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.82-4.83 และแผนภูมิที่ 4.84

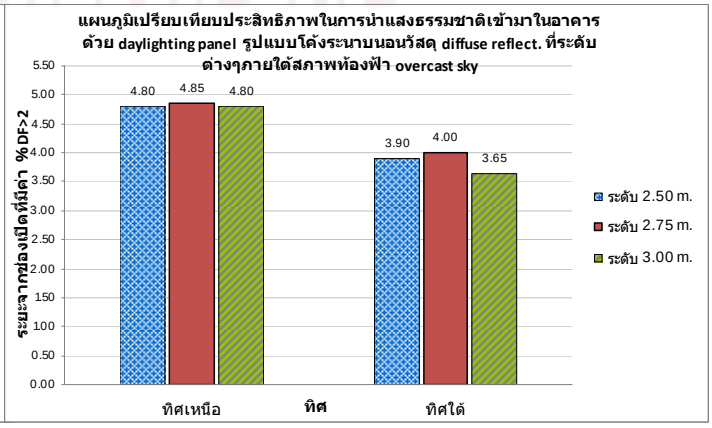
ที่ระดับ 2.50 m.

ที่ระดับ 2.75 m.

ที่ระดับ 3.00 m.

แผนภูมิที่ 4.84 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ diffuse ที่ระดับต่าง ๆ





ตารางที่ 4.34สรุปผลการศึกษาตัวแปรกายภาพด้านระดับติดตั้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ daylighting panels

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง ทิศเหนือ-ทิศใต้ (เรียงตามลำดับประสิทธิภาพ)	ผลการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า	ระยะแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (m.)					
				ทิศเหนือ			ทิศใต้		
				ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)	ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)
4.1.1. ตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel									
3.	ระดับติดตั้ง interior daylighting panels (ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพที่สุดพบในการทดลองระดับติดตั้ง interiordaylighting panel รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุ spread reflect.	1. ติดตั้ง daylighting panels ที่ระดับ 2.75 เมตร	Clear sky	4.70	+1.65	54.09%	4.20	+1.70	68.00%
			Overcast sky	5.70	+1.70	42.50%	5.00	+1.75	53.85%
		2. ติดตั้ง daylighting panels ที่ระดับ 2.50 เมตร	Clear sky	4.35	+1.30	42.62%	3.80	+1.30	52.00%
			Overcast sky	5.55	+1.55	38.75%	4.85	+1.60	49.23%
		3. ติดตั้ง daylighting panels ที่ระดับ 3.00 เมตร	Clear sky	4.20	+1.15	37.70%	3.70	+1.20	48.00%
			Overcast sky	5.50	+1.50	37.50%	4.45	+1.20	36.92%

หมายเหตุ : ระยะที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองนี้เป็นระยะที่เพิ่มจากกรณีปกติ (base case)

จากการศึกษาตัวแปรกายภาพด้านระดับในการติดตั้งของ interior daylighting panels พบว่า daylighting panels ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ (2%DF)ได้ดีกว่า ระดับติดตั้ง 2.50 เมตร และระดับติดตั้ง 3.00 เมตร ตามลำดับ ดังนี้

1) ระดับในการติดตั้ง daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่พบจากการทดลอง เป็นการ**ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร** ของ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ spread reflect.

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.70 เมตรและทิศใต้ 4.20 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.65 เมตร(54.09%) และทิศใต้ 1.70 เมตร(68.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตรและทิศใต้ 5.00 เมตร เพิ่มจาก base case ทิศเหนือ 1.70 เมตร(42.50%) และทิศใต้ 1.75 เมตร(53.85%)

2) ระดับในการติดตั้ง daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ2 ที่พบจากการทดลองเป็นการ**ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตร** ของdaylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ spread reflect.

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.35 เมตร และทิศใต้ 3.80 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ในทิศเหนือ 1.30 เมตร(42.62%),ทิศใต้ 1.30 เมตร(52.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.55 เมตรและทิศใต้ 4.85 เมตร เพิ่มจาก base case ทิศเหนือ 1.55 เมตร(38.75%) และทิศใต้ 1.60 เมตร(49.23%)

3) ระดับในการติดตั้ง daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ3 ที่พบจากการทดลองเป็นการ**ติดตั้งที่ระดับ 3.00 เมตร** ของdaylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ spread reflect.

- กรณีท้องฟ้า clear sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.20 เมตรและทิศใต้ 3.70 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.15 เมตร(37.70%) และทิศใต้ 1.20 เมตร(48.00%)
- กรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.50 เมตร และทิศใต้ 4.45 เมตร เพิ่มจาก base case ในทิศเหนือ 1.50 เมตร (37.50%),ทิศใต้ 1.20 เมตร(36.92%)

ตารางที่ 4.35 สรุปผลการศึกษาตัวแปรกายภาพ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panels

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง ทิศเหนือ-ทิศใต้ (เรียงตามลำดับประสิทธิภาพ)	ผลการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า	ระยะแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (m.)					
				ทิศเหนือ			ทิศใต้		
				ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)	ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)
4.1.1. ตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel									
1.	รูปแบบ daylighting panels	- รูปแบบโค้งระนาบนอน	Clear sky	4.70	+1.65	54.09%	4.20	+1.70	68.00%
2.	พื้นผิววัสดุ daylighting panels	- พื้นผิววัสดุ spread reflection	Overcast sky	5.70	+1.70	42.50%	5.00	+1.75	53.85%
3.	ระดับติดตั้ง daylighting panel	- ระดับติดตั้ง 2.75 m.							

หมายเหตุ : ระยะที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองนี้เป็นระยะที่เพิ่มจากกรณีปกติ (base case)

จากการศึกษาตัวแปรกายภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panels พบว่า

1. การศึกษาด้านรูปแบบของ interior daylighting panels พบว่า daylighting panels ที่มี**รูปแบบลักษณะโค้งระนาบนอน**มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ได้ดีกว่า รูปแบบเรียบระนาบเอียงและรูปแบบตรงระนาบนอนตามลำดับ หากศึกษาประกอบกับทฤษฎีด้านรูปทรงกับการสะท้อนแสงในบทที่ 2 หน้าที่ 31 จะเห็นว่าเป็นผลมาจากรูปแบบโค้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนองศาในการสะท้อนแสงได้ในทุกส่วนโค้งที่แสงตกกระทบ จึงทำให้สามารถสะท้อนแสงได้ไกลกว่ารูปแบบอื่นๆ

2. การศึกษาตัวแปรด้านพื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels พบว่า daylighting panels ที่มี**พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระเจิงแสง**(spread reflect.)ที่รวมการสะท้อนแสงแบบกระจกและกระจายเข้าด้วยกันมีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ ได้ดีกว่า พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจก(specular reflect.)และพื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจาย(diffuse reflect.)ตามลำดับ หากดูจากผลการทดลองจะเห็นว่า daylighting panel วัสดุ specular reflect. จะให้ค่า daylight factor สูงกว่าพื้นผิวอื่นๆ ในช่วงระยะใกล้ช่องเปิดเนื่องจากมีค่าการสะท้อนแสงสูง แต่จะมีค่าลดลงจนน้อยกว่าพื้นผิววัสดุ spread reflect. เมื่อพิจารณาในระยะที่ไกลจากช่องเปิดออกไป จึงทำให้ได้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอน้อยกว่า อาจเป็นผลมาจากการสะท้อนพื้นผิวส่วนพื้นห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อยขึ้นมาของ daylighting panels แถวที่อยู่ด้านใน

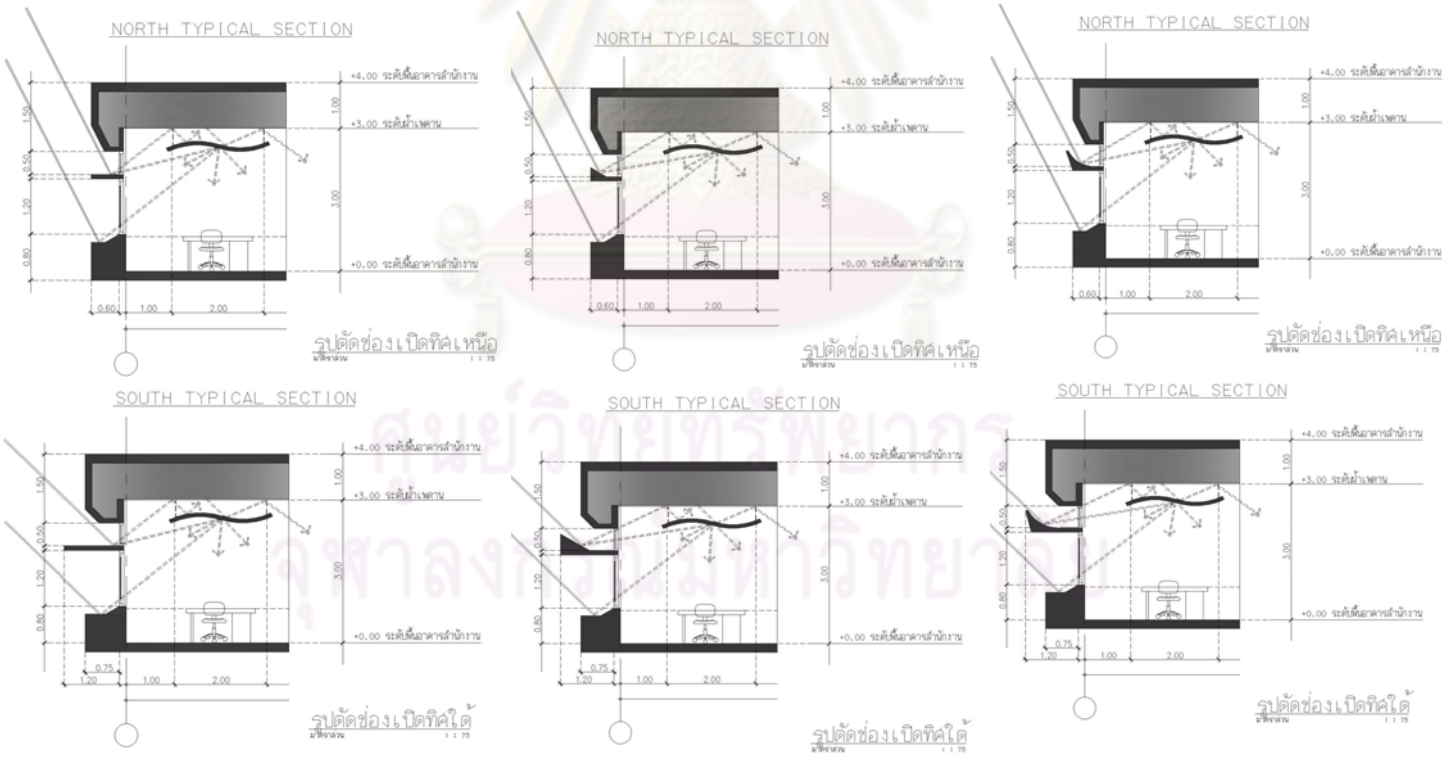
3. การศึกษาด้านระดับในการติดตั้งของ interior daylighting panels พบว่า daylighting panels ที่**ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร** มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ ได้ดีกว่า ระดับติดตั้ง 2.50 เมตร และระดับติดตั้ง 3.00 เมตร ตามลำดับ เนื่องจากเป็นระยะที่ทำให้เกิดช่วงในการรับแสงจาก lightshelves เพื่อไปสะท้อนกับ daylighting panels ได้ดีกว่าในระดับอื่นๆ

4.1.2 ผลการทดลองตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ Interior daylighting panels

1) ผลการทดลองประสิทธิภาพด้านรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร

ตารางที่ 4.36 แสดงการกำหนดตัวแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของ daylighting panels

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม	หมายเหตุ
การใช้ Interior daylighting panels ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสง (lightshelves) ที่ช่องเปิดอาคารลักษณะต่างๆ	ค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบใช้งาน	สภาพท้องฟ้าในการทดสอบ	ทดสอบในสภาพท้องฟ้า clear sky และ overcast sky
		ทิศในการทดสอบ	ทิศเหนือและทิศใต้
		หุ่นจำลอง - Interior daylighting panels -รูปแบบช่องเปิด -องค์ประกอบภายใน พื้น,ผนัง,ฝ้าเพดาน	รายละเอียดในตารางที่ 3.8 -3.9
		ชนิดของกระจก	กระจกโฟลตใสความหนา 6 มม. ที่มีค่าการส่องผ่าน 90 %

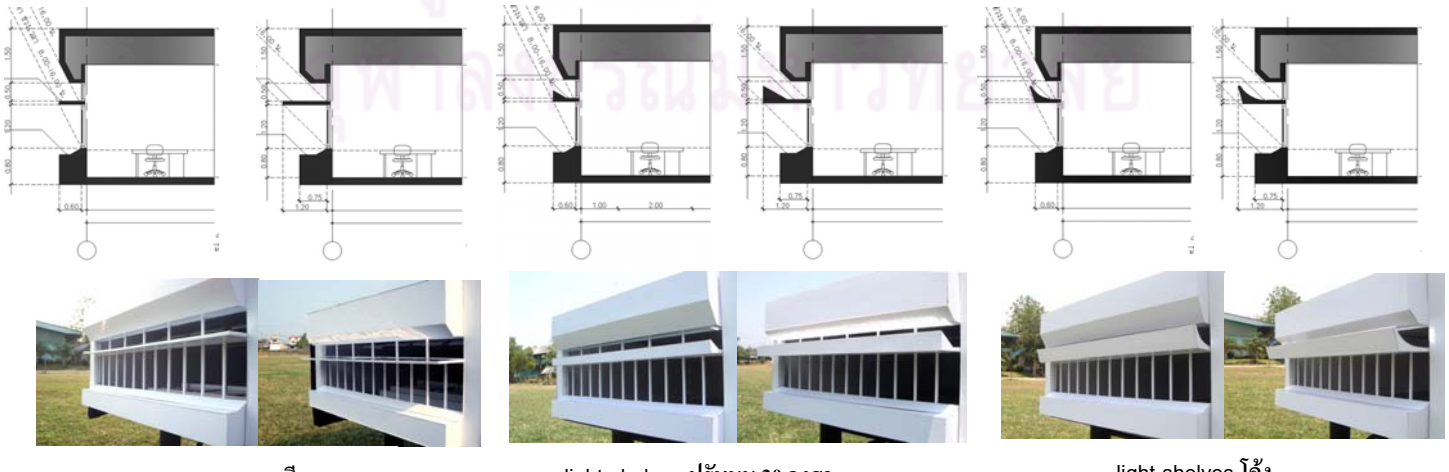


daylighting panels ร่วมกับ light shelvesเรียบตรง daylighting panels ร่วมกับ light shelves ปรับมุม 30 องศา daylighting panels ร่วมกับ light shelves โค้ง

ภาพที่ 4.30 **แสดง** typical section **ของช่องเปิดอาคารที่มีการใช้** interior daylighting panels **ร่วมกับ** lightshelves **รูปแบบต่างๆ**

ตารางที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของการทดลองใช้ lightshelves ลักษณะต่างๆ เพียงอย่างเดียว

ค่า daylight factor ของการใช้ light shelves ลักษณะต่างๆ												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	light shelve เรียบ		light shelve องศา		light shelve โค้ง		light shelve เรียบ		light shelve องศา		light shelve โค้ง	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	3.79	3.22	4.14	4.03	4.79	4.23	6.72	4.67	7.63	5.40	8.17	5.54
2.00 m.	2.74	2.28	3.07	2.79	3.60	3.06	4.46	3.00	5.16	3.67	5.55	4.10
3.00 m.	2.01	1.56	2.31	2.05	2.69	2.32	2.98	2.12	3.44	2.49	3.68	2.87
4.00 m.	1.39	1.07	1.64	1.42	2.01	1.66	2.04	1.41	2.34	1.76	2.56	2.07
5.00 m.	0.96	0.79	1.14	1.01	1.42	1.16	1.42	1.00	1.66	1.28	1.83	1.48
6.00 m.	0.67	0.58	0.79	0.71	1.01	0.81	1.04	0.72	1.24	0.92	1.33	1.05
7.00 m.	0.51	0.44	0.58	0.51	0.70	0.58	0.84	0.56	0.94	0.70	1.03	0.76
8.00 m.	0.40	0.35	0.45	0.42	0.56	0.48	0.64	0.40	0.76	0.55	0.83	0.60
9.00 m.	0.32	0.30	0.37	0.35	0.42	0.40	0.50	0.36	0.62	0.46	0.68	0.51
10.00 m.	0.25	0.23	0.32	0.30	0.38	0.34	0.43	0.30	0.52	0.39	0.56	0.43
11.00 m.	0.22	0.20	0.28	0.27	0.33	0.30	0.40	0.26	0.45	0.34	0.49	0.37
12.00 m.	0.20	0.18	0.26	0.26	0.30	0.28	0.32	0.24	0.40	0.31	0.44	0.33
13.00 m.	0.18	0.17	0.26	0.25	0.29	0.27	0.29	0.23	0.38	0.31	0.40	0.33
14.00 m.	0.16	0.16	0.26	0.25	0.28	0.28	0.27	0.21	0.39	0.33	0.42	0.35
15.00 m.	0.17	0.17	0.26	0.26	0.30	0.29	0.25	0.22	0.41	0.34	0.42	0.36
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	3.05	2.50	3.50	3.05	4.00	3.40	4.00	3.25	4.50	3.70	4.85	4.10
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	19.06	15.63	21.88	19.06	25.00	21.25	25.00	20.31	28.13	23.13	30.31	25.63
ดูภาคผนวก	ค.1		ค.57		ค.59		ค.2		ค.58		ค.60	



light shelves **เรียบตรง** light shelves **ปรับมุม 30 องศา** light shelves **โค้ง**

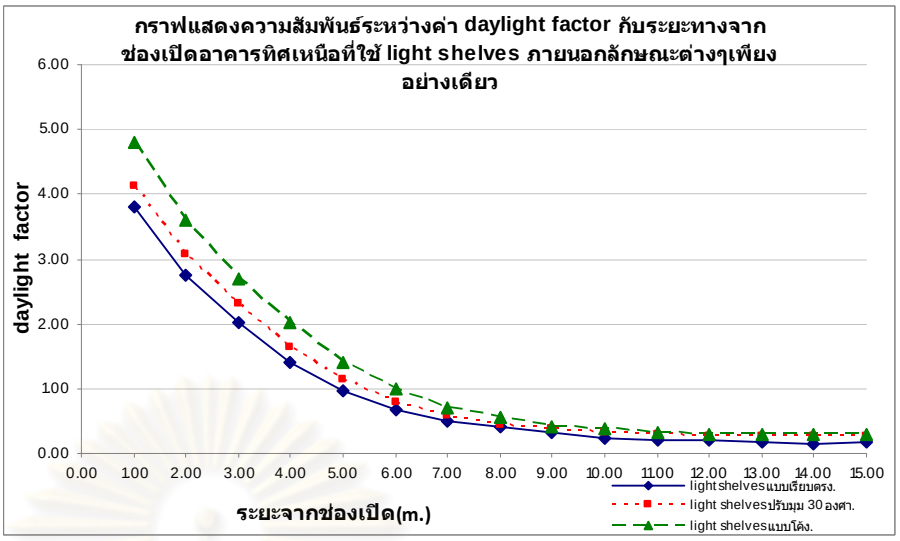
ภาพที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ lightshelvesภายนอกลักษณะต่างๆเพียงอย่างเดียว

แผนภูมิที่ 4.85 กราฟแสดงผลการทดลองกรณีใช้ light shelves ลักษณะต่างๆเพียงอย่างเดียว ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

Lightshelves เรียบตรง

Lightshelves ปรับมุม 30 องศา

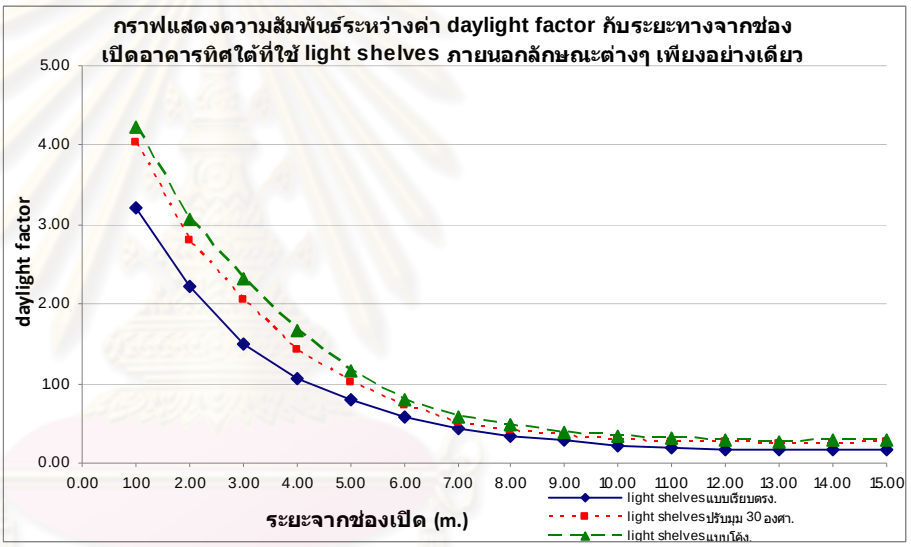
Lightshelves โค้ง



Lightshelves เรียบตรง

Lightshelves ปรับมุม 30 องศา

Lightshelves โค้ง

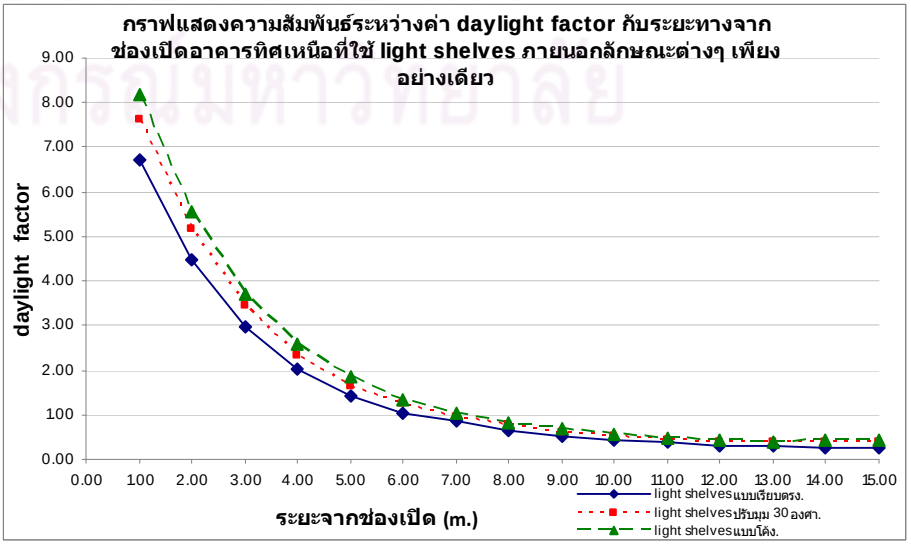


แผนภูมิที่ 4.86 กราฟแสดงผลการทดลองกรณีใช้ light shelves ลักษณะต่างๆเพียงอย่างเดียว ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

Lightshelves เรียบตรง

Lightshelves ปรับมุม 30 องศา

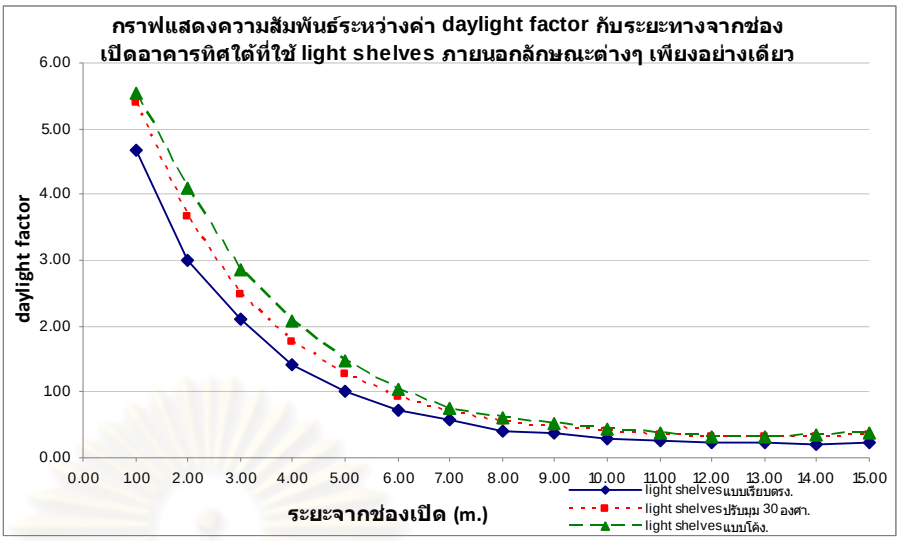
Lightshelves โค้ง



Lightshelves เรียบตรง

Lightshelves ปรับมุม 30 องศา

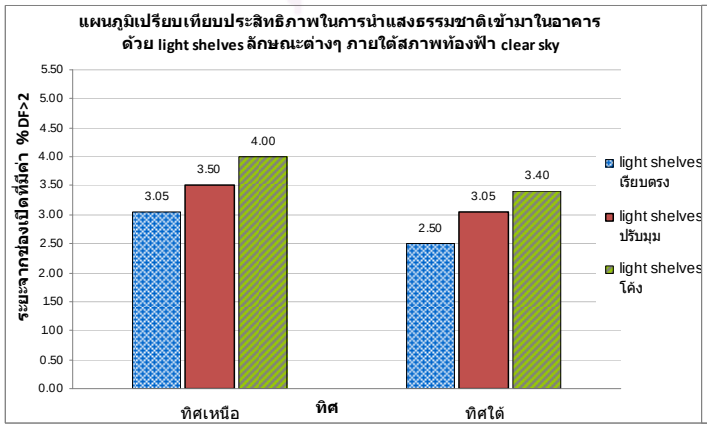
Lightshelves โค้ง

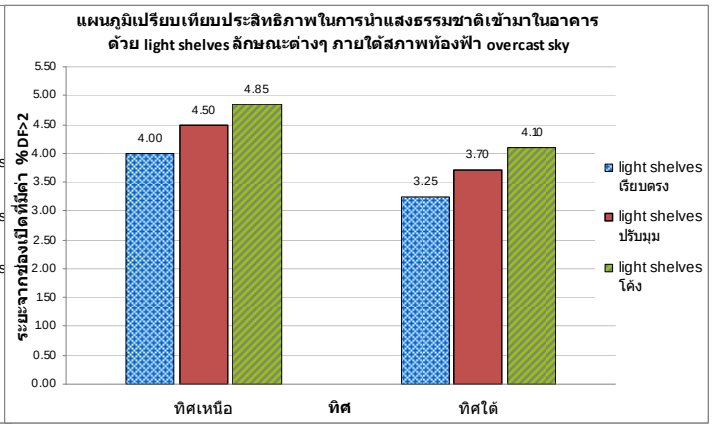


จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารด้วยหิ้งสะท้อนแสง (light shelves) ลักษณะต่างๆ เพียงอย่างเดียว พบว่า หิ้งสะท้อนแสงภายนอกลักษณะโค้งนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า หิ้งสะท้อนแสงแบบปรับมุม 30 องศาและหิ้งสะท้อนแสงแบบเรียบตรงตามลำดับ โดยหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้งนั้นสามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน(2%DF) ได้มากที่สุดภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky ในทิศเหนือได้ระยะ 4.85 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ light shelves แบบเรียบที่ช่องเปิด (base case) 21.25% และทิศใต้ 4.10 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจาก base case 26.15% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.85-4.86 และแผนภูมิที่ 4.87

Light shelves เรียบตรง Light shelves ปรับมุม 30 องศา Light shelves โค้ง

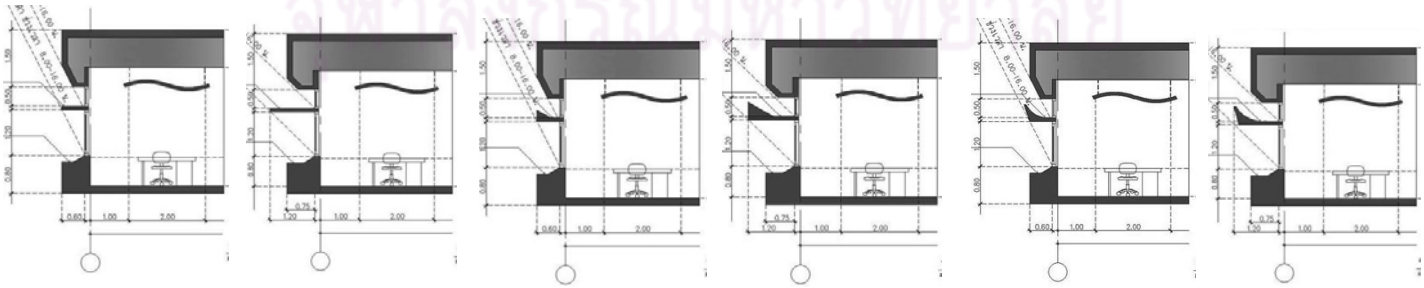
แผนภูมิที่ 4.87 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย light shelves ลักษณะต่าง ๆเพียงอย่างเดียว





ตารางที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบค่า daylight factor ของการทดลองการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ spread reflect. ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร ร่วมกับ lightshelves ลักษณะต่างๆ

ค่า daylight factor ของการใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอน ร่วมกับ light shelves ลักษณะต่างๆ												
ระยะจากช่องเปิด (m.)	สภาพท้องฟ้า clear sky						สภาพท้องฟ้า overcast sky					
	light shelve เรียบ		light shelve องศา		light shelve โค้ง		light shelve เรียบ		light shelve องศา		light shelve โค้ง	
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศใต้
1.00 m.	8.10	4.95	9.28	6.31	10.53	7.35	9.01	7.08	10.74	7.96	10.84	9.70
2.00 m.	5.21	3.67	6.35	4.59	7.39	5.35	6.41	4.98	7.22	5.66	8.00	6.82
3.00 m.	4.00	2.78	4.47	3.32	4.98	3.85	4.43	3.65	5.13	4.06	5.80	5.00
4.00 m.	2.63	2.10	3.11	2.40	3.46	2.77	3.41	2.66	3.82	2.99	4.25	3.76
5.00 m.	1.81	1.56	2.13	1.77	2.30	1.99	2.53	2.03	2.83	2.28	3.16	2.70
6.00 m.	1.46	1.14	1.66	1.48	1.83	1.64	1.82	1.42	1.94	1.76	2.19	1.94
7.00 m.	1.12	0.90	1.33	1.16	1.54	1.35	1.39	1.02	1.42	1.22	1.56	1.52
8.00 m.	0.88	0.71	1.02	0.91	1.16	1.09	1.09	0.74	1.15	0.89	1.28	1.08
9.00 m.	0.70	0.59	0.81	0.70	0.87	0.85	0.91	0.54	1.00	0.65	1.03	0.80
10.00 m.	0.70	0.52	0.67	0.60	0.69	0.69	0.74	0.45	0.82	0.43	0.88	0.55
11.00 m.	0.49	0.46	0.63	0.54	0.59	0.59	0.63	0.40	0.68	0.38	0.75	0.48
12.00 m.	0.44	0.41	0.50	0.45	0.52	0.52	0.55	0.33	0.60	0.34	0.63	0.44
13.00 m.	0.40	0.40	0.47	0.44	0.48	0.46	0.50	0.30	0.53	0.35	0.58	0.43
14.00 m.	0.38	0.40	0.47	0.43	0.48	0.47	0.47	0.28	0.51	0.34	0.56	0.37
15.00 m.	0.41	0.39	0.46	0.44	0.49	0.48	0.49	0.29	0.50	0.36	0.54	0.39
ระยะจากช่องเปิด (m.) ที่ (%)DF≥2	4.70	4.20	5.10	4.60	5.55	4.95	5.70	5.00	5.90	5.40	6.30	5.80
คิดเป็นพื้นที่ผ่านเกณฑ์(%)	29.38	26.25	31.88	28.75	34.69	30.94	35.63	31.25	36.88	33.75	39.38	36.25
ดูภาคผนวก	ค.35		ค.61		ค.63		ค.36		ค.62		ค.64	



daylighting panels + light shelves **เรียบตรง** daylighting panels + light shelves **ปรับมุม 30 องศา** daylighting panels + light shelves **โค้ง**

ภาพที่ 4.32 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้** daylighting panels **โค้งระนาบนอนร่วมกับ** lightshelves**ภายนอกลักษณะต่างๆ**

แผนภูมิที่ 4.88 กราฟแสดงผลการทดลองกรณีใช้ lighting panels ร่วมกับ light shelves ลักษณะต่างๆภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

daylighting panel + light shelves เรียบ

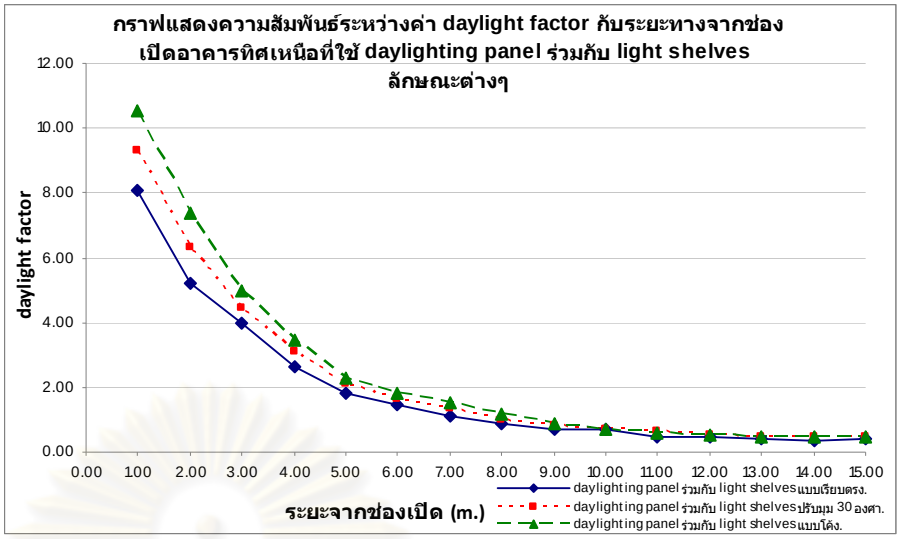
daylighting panel + light shelves ปรับมุม 30องศา

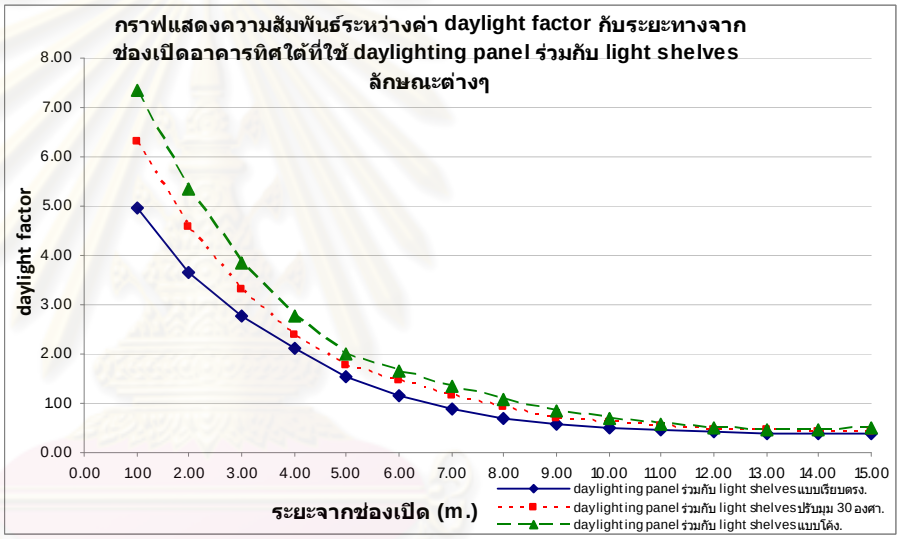
daylighting panel + light shelves โค้ง

daylighting panel + light shelves เรียบ

daylighting panel + light shelves ปรับมุม 30 องศา

daylighting panel + light shelves โค้ง



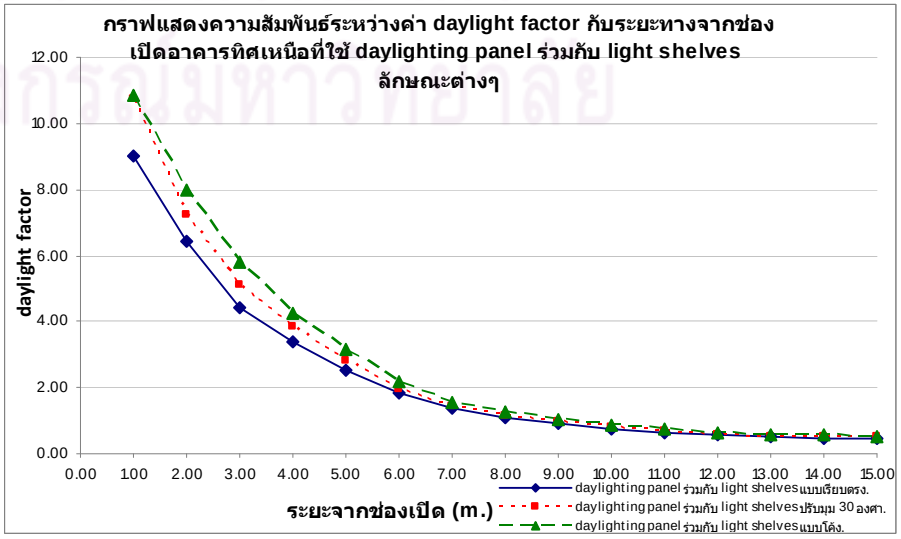


แผนภูมิที่ 4.89 กราฟแสดงผลการทดลองกรณีใช้ lighting panels ร่วมกับ light shelves ลักษณะต่างๆใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

daylighting panel + light shelves เรียบ

daylighting panel + light shelves ปรับมุม 30องศา

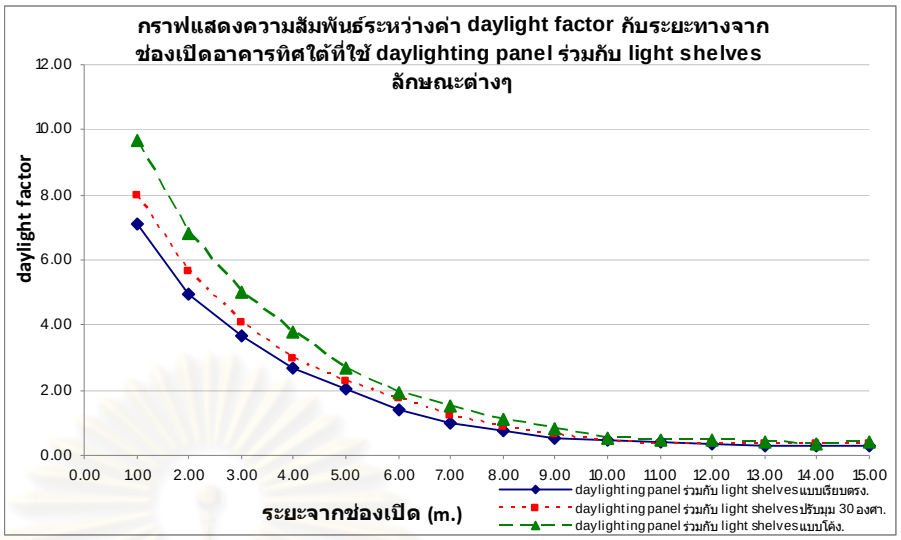
daylighting panel + light shelves โค้ง



daylighting panel + light shelves **เรียบ**

daylighting panel + light shelves **ปรับมุม 30องศา**

daylighting panel + light shelves **โค้ง**



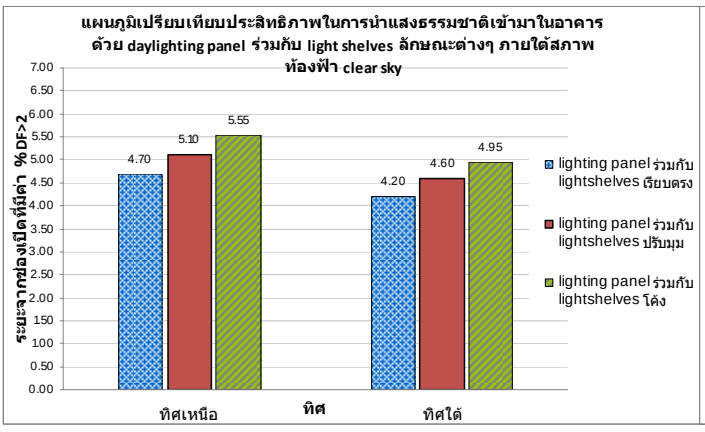
จากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงลักษณะต่างๆ กับประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร พบว่า daylighting panels ที่ใช้ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงโค้งนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า การใช้ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงปรับมุม 30 องศา และหิ้งสะท้อนแสงเรียบตรงตามลำดับ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ daylighting panels ที่ใช้ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงโค้ง ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) ในทิศเหนือได้ระยะ 6.30 เมตร (คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves เรียบ 10.53%) และในทิศใต้ 5.80 เมตร คิดเป็นระยะที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ (daylighting panels ร่วมกับ light shelves เรียบ 16.00%) ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 4.88-4.89 และแผนภูมิที่ 4.90

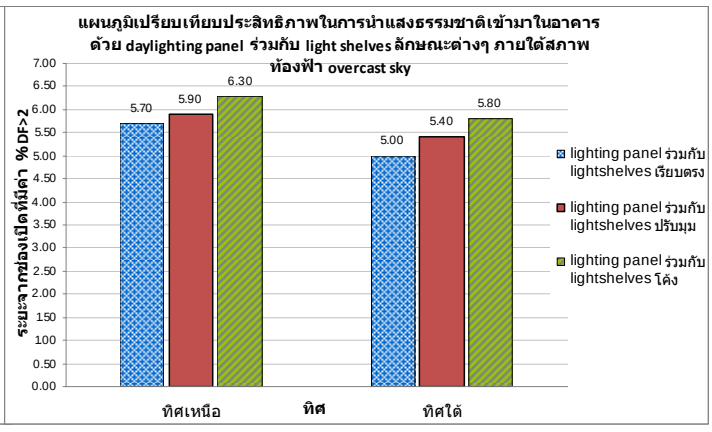
daylighting panels + light shelves **เรียบ**

daylighting panels + light shelves **ปรับมุม 30 องศา**

daylighting panels + light shelves**โค้ง**

แผนภูมิที่ 4.90 **แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารด้วย** daylighting panels **โค้งร่วมกับ** light shelves **ลักษณะต่าง ๆ**





ตารางที่ 4.39 สรุปผลการศึกษาตัวแปรแวดล้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panels

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง ทิศเหนือ-ทิศใต้ (เรียงตามลำดับประสิทธิภาพ)	ผลการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า	ระยะแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (m.)					
				ทิศเหนือ			ทิศใต้		
				ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)	ระยะที่ได้	ระยะที่เพิ่ม	คิดเป็น (%)
4.1.2. ตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel									
1.	รูปทรงของ lightshelves ที่ช่องเปิดอาคาร	1. ใช้ daylighting panels ร่วมกับlight shelves โค้ง	Clear sky	5.55	0.85	18.09%	4.95	0.75	17.86%
			Overcast sky	6.30	0.60	10.53%	5.80	0.80	16.00%
		2. ใช้ daylighting panel ร่วมกับ light shelves ปรับมุม 30 องศา	Clear sky	5.10	0.40	8.51%	4.60	0.40	9.52%
			Overcast sky	5.90	0.20	3.51%	5.40	0.40	8.00%
		3. ใช้ daylighting panels ร่วมกับlight shelves เรียบตรง	Clear sky	4.70	-	-	4.20	-	-
			Overcast sky	5.70	-	-	5.00	-	-

หมายเหตุ : ระยะที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองนี้เป็นระยะที่เพิ่มจากกรณีใช้ lighting panel ร่วมกับ lightshelves เรียบตรง

จากการศึกษาตัวแปรแวดล้อมด้านการใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ลักษณะต่างๆ พบว่า daylighting panels ที่ใช้ร่วมกับ light shelvesโค้งมีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ (2%DF) ได้ดีกว่า การใช้ร่วมกับ light shelves ปรับมุม 30 องศา และใช้ร่วมกับ light shelvesเรียบตรง ตามลำดับ ดังนี้

1) การใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่พบจากการทดลอง เป็นการใช้ **daylighting panels ร่วมกับ light shelves โค้ง**

- กรณีทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.55 เมตร และทิศใต้ 4.95 เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นอีกจากกรณีใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves เรียบตรงในทิศเหนือ 0.85 เมตร(18.09%) และทิศใต้ 0.75 เมตร(17.86%)
- กรณีทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 6.30 เมตร และทิศใต้ 5.80 เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นอีกจากกรณีใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves เรียบตรงในทิศเหนือ 0.60 เมตร(10.53%) และทิศใต้ 0.80 เมตร(16.00%)

2) การใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ 2 ที่พบจากการทดลอง เป็นการใช้ **daylighting panels ร่วมกับ light shelves ปรับมุม 30 องศา**

- กรณีทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.10 เมตร และทิศใต้ 4.60 เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นอีกจากกรณีใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves เรียบตรงในทิศเหนือ 0.40 เมตร(8.51%) และทิศใต้ 0.40 เมตร(9.52%)
- กรณีทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.90 เมตร และทิศใต้ 5.40 เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นอีกจากการใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves เรียบตรงในทิศเหนือ 0.20 เมตร(3.51%) และทิศใต้ 0.40 เมตร(8.00%)

3) การใช้ daylighting panels ร่วมกับ light shelves ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นลำดับ 3 ที่พบจากการทดลอง เป็นการใช้ **daylighting panels ร่วมกับ light shelves แบบเรียบตรง**

- กรณีทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.70 เมตร และทิศใต้ 4.20 เมตร

- กรณีทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตร และทิศใต้ 5.00 เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในและการบริโภคพลังงาน

5.1 การหาค่าความส่องสว่างภายในโดยอาศัยค่า Daylight Factor (%DF)

การหาค่าความส่องสว่างภายในอาคาร โดยอาศัยค่า daylight factor (%DF) จะพิจารณาอัตราส่วนระหว่างปริมาณความสว่างภายนอกต่อภายในที่จุดใดๆ บนพื้นระนาบนอน ในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพท้องฟ้า จากสูตร

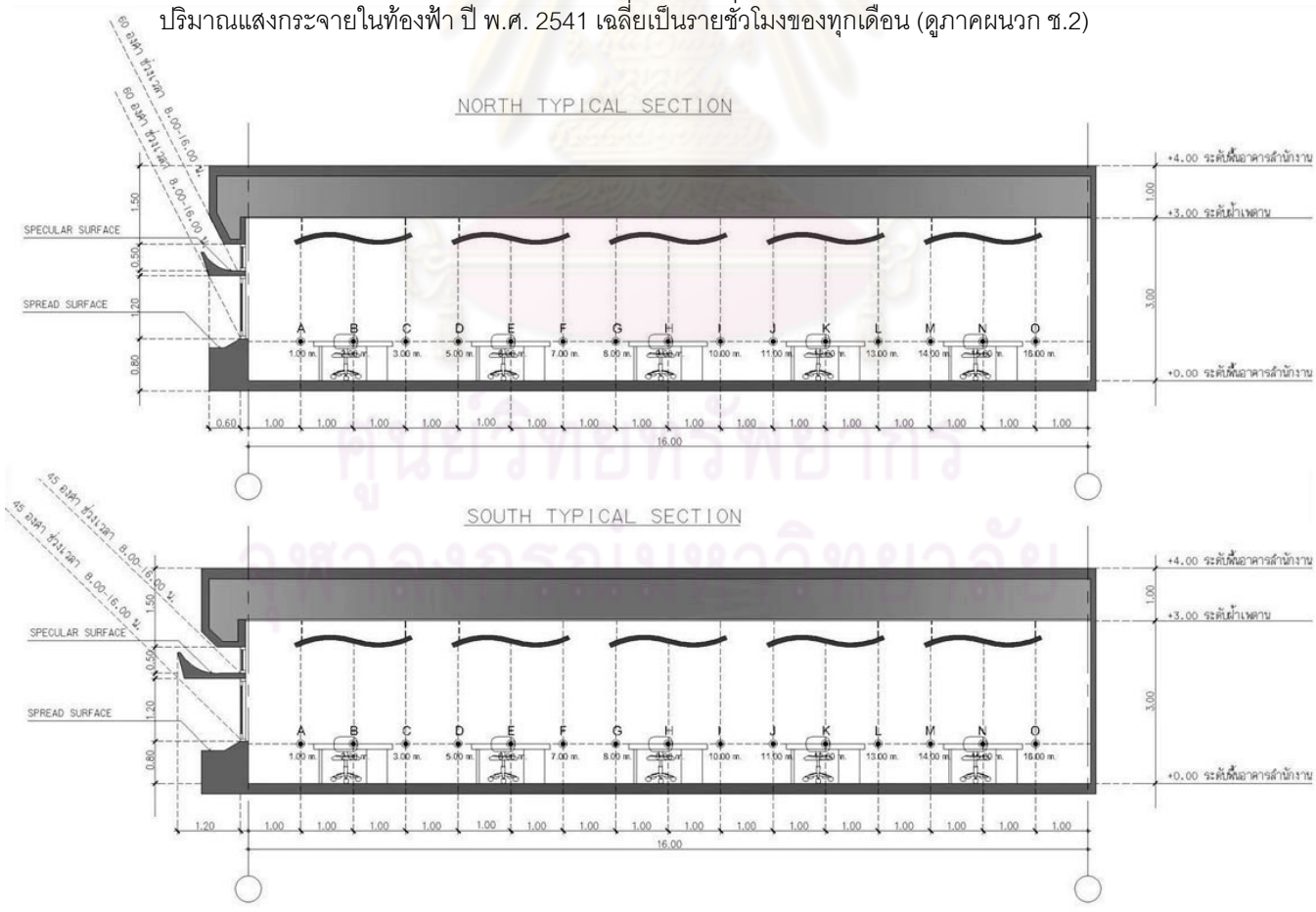
$$\text{จากสูตร } \%DF = \frac{(E_{in} \times \text{dirt factor}(0.9) \times \text{glazing transmittance}(0.9))}{E_{ext}} \times 100$$

โดย E_{in} = inside illuminance at a fixed point

E_{ext} = outside horizontal illuminance under an overcast sky.

เนื่องจากต้องการคาดคะเนความส่องสว่างภายในที่เพียงพอกับการใช้งานจริงในทุกสภาพท้องฟ้าจึงพิจารณาใช้การจำลองสภาพภายใต้ท้องฟ้าที่มีค่าความส่องสว่างค่าต่ำที่สุด คือลักษณะท้องฟ้า Overcast sky ที่มีการให้แสงลักษณะกระจาย

โดยจะสามารถหาค่าความส่องสว่างภายใน ณ. เดือนต่างๆในรอบปีได้จากการอ้างอิงจากข้อมูลปริมาณแสงกระจายในท้องฟ้า ปี พ.ศ. 2541 เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน (ดูภาคผนวก ช.2)



ภาพที่ 5.1 typical section แสดงตำแหน่งที่วัดและพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง

<u>ตัวอย่าง</u> การหาค่าความส่องสว่างภายใน ของการใช้ daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งกับช่องเปิดทิศเหนือ ณ วันใดๆ ในเดือน มกราคม เวลา 8:00 น. มีค่าความส่องสว่างภายนอก(E_{ext}) 13,430 lux ซึ่งจะนำค่า daylight factor ที่วัดได้จากการทดลองมาหาค่าความส่องสว่างภายใน (E_{in}) จากสมการ

$$E_{in} = (\%DF \times E_{ext}) / 100 \quad \text{.....(5.1)}$$

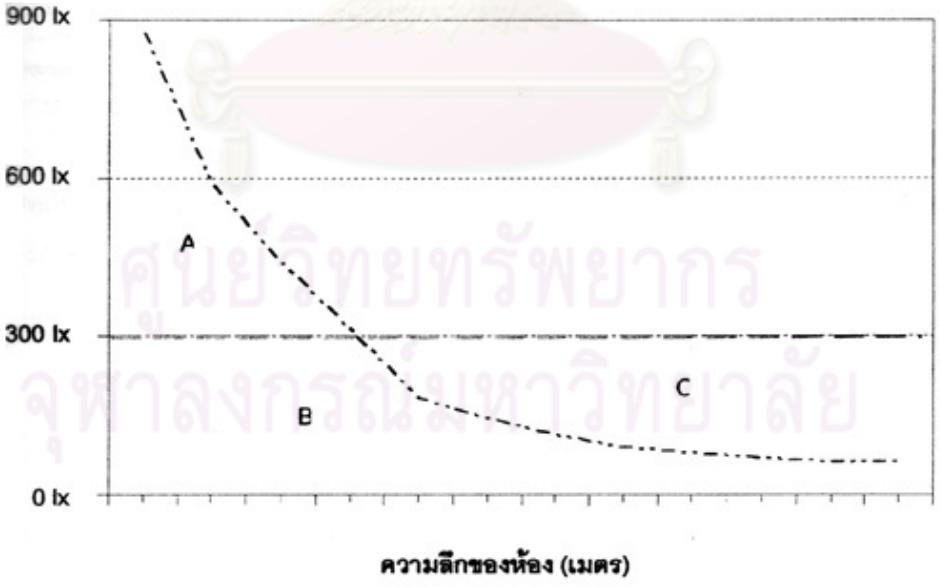
ตารางที่ 5.1 แสดงการหาค่าความส่องสว่างภายใน (E_{in}) ของการใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอน ร่วมกับ light shelves โค้ง ของช่องเปิดทิศเหนือ ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ค่า Daylight Factor ณ. ระยะความลึกของห้อง(เมตร)															
ตำแหน่ง	(A) 1.00	(B) 2.00	(C) 3.00	(D) 4.00	(E) 5.00	(F) 6.00	(G) 7.00	(H) 8.00	(I) 9.00	(J) 10.00	(K) 11.00	(L) 12.00	(M) 13.00	(N) 14.00	(O) 15.00
%DF	10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54
E_{ext} (lux)	13,430 lux (ณ. วันที่ 21 มกราคม เวลา 8.00 น.)														
E_{in} (lux)	1,455.81	1,074.40	778.94	570.78	424.39	294.12	209.51	171.90	138.33	118.18	100.73	84.61	77.89	75.21	72.52

5.2 การหาปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารที่ต้องการเพิ่ม

ค่าความส่องสว่างภายในอาคารที่ต้องการเพิ่ม เพื่อให้ถึงเกณฑ์มาตรฐานความส่องสว่างสำหรับอาคารสำนักงานที่ 300- 500 lux นั้น จะทำการคำนวณโดยประมวลผลเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าความส่องสว่างรายเดือนจากท้องฟ้า ในช่วงเวลาใช้งานอาคาร 8.00-16.00 น. และค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มนั้นสามารถแบ่ง Zone พื้นที่ใช้งานตามระยะที่ห่างจากช่องเปิดได้ด้วยการพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

แผนภูมิที่ 5.1 กราฟแสดงการแบ่งพื้นที่เพื่อแสดงตำแหน่งที่ต้องการค่าความส่องสว่างภายใน



พื้นที่ใช้งานส่วน A (daylight zone)คือพื้นที่ที่ได้รับค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติมากที่สุด เพราะอยู่ใกล้ช่องเปิดอาคาร จึงทำให้มีค่าความส่องสว่างสูงเกินกว่ามาตรฐานค่าความส่องสว่าง 300 lux

พื้นที่ใช้งานส่วน B (integration daylight and artificial light zone) คือพื้นที่ที่ได้รับค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติในระดับที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานความส่องสว่าง และเป็นตำแหน่งเริ่มพิจารณาใช้แสงประดิษฐ์

พื้นที่ใช้งานส่วน C (Artificial light zone) คือพื้นที่ที่ได้รับค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติไม่ถึงเกณฑ์ จำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในด้วยแสงประดิษฐ์เพื่อให้ถึงเกณฑ์มาตรฐาน 300 lux

ตัวอย่าง เช่น หากต้องการเพิ่มค่าความส่องสว่างในพื้นที่ใช้งานที่มีการใช้ daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelvesโค้งกับช่องเปิดทิศเหนือ ณ.วันใดๆในเดือน มกราคม เวลา 8.00 น.เพื่อให้ถึงเกณฑ์ 300 lux ตารางที่ 5.2 แสดงการหาค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม ของการใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอน ร่วมกับ light shelves โค้ง ของช่องเปิดทิศเหนือ ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

ค่า Daylight Factor ณ. ระยะความลึกของห้อง(เมตร)															
ตำแหน่ง	(A) 1.00	(B) 2.00	(C) 3.00	(D) 4.00	(E) 5.00	(F) 6.00	(G) 7.00	(H) 8.00	(I) 9.00	(J) 10.00	(K) 11.00	(L) 12.00	(M) 13.00	(N) 14.00	(O) 15.00
เกณฑ์	300 lux														
E_{in} (lx)	1,455.81	1,074.40	778.94	570.78	424.39	294.12	209.51	171.90	138.33	118.18	100.73	84.61	77.89	75.21	72.52
เพิ่ม(lx)	-	-	-	-	-	5.88	90.49	128.10	161.67	181.82	199.28	215.39	222.11	224.79	227.48
	คิดค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเฉพาะพื้นที่ที่ค่าไม่ถึงเกณฑ์ 300 lux														

ค่าความส่องสว่างที่ต้องการเฉลี่ย (lux)

$$= \frac{(\text{Ein ที่ต้องการเพิ่มตำแหน่งที่1} \times 300\text{lx}) + \ldots + (\text{Ein ที่ต้องการเพิ่มตำแหน่งที่ n} \times 300\text{lx})}{\text{จำนวนตำแหน่งที่ต้องการความส่องสว่างเพิ่ม} \times 300\ \text{lx}} \quad \ldots(5.2)$$

$$= \frac{(5.88\times300)+(90.49\times300)+(128.10\times300)+(161.67\times300)+(181.82\times300)+(199.28\times300)+(215.39\times300)+(222.11\times300)+(224.79\times300)+(227.48\times300)}{300+300+300+300+300+300+300+300+300+300}$$

$$= 497{,}103 / 3000$$

$$= 165.70 \text{ lux} \quad \text{หรือ} \quad 55.23\ \% \text{ ของความส่องสว่างที่ต้องการ}$$

5.2.1 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในอาคาร เป็นการพิจารณาหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในด้วยแสงประดิษฐ์ จากสมการ

$$\text{Total watt of Lamp} = \frac{\text{illuminance} \times \text{area}}{\text{efficacy} \times (\text{CU} \times \text{LLF})}$$

โดย Total watt of lamp คือพลังงานที่ใช้ในส่วนของการให้ความสว่างเพิ่ม ไม่รวมการสูญเสียพลังงานของบัลลาร์ต (วัตต์-ชั่วโมง)

Illuminance คือ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งานที่ต้องการเพิ่ม (lx)

Area คือ พื้นที่ที่พิจารณาเพิ่มค่าความสว่าง (ตารางเมตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Efficacy คือ ประสิทธิผลของดวงโคม หรือหลอดไฟ ในงานวิจัยนี้ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ของ Lekise 28 watt ความสว่าง 2,800 lumen (ข้อมูลจากบริษัท แอลเคเอส อิเล็คทริคอล โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัดให้ค่า Efficacy = 98 lumen/watt)

CU คือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน(coefficient of utilization)

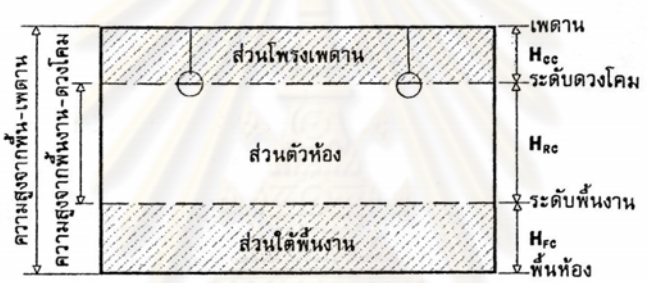
LLF คือ ค่าตัวประกอบที่มีผลทำให้ปริมาณแสงลดลง (light loss factor)

1. หาค่า Efficacy จาก = lumen/watt .....(5.3)

= 2,800/80 = 100 lumen/watt

(แต่จากข้อมูลผู้ผลิตกำหนดค่า Efficacy ของหลอด T5 Lekise 28 watt ความสว่าง 2800 lumen = 98 lumen/watt จึงใช้ค่านี้ในการคำนวณ)

2. หาค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (CU) จากอัตราส่วนโพรง โดยกำหนดค่า zonal cavity ได้ดังนี้



ภาพที่ 5.2 แสดงวิธีการกำหนด zonal cavity (Kaufman,1981)

- ส่วนโพรงเพดาน (ceiling cavity) = 0.25
- ส่วนตัวห้อง (room cavity) = 2.00
- ส่วนใต้พื้นงาน (floor cavity) = 0.75

และห้องมีขนาด 8 x 16 เมตร จะได้อัตราส่วนโพรง (cavity ratio)ต่างๆ ดังนี้

2.1) อัตราส่วนโพรงเพดาน CCR = $[5H_{CC} (W+L)] / W \times L$ .....(5.4)

= [5(0.25)(8+16)] / 8x16 = 0.23

2.2) อัตราส่วนตัวห้อง RCR = $[5H_{RC} (W+L)] / W \times L$.....(5.5)

= [5(2)(8+16)] / 8x16 = 1.88

2.3) อัตราส่วนใต้พื้นงาน FCR = $[5H_{FC} (W+L)] / W \times L$.....(5.6)

= [5(0.75)(8+16)] / 8x16 = 0.70

นำค่าที่ได้ไปหาประสิทธิภาพการสะท้อนของโพรงแสงด้วยการเปิดตาราง Percent effective ceiling or floor cavity reflectance for various reflectance combinations ในภาคผนวก ซ .1 และ ซ.2 จะได้

Pc =70% เปิดตารางได้ค่า Pcc = 67 %

Pw =50% เปิดตารางได้ค่า Pwc = - %

Pf =30% เปิดตารางได้ค่า Pfc = 28 %

นำค่า Pcc กับ Pw ไปเปิดตาราง Coefficient of Utilization,luminaire spacing criterion and maintenance categories of typical luminaries จากหนังสือ IES lighting handbook 1981 reference จะพบว่า luminaire ที่พิจารณาใช้ในการศึกษาอยู่ใน category VI ทำให้ได้

ค่า CU = 0.52

เนื่องจากพื้นห้องที่ศึกษามีค่า Pfc 28 % ทำการปรับค่า CU ให้ถูกต้องด้วยการหาตัวคูณจากตาราง Multiplying factors for other than 20 percent effective floor cavity reflectance ในภาคผนวก ซ .3 จะได้

CU = 0.52 x 1.057

= 0.55

3. หาค่า light loss factor (LLF) จาก

3.1) ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ (LLD) จาก = ค่าปริมาณแสงเฉลี่ย (mean lumen output).....(5.7)

ค่าปริมาณแสงเมื่อเริ่มใช้งาน (initial lumen output)

= 0.90

3.2) ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม(LDD)

ให้พิจารณาจากกราฟและตาราง Procedure for determining luminaire maintenance categories ในภาคผนวก ซ .4 และ ซ.5 เพื่อดูความยากง่ายในการสะสมฝุ่นละอองของ luminaire ที่ใช้ สำหรับในการศึกษานี้ luminaire อยู่ใน category VI พิจารณาห้องอยู่ในประเภทที่ค่อนข้างสะอาดปานกลาง มีการทำความสะอาดดวงโคมทุกระยะ 1ปี(12 เดือน) จะได้

ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม(LDD) = 0.80

จะได้ค่า light loss factor (LLF) = 0.90 x 0.80 = 0.72

ตัวอย่าง เช่น ความสว่างที่ต้องการเพิ่มในพื้นที่ใช้สอย ณ วันที่ 21 มกราคม เวลา 8.00 น.มีค่า 165.70 lux สามารถแทนค่าในสมการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแสงประดิษฐ์ ได้ดังนี้

$$\text{Total watt of Lamp} = \frac{165.70 \times 128}{98 \times (0.55 \times 0.72)}$$

= 546.53 watt-hr

โดย หลอดฟลูเรสเซนต์ ต้องรวมบัลลาสต์ซึ่งบริโภคพลังงานเท่ากับ

Total energy consumption = total watt of lamp (1+ watt of ballast loss)……(5.8)

watt of lamp

โดย Total energy consumption คือ พลังงานที่ใช้ไปในส่วนของแสงประดิษฐ์ (วัตต์รวมบัลลาสต์) ที่ต้องการพิจารณา (โดยในงานวิจัยนี้ใช้บัลลาสต์แกนอิเล็กทรอนิกส์)

Watt of ballast loss คือ พลังงานที่สูญเสียไปในส่วนของบัลลาสต์แกนอิเล็คทรอนิกส์ (วัตต์)

Watt of lamp คือ พลังงานที่สูญเสียไปในส่วนของหลอดไฟ (วัตต์)

Total energy consumption = 546.53 x (1+ 4/28)

= 624.57 watt-hr

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระ จากการแปลงค่าหน่วยพลังงานไฟฟ้า วัตต์-ชั่วโมง ให้เป็นยูนิต (1 ยูนิต = kW-hr โดย kW=1,000 W) หาได้จากสมการดังนี้

$$\text{จำนวนยูนิต(kW)} = \frac{\text{วัตต์ที่ใช้ใน 1 hr x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน}}{1{,}000}$$

คิดค่าไฟฟ้า = จำนวนยูนิตที่ใช้ x 3.64

(จากข้อมูลรายงานไฟฟ้าของประเทศไทย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ให้ข้อมูลว่าราคาค่าไฟอาคารธุรกิจ ในเขตนครหลวง ต่อ 1 ยูนิต = 3.64 บาท)

ตัวอย่าง ความสว่างที่ต้องการเพิ่มในพื้นที่ใช้สอย ณ วันที่ 21 มกราคม เวลา 8.00 น. จากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแสงประดิษฐ์ เท่ากับ 620.24 วัตต์-ชั่วโมง สามารถแปลงเป็นยูนิตได้ดังนี้

$$\text{จำนวนยูนิต} = \frac{624.57 \times 1}{1{,}000} = 0.62 \text{ ยูนิต}$$

คิดเป็นค่าไฟฟ้า = 0.62 x 3.64 = 2.26 บาท / ชั่วโมง

คิดเป็นหน่วยของไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์ = 0.62 ยูนิต/ วัน

คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์ = 2.26 บาท/วัน

การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดทั้งปี กรณีที่เปิดใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 8 ชั่วโมง / วัน โดยไม่พิจารณาการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร

ห้องพื้นที่ 128 ตร.ม. พิจารณาเปิดใช้แสงไฟประดิษฐ์ 8 ชั่วโมงต่อวัน เพื่อให้ความส่องสว่าง 300 lux สามารถหาจำนวนพลังงานที่ใช้ และค่าไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\text{Total watt of Lamp} = \frac{300 \times 128}{98 \times (0.55 \times 0.72)} = 989.44 \text{ watt-hr}$$

Total energy consumption = 989.44 x (1+ 4/28)

วัตต์รวมบัลลาสต์ = 1,127.96 watt-hr

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้/ปี = watt-hr x ชั่วโมงทำงาน x จำนวนวันทำงานตลอดทั้งปี

= 1,127.96 x 8 x 258

= 2,328109.44 watt-hr/year

$$\text{จำนวนยูนิต} = \frac{2{,}328{,}109.44}{1{,}000} = 2{,}328.11 \text{ ยูนิต/ปี}$$

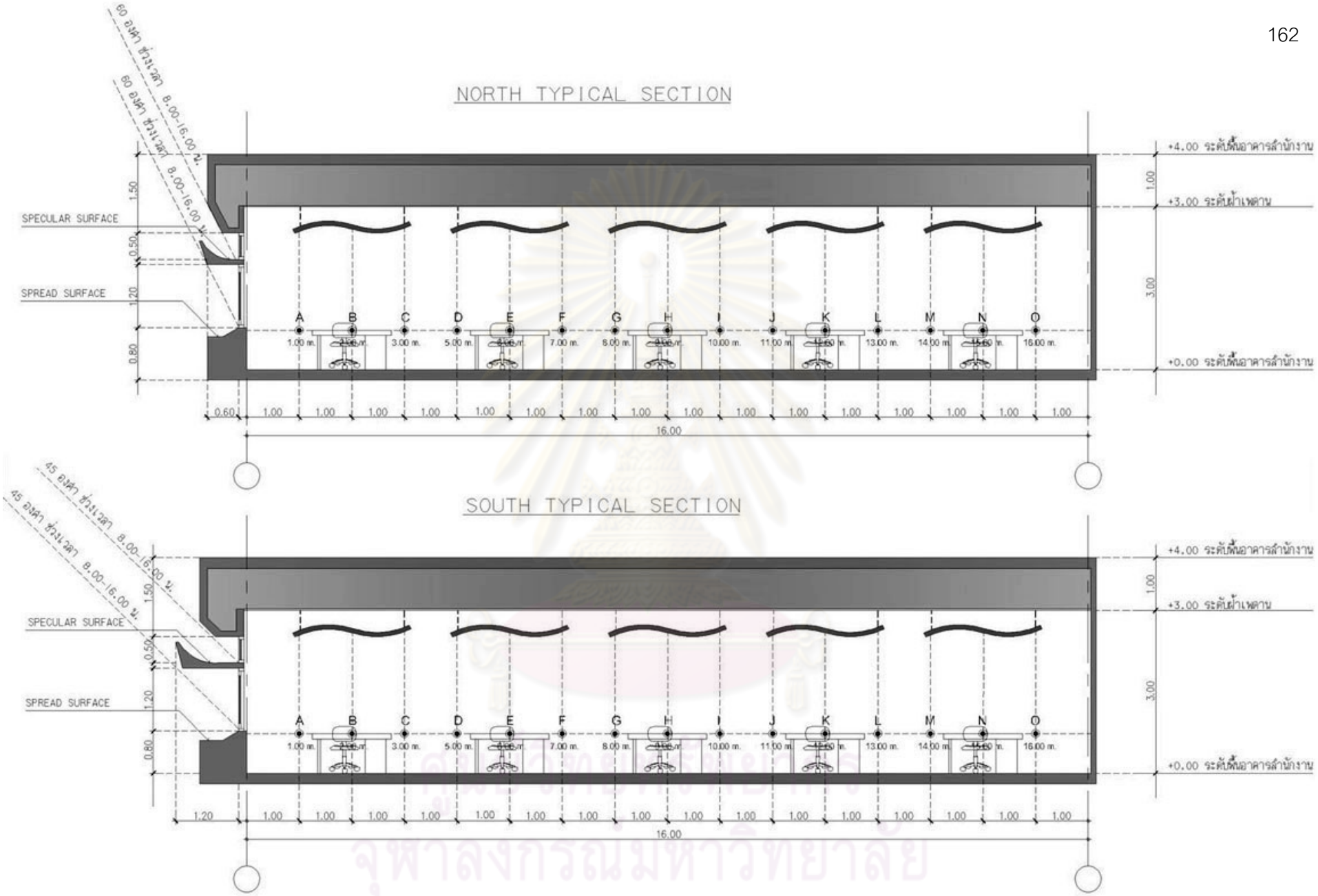
คิดเป็นค่าไฟฟ้า = 2,328.11 * 3.64

= 8,474.32 บาท/ปี

ดังนั้น ทิศเหนือมีค่าพลังงานที่ใช้ 2,327.16 ยูนิต/ปี คิดเป็นเงิน 8,474.32 บาท/ปี

ทิศใต้มีค่าพลังงานที่ใช้ 2,327.16 ยูนิต/ปี คิดเป็นเงิน 8,474.32 บาท/ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.2 **แสดงตำแหน่งที่วัดค่าความส่องสว่างภายใน** typical section **ของหุ่นจำลองที่มีการใช้** daylighting panels **ร่วมกับ** light shelves **ที่ช่องเปิดรูปแบบโค้ง**

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนมกราคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนมกราคม ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	13430.00	1455.81	1074.40	778.94	570.78	424.39	294.12	209.51	171.90	138.33	118.18	100.73	84.61	77.89	75.21	72.52	33.33	66.67	165.70	55.23	546.53	0.55	1.99
9.00	25630.00	2778.29	2050.40	1486.54	1089.28	809.91	561.30	399.83	328.06	263.99	225.54	192.23	161.47	148.65	143.53	138.40	53.33	46.67	118.03	39.34	389.29	0.39	1.42
10.00	33810.00	3665.00	2704.80	1960.98	1436.93	1068.40	740.44	527.44	432.77	348.24	297.53	253.58	213.00	196.10	189.34	182.57	60.00	40.00	77.98	25.99	257.20	0.26	0.94
11.00	35170.00	3812.43	2813.60	2039.86	1494.73	1111.37	770.22	548.65	450.18	362.25	309.50	263.78	221.57	203.99	196.95	189.92	66.67	33.33	84.76	28.25	279.56	0.28	1.02
12.00	41060.00	4450.90	3284.80	2381.48	1745.05	1297.50	899.21	640.54	525.57	422.92	361.33	307.95	258.68	238.15	229.94	221.72	73.33	26.67	62.88	20.96	207.39	0.21	0.75
13.00	44530.00	4827.05	3562.40	2582.74	1892.53	1407.15	975.21	694.67	569.98	458.66	391.86	333.98	280.54	258.27	249.37	240.46	73.33	26.67	42.84	14.28	141.30	0.14	0.51
14.00	39960.00	4331.66	3196.80	2317.68	1698.30	1262.74	875.12	623.38	511.49	411.59	351.65	299.70	251.75	231.77	223.78	215.78	66.67	33.33	55.44	18.48	182.87	0.18	0.67
15.00	34630.00	3753.89	2770.40	2008.54	1471.78	1094.31	758.40	540.23	443.26	356.69	304.74	259.73	218.17	200.85	193.93	187.00	66.67	33.33	88.06	29.35	290.46	0.29	1.06
16.00	24060.00	2608.10	1924.80	1395.48	1022.55	760.30	526.91	375.34	307.97	247.82	211.73	180.45	151.58	139.55	134.74	129.92	53.33	46.67	129.17	43.06	426.05	0.43	1.55
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		824.87	30.55	2720.65	2.72	9.90
เดือนมกราคม ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	13430.00	1302.71	915.93	671.50	504.97	362.61	260.54	204.14	145.04	107.44	73.87	64.46	59.09	57.75	49.69	52.38	33.33	66.67	192.56	64.19	635.12	0.64	2.31
9.00	25630.00	2486.11	1747.97	1281.50	963.69	692.01	497.22	389.58	276.80	205.04	140.97	123.02	112.77	110.21	94.83	99.96	46.67	53.33	154.55	51.52	509.75	0.51	1.86
10.00	33810.00	3279.57	2305.84	1690.50	1271.26	912.87	655.91	513.91	365.15	270.48	185.96	162.29	148.76	145.38	125.10	131.86	53.33	46.67	132.88	44.29	438.28	0.44	1.60
11.00	35170.00	3411.49	2398.59	1758.50	1322.39	949.59	682.30	534.58	379.84	281.36	193.44	168.82	154.75	151.23	130.13	137.16	53.33	46.67	126.16	42.05	416.11	0.42	1.51
12.00	41060.00	3982.82	2800.29	2053.00	1543.86	1108.62	796.56	624.11	443.45	328.48	225.83	197.09	180.66	176.56	151.92	160.13	60.00	40.00	117.97	39.32	389.09	0.39	1.42
13.00	44530.00	4319.41	3036.95	2226.50	1674.33	1202.31	863.88	676.86	480.92	356.24	244.92	213.74	195.93	191.48	164.76	173.67	60.00	40.00	102.58	34.19	338.35	0.34	1.23
14.00	39960.00	3876.12	2725.27	1998.00	1502.50	1078.92	775.22	607.39	431.57	319.68	219.78	191.81	175.82	171.83	147.85	155.84	60.00	40.00	122.84	40.95	405.18	0.41	1.47
15.00	34630.00	3359.11	2361.77	1731.50	1302.09	935.01	671.82	526.38	374.00	277.04	190.47	166.22	152.37	148.91	128.13	135.06	53.33	46.67	128.83	42.94	424.91	0.42	1.55
16.00	24060.00	2333.82	1640.89	1203.00	904.66	649.62	466.76	365.71	259.85	192.48	132.33	115.49	105.86	103.46	89.02	93.83	46.67	53.33	163.46	54.49	539.14	0.54	1.96
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1241.83	45.99	4095.93	4.10	14.91

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนกุมภาพันธ์ ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนกุมภาพันธ์ ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	14280.00	1547.95	1142.40	828.24	606.90	451.25	312.73	222.77	182.78	147.08	125.66	107.10	89.96	82.82	79.97	77.11	40.00	60.00	176.08	58.69	580.77	0.58	2.11
9.00	26740.00	2898.62	2139.20	1550.92	1136.45	844.98	585.61	417.14	342.27	275.42	235.31	200.55	168.46	155.09	149.74	144.40	53.33	46.67	110.15	36.72	363.29	0.36	1.32
10.00	34950.00	3788.58	2796.00	2027.10	1485.38	1104.42	765.41	545.22	447.36	359.99	307.56	262.13	220.19	202.71	195.72	188.73	66.67	33.33	86.11	28.70	284.00	0.28	1.03
11.00	41050.00	4449.82	3284.00	2380.90	1744.63	1297.18	899.00	640.38	525.44	422.82	361.24	307.88	258.62	238.09	229.88	221.67	73.33	26.67	62.94	20.98	207.58	0.21	0.76
12.00	43680.00	4734.91	3494.40	2533.44	1856.40	1380.29	956.59	681.41	559.10	449.90	384.38	327.60	275.18	253.34	244.61	235.87	73.33	26.67	47.75	15.92	157.49	0.16	0.57
13.00	45310.00	4911.60	3624.80	2627.98	1925.68	1431.80	992.29	706.84	579.97	466.69	398.73	339.83	285.45	262.80	253.74	244.67	73.33	26.67	38.33	12.78	126.44	0.13	0.46
14.00	41550.00	4504.02	3324.00	2409.90	1765.88	1312.98	909.95	648.18	531.84	427.97	365.64	311.63	261.77	240.99	232.68	224.37	73.33	26.67	60.05	20.02	198.06	0.20	0.72
15.00	35780.00	3878.55	2862.40	2075.24	1520.65	1130.65	783.58	558.17	457.98	368.53	314.86	268.35	225.41	207.52	200.37	193.21	66.67	33.33	81.03	27.01	267.25	0.27	0.97
16.00	28130.00	3049.29	2250.40	1631.54	1195.53	888.91	616.05	438.83	360.06	289.74	247.54	210.98	177.22	163.15	157.53	151.90	53.33	46.67	100.28	33.43	330.74	0.33	1.20
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		762.70	28.25	2515.62	2.52	9.16
เดือนกุมภาพันธ์ ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	14280.00	1385.16	973.90	714.00	536.93	385.56	277.03	217.06	154.22	114.24	78.54	68.54	62.83	61.40	52.84	55.69	33.33	66.67	185.76	61.92	612.69	0.61	2.23
9.00	26740.00	2593.78	1823.67	1337.00	1005.42	721.98	518.76	406.45	288.79	213.92	147.07	128.35	117.66	114.98	98.94	104.29	46.67	53.33	148.25	49.42	488.97	0.49	1.78
10.00	34950.00	3390.15	2383.59	1747.50	1314.12	943.65	678.03	531.24	377.46	279.60	192.23	167.76	153.78	150.29	129.32	136.31	53.33	46.67	127.25	42.42	419.70	0.42	1.53
11.00	41050.00	3981.85	2799.61	2052.50	1543.48	1108.35	796.37	623.96	443.34	328.40	225.78	197.04	180.62	176.52	151.89	160.10	60.00	40.00	118.01	39.34	389.24	0.39	1.42
12.00	43680.00	4236.96	2978.98	2184.00	1642.37	1179.36	847.39	663.94	471.74	349.44	240.24	209.66	192.19	187.82	161.62	170.35	60.00	40.00	106.35	35.45	350.78	0.35	1.28
13.00	45310.00	4395.07	3090.14	2265.50	1703.66	1223.37	879.01	688.71	489.35	362.48	249.21	217.49	199.36	194.83	167.65	176.71	60.00	40.00	99.13	33.04	326.95	0.33	1.19
14.00	41550.00	4030.35	2833.71	2077.50	1562.28	1121.85	806.07	631.56	448.74	332.40	228.53	199.44	182.82	178.67	153.74	162.05	60.00	40.00	115.80	38.60	381.93	0.38	1.39
15.00	35780.00	3470.66	2440.20	1789.00	1345.33	966.06	694.13	543.86	386.42	286.24	196.79	171.74	157.43	153.85	132.39	139.54	53.33	46.67	123.14	41.05	406.17	0.41	1.48
16.00	28130.00	2728.61	1918.47	1406.50	1057.69	759.51	545.72	427.58	303.80	225.04	154.72	135.02	123.77	120.96	104.08	109.71	53.33	46.67	160.96	53.65	530.88	0.53	1.93
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1184.64	43.88	3907.30	3.91	14.22

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนมีนาคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนมีนาคม ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	18880.00	2046.59	1510.40	1095.04	802.40	596.61	413.47	294.53	241.66	194.46	166.14	141.60	118.94	109.50	105.73	101.95	40.00	60.00	136.16	45.39	449.11	0.45	1.63
9.00	28660.00	3106.74	2292.80	1662.28	1218.05	905.66	627.65	447.10	366.85	295.20	252.21	214.95	180.56	166.23	160.50	154.76	53.33	46.67	96.51	32.17	318.33	0.32	1.16
10.00	36000.00	3902.40	2880.00	2088.00	1530.00	1137.60	788.40	561.60	460.80	370.80	316.80	270.00	226.80	208.80	201.60	194.40	66.67	33.33	79.68	26.56	262.81	0.26	0.96
11.00	38390.00	4161.48	3071.20	2226.62	1631.58	1213.12	840.74	598.88	491.39	395.42	337.83	287.93	241.86	222.66	214.98	207.31	66.67	33.33	65.05	21.68	214.56	0.21	0.78
12.00	39490.00	4280.72	3159.20	2290.42	1678.33	1247.88	864.83	616.04	505.47	406.75	347.51	296.18	248.79	229.04	221.14	213.25	66.67	33.33	58.32	19.44	192.36	0.19	0.70
13.00	39830.00	4317.57	3186.40	2310.14	1692.78	1258.63	872.28	621.35	509.82	410.25	350.50	298.73	250.93	231.01	223.05	215.08	66.67	33.33	56.24	18.75	185.50	0.19	0.68
14.00	38540.00	4177.74	3083.20	2235.32	1637.95	1217.86	844.03	601.22	493.31	396.96	339.15	289.05	242.80	223.53	215.82	208.12	66.67	33.33	64.14	21.38	211.54	0.21	0.77
15.00	36430.00	3949.01	2914.40	2112.94	1548.28	1151.19	797.82	568.31	466.30	375.23	320.58	273.23	229.51	211.29	204.01	196.72	66.67	33.33	77.05	25.68	254.13	0.25	0.93
16.00	26730.00	2897.53	2138.40	1550.34	1136.03	844.67	585.39	416.99	342.14	275.32	235.22	200.48	168.40	155.03	149.69	144.34	53.33	46.67	110.22	36.74	363.53	0.36	1.32
หมายเหตุ	แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux																Total		743.37	27.53	2451.86	2.45	8.92

เดือนมีนาคม ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	18880.00	1831.36	1287.62	944.00	709.89	509.76	366.27	286.98	203.90	151.04	103.84	90.62	83.07	81.18	69.86	73.63	40.00	60.00	172.87	57.62	570.19	0.57	2.08
9.00	28660.00	2780.02	1954.61	1433.00	1077.62	773.82	556.00	435.63	309.53	229.28	157.63	137.57	126.10	123.24	106.04	111.77	53.33	46.67	158.34	52.78	522.24	0.52	1.90
10.00	36000.00	3492.00	2455.20	1800.00	1353.60	972.00	698.40	547.20	388.80	288.00	198.00	172.80	158.40	154.80	133.20	140.40	53.33	46.67	122.06	40.69	402.58	0.40	1.47
11.00	38390.00	3723.83	2618.20	1919.50	1443.46	1036.53	744.77	583.53	414.61	307.12	211.15	184.27	168.92	165.08	142.04	149.72	60.00	40.00	129.80	43.27	428.13	0.43	1.56
12.00	39490.00	3830.53	2693.22	1974.50	1484.82	1066.23	766.11	600.25	426.49	315.92	217.20	189.55	173.76	169.81	146.11	154.01	60.00	40.00	124.93	41.64	412.05	0.41	1.50
13.00	39830.00	3863.51	2716.41	1991.50	1497.61	1075.41	772.70	605.42	430.16	318.64	219.07	191.18	175.25	171.27	147.37	155.34	60.00	40.00	123.42	41.14	407.08	0.41	1.48
14.00	38540.00	3738.38	2628.43	1927.00	1449.10	1040.58	747.68	585.81	416.23	308.32	211.97	184.99	169.58	165.72	142.60	150.31	60.00	40.00	129.14	43.05	425.94	0.43	1.55
15.00	36430.00	3533.71	2484.53	1821.50	1369.77	983.61	706.74	553.74	393.44	291.44	200.37	174.86	160.29	156.65	134.79	142.08	53.33	46.67	119.93	39.98	395.57	0.40	1.44
16.00	26730.00	2592.81	1822.99	1336.50	1005.05	721.71	518.56	406.30	288.68	213.84	147.02	128.30	117.61	114.94	98.90	104.25	46.67	53.33	148.31	49.44	489.16	0.49	1.78
หมายเหตุ	แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux																Total		1228.80	45.51	4052.94	4.05	14.75

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนเมษายน ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนเมษายน ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	20270.00	2197.27	1621.60	1175.66	861.48	640.53	443.91	316.21	259.46	208.78	178.38	152.03	127.70	117.57	113.51	109.46	46.67	53.33	161.88	53.96	533.91	0.53	1.94
9.00	29260.00	3171.78	2340.80	1697.08	1243.55	924.62	640.79	456.46	374.53	301.38	257.49	219.45	184.34	169.71	163.86	158.00	60.00	40.00	107.86	35.95	355.75	0.36	1.29
10.00	33370.00	3617.31	2669.60	1935.46	1418.23	1054.49	730.80	520.57	427.14	343.71	293.66	250.28	210.23	193.55	186.87	180.20	60.00	40.00	80.87	26.96	266.73	0.27	0.97
11.00	36280.00	3932.75	2902.40	2104.24	1541.90	1146.45	794.53	565.97	464.38	373.68	319.26	272.10	228.56	210.42	203.17	195.91	66.67	33.33	77.97	25.99	257.16	0.26	0.94
12.00	36490.00	3955.52	2919.20	2116.42	1550.83	1153.08	799.13	569.24	467.07	375.85	321.11	273.68	229.89	211.64	204.34	197.05	66.67	33.33	76.68	25.56	252.92	0.25	0.92
13.00	41720.00	4522.45	3337.60	2419.76	1773.10	1318.35	913.67	650.83	534.02	429.72	367.14	312.90	262.84	241.98	233.63	225.29	73.33	26.67	59.07	19.69	194.82	0.19	0.71
14.00	39010.00	4228.68	3120.80	2262.58	1657.93	1232.72	854.32	608.56	499.33	401.80	343.29	292.58	245.76	226.26	218.46	210.65	66.67	33.33	61.26	20.42	202.05	0.20	0.74
15.00	37190.00	4031.40	2975.20	2157.02	1580.58	1175.20	814.46	580.16	476.03	383.06	327.27	278.93	234.30	215.70	208.26	200.83	66.67	33.33	72.40	24.13	238.79	0.24	0.87
16.00	26720.00	2896.45	2137.60	1549.76	1135.60	844.35	585.17	416.83	342.02	275.22	235.14	200.40	168.34	154.98	149.63	144.29	53.33	46.67	110.29	36.76	363.76	0.36	1.32
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		808.26	29.94	2665.89	2.67	9.70

เดือนเมษายน ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	20270.00	1966.19	1382.41	1013.50	762.15	547.29	393.24	308.10	218.92	162.16	111.49	97.30	89.19	87.16	75.00	79.05	46.67	53.33	184.97	61.66	610.08	0.61	2.22
9.00	29260.00	2838.22	1995.53	1463.00	1100.18	790.02	567.64	444.75	316.01	234.08	160.93	140.45	128.74	125.82	108.26	114.11	53.33	46.67	155.37	51.79	512.46	0.51	1.87
10.00	33370.00	3236.89	2275.83	1668.50	1254.71	900.99	647.38	507.22	360.40	266.96	183.54	160.18	146.83	143.49	123.47	130.14	53.33	46.67	135.06	45.02	445.46	0.45	1.62
11.00	36280.00	3519.16	2474.30	1814.00	1364.13	979.56	703.83	551.46	391.82	290.24	199.54	174.14	159.63	156.00	134.24	141.49	53.33	46.67	120.67	40.22	398.01	0.40	1.45
12.00	36490.00	3539.53	2488.62	1824.50	1372.02	985.23	707.91	554.65	394.09	291.92	200.70	175.15	160.56	156.91	135.01	142.31	53.33	46.67	119.64	39.88	394.59	0.39	1.44
13.00	41720.00	4046.84	2845.30	2086.00	1568.67	1126.44	809.37	634.14	450.58	333.76	229.46	200.26	183.57	179.40	154.36	162.71	60.00	40.00	115.04	38.35	379.44	0.38	1.38
14.00	39010.00	3783.97	2660.48	1950.50	1466.78	1053.27	756.79	592.95	421.31	312.08	214.56	187.25	171.64	167.74	144.34	152.14	60.00	40.00	127.06	42.35	419.07	0.42	1.53
15.00	37190.00	3607.43	2536.36	1859.50	1398.34	1004.13	721.49	565.29	401.65	297.52	204.55	178.51	163.64	159.92	137.60	145.04	53.33	46.67	116.18	38.73	383.18	0.38	1.39
16.00	26720.00	2591.84	1822.30	1336.00	1004.67	721.44	518.37	406.14	288.58	213.76	146.96	128.26	117.57	114.90	98.86	104.21	46.67	53.33	148.36	49.45	489.35	0.49	1.78
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1222.34	45.27	4031.63	4.03	14.68

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนพฤษภาคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนพฤษภาคม ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	24780.00	2686.15	1982.40	1437.24	1053.15	783.05	542.68	386.57	317.18	255.23	218.06	185.85	156.11	143.72	138.77	133.81	53.33	46.67	124.06	41.35	409.19	0.41	1.49
9.00	37310.00	4044.40	2984.80	2163.98	1585.68	1179.00	817.09	582.04	477.57	384.29	328.33	279.83	235.05	216.40	208.94	201.47	66.67	33.33	71.66	23.89	236.36	0.24	0.86
10.00	45920.00	4977.73	3673.60	2663.36	1951.60	1451.07	1005.65	716.35	587.78	472.98	404.10	344.40	289.30	266.34	257.15	247.97	73.33	26.67	34.81	11.60	114.82	0.11	0.42
11.00	49170.00	5330.03	3933.60	2851.86	2089.73	1553.77	1076.82	767.05	629.38	506.45	432.70	368.78	309.77	285.19	275.35	265.52	80.00	20.00	24.65	8.22	81.30	0.08	0.30
12.00	44530.00	4827.05	3562.40	2582.74	1892.53	1407.15	975.21	694.67	569.98	458.66	391.86	333.98	280.54	258.27	249.37	240.46	73.33	26.67	42.84	14.28	141.30	0.14	0.51
13.00	41790.00	4530.04	3343.20	2423.82	1776.08	1320.56	915.20	651.92	534.91	430.44	367.75	313.43	263.28	242.38	234.02	225.67	73.33	26.67	58.66	19.55	193.49	0.19	0.70
14.00	36680.00	3976.11	2934.40	2127.44	1558.90	1159.09	803.29	572.21	469.50	377.80	322.78	275.10	231.08	212.74	205.41	198.07	66.67	33.33	75.52	25.17	249.08	0.25	0.91
15.00	30220.00	3275.85	2417.60	1752.76	1284.35	954.95	661.82	471.43	386.82	311.27	265.94	226.65	190.39	175.28	169.23	163.19	60.00	40.00	101.56	33.85	334.96	0.33	1.22
16.00	24560.00	2662.30	1964.80	1424.48	1043.80	776.10	537.86	383.14	314.37	252.97	216.13	184.20	154.73	142.45	137.54	132.62	53.33	46.67	125.62	41.87	414.34	0.41	1.51
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		659.38	24.42	2174.84	2.17	7.92
เดือนพฤษภาคม ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	24780.00	2403.66	1690.00	1239.00	931.73	669.06	480.73	376.66	267.62	198.24	136.29	118.94	109.03	106.55	91.69	96.64	46.67	53.33	159.37	53.12	525.66	0.53	1.91
9.00	37310.00	3619.07	2544.54	1865.50	1402.86	1007.37	723.81	567.11	402.95	298.48	205.21	179.09	164.16	160.43	138.05	145.51	53.33	46.67	115.58	38.53	381.22	0.38	1.39
10.00	45920.00	4454.24	3131.74	2296.00	1726.59	1239.84	890.85	697.98	495.94	367.36	252.56	220.42	202.05	197.46	169.90	179.09	60.00	40.00	96.42	32.14	318.03	0.32	1.16
11.00	49170.00	4769.49	3353.39	2458.50	1848.79	1327.59	953.90	747.38	531.04	393.36	270.44	236.02	216.35	211.43	181.93	191.76	60.00	40.00	82.01	27.34	270.50	0.27	0.98
12.00	44530.00	4319.41	3036.95	2226.50	1674.33	1202.31	863.88	676.86	480.92	356.24	244.92	213.74	195.93	191.48	164.76	173.67	60.00	40.00	102.58	34.19	338.35	0.34	1.23
13.00	41790.00	4053.63	2850.08	2089.50	1571.30	1128.33	810.73	635.21	451.33	334.32	229.85	200.59	183.88	179.70	154.62	162.98	60.00	40.00	114.73	38.24	378.42	0.38	1.38
14.00	36680.00	3557.96	2501.58	1834.00	1379.17	990.36	711.59	557.54	396.14	293.44	201.74	176.06	161.39	157.72	135.72	143.05	53.33	46.67	118.70	39.57	391.49	0.39	1.43
15.00	30220.00	2931.34	2061.00	1511.00	1136.27	815.94	586.27	459.34	326.38	241.76	166.21	145.06	132.97	129.95	111.81	117.86	53.33	46.67	150.63	50.21	496.81	0.50	1.81
16.00	24560.00	2382.32	1674.99	1228.00	923.46	663.12	476.46	373.31	265.25	196.48	135.08	117.89	108.06	105.61	90.87	95.78	46.67	53.33	160.62	53.54	529.78	0.53	1.93
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1100.65	40.76	3630.26	3.63	13.21

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนมิถุนายน ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนมิถุนายน ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	22270.00	2414.07	1781.60	1291.66	946.48	703.73	487.71	347.41	285.06	229.38	195.98	167.03	140.30	129.17	124.71	120.26	46.67	53.33	126.02	42.01	415.64	0.42	1.51
9.00	33490.00	3630.32	2679.20	1942.42	1423.33	1058.28	733.43	522.44	428.67	344.95	294.71	251.18	210.99	194.24	187.54	180.85	60.00	40.00	80.08	26.69	264.13	0.26	0.96
10.00	39480.00	4279.63	3158.40	2289.84	1677.90	1247.57	864.61	615.89	505.34	406.64	347.42	296.10	248.72	228.98	221.09	213.19	66.67	33.33	58.38	19.46	192.56	0.19	0.70
11.00	43970.00	4766.35	3517.60	2550.26	1868.73	1389.45	962.94	685.93	562.82	452.89	386.94	329.78	277.01	255.03	246.23	237.44	73.33	26.67	46.07	15.36	151.96	0.15	0.55
12.00	43380.00	4702.39	3470.40	2516.04	1843.65	1370.81	950.02	676.73	555.26	446.81	381.74	325.35	273.29	251.60	242.93	234.25	73.33	26.67	49.48	16.49	163.20	0.16	0.59
13.00	42040.00	4557.14	3363.20	2438.32	1786.70	1328.46	920.68	655.82	538.11	433.01	369.95	315.30	264.85	243.83	235.42	227.02	73.33	26.67	57.22	19.07	188.72	0.19	0.69
14.00	43460.00	4711.06	3476.80	2520.68	1847.05	1373.34	951.77	677.98	556.29	447.64	382.45	325.95	273.80	252.07	243.38	234.68	73.33	26.67	49.02	16.34	161.68	0.16	0.59
15.00	37080.00	4019.47	2966.40	2150.64	1575.90	1171.73	812.05	578.45	474.62	381.92	326.30	278.10	233.60	215.06	207.65	200.23	66.67	33.33	73.07	24.36	241.01	0.24	0.88
16.00	28280.00	3065.55	2262.40	1640.24	1201.90	893.65	619.33	441.17	361.98	291.28	248.86	212.10	178.16	164.02	158.37	152.71	53.33	46.67	99.21	33.07	327.23	0.33	1.19
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		638.55	23.65	2106.14	2.11	7.67
เดือนมิถุนายน ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	22270.00	2160.19	1518.81	1113.50	837.35	601.29	432.04	338.50	240.52	178.16	122.49	106.90	97.99	95.76	82.40	86.85	46.67	53.33	173.62	57.87	572.64	0.57	2.08
9.00	33490.00	3248.53	2284.02	1674.50	1259.22	904.23	649.71	509.05	361.69	267.92	184.20	160.75	147.36	144.01	123.91	130.61	53.33	46.67	134.46	44.82	443.50	0.44	1.61
10.00	39480.00	3829.56	2692.54	1974.00	1484.45	1065.96	765.91	600.10	426.38	315.84	217.14	189.50	173.71	169.76	146.08	153.97	60.00	40.00	124.97	41.66	412.19	0.41	1.50
11.00	43970.00	4265.09	2998.75	2198.50	1653.27	1187.19	853.02	668.34	474.88	351.76	241.84	211.06	193.47	189.07	162.69	171.48	60.00	40.00	105.07	35.02	346.54	0.35	1.26
12.00	43380.00	4207.86	2958.52	2169.00	1631.09	1171.26	841.57	659.38	468.50	347.04	238.59	208.22	190.87	186.53	160.51	169.18	60.00	40.00	107.68	35.89	355.17	0.36	1.29
13.00	42040.00	4077.88	2867.13	2102.00	1580.70	1135.08	815.58	639.01	454.03	336.32	231.22	201.79	184.98	180.77	155.55	163.96	60.00	40.00	113.62	37.87	374.76	0.37	1.36
14.00	43460.00	4215.62	2963.97	2173.00	1634.10	1173.42	843.12	660.59	469.37	347.68	239.03	208.61	191.22	186.88	160.80	169.49	60.00	40.00	107.33	35.78	354.00	0.35	1.29
15.00	37080.00	3596.76	2528.86	1854.00	1394.21	1001.16	719.35	563.62	400.46	296.64	203.94	177.98	163.15	159.44	137.20	144.61	53.33	46.67	116.72	38.91	384.97	0.38	1.40
16.00	28280.00	2743.16	1928.70	1414.00	1063.33	763.56	548.63	429.86	305.42	226.24	155.54	135.74	124.43	121.60	104.64	110.29	53.33	46.67	160.22	53.41	528.44	0.53	1.92
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1143.69	42.36	3772.21	3.77	13.73

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนกรกฎาคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนกรกฎาคม ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	21370.00	2316.51	1709.60	1239.46	908.23	675.29	468.00	333.37	273.54	220.11	188.06	160.28	134.63	123.95	119.67	115.40	46.67	53.33	133.05	44.35	438.83	0.44	1.60
9.00	32150.00	3485.06	2572.00	1864.70	1366.38	1015.94	704.09	501.54	411.52	331.15	282.92	241.13	202.55	186.47	180.04	173.61	60.00	40.00	88.88	29.63	293.16	0.29	1.07
10.00	40000.00	4336.00	3200.00	2320.00	1700.00	1264.00	876.00	624.00	512.00	412.00	352.00	300.00	252.00	232.00	224.00	216.00	66.67	33.33	55.20	18.40	182.07	0.18	0.66
11.00	44530.00	4827.05	3562.40	2582.74	1892.53	1407.15	975.21	694.67	569.98	458.66	391.86	333.98	280.54	258.27	249.37	240.46	73.33	26.67	42.84	14.28	141.30	0.14	0.51
12.00	45130.00	4892.09	3610.40	2617.54	1918.03	1426.11	988.35	704.03	577.66	464.84	397.14	338.48	284.32	261.75	252.73	243.70	73.33	26.67	39.37	13.12	129.87	0.13	0.47
13.00	44780.00	4854.15	3582.40	2597.24	1903.15	1415.05	980.68	698.57	573.18	461.23	394.06	335.85	282.11	259.72	250.77	241.81	73.33	26.67	41.40	13.80	136.53	0.14	0.50
14.00	42500.00	4607.00	3400.00	2465.00	1806.25	1343.00	930.75	663.00	544.00	437.75	374.00	318.75	267.75	246.50	238.00	229.50	73.33	26.67	54.56	18.19	179.96	0.18	0.66
15.00	36420.00	3947.93	2913.60	2112.36	1547.85	1150.87	797.60	568.15	466.18	375.13	320.50	273.15	229.45	211.24	203.95	196.67	66.67	33.33	77.11	25.70	254.33	0.25	0.93
16.00	28040.00	3039.54	2243.20	1626.32	1191.70	886.06	614.08	437.42	358.91	288.81	246.75	210.30	176.65	162.63	157.02	151.42	53.33	46.67	100.92	33.64	332.85	0.33	1.21
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		633.33	23.46	2088.89	2.09	7.60
เดือนกรกฎาคม ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	21370.00	2072.89	1457.43	1068.50	803.51	576.99	414.58	324.82	230.80	170.96	117.54	102.58	94.03	91.89	79.07	83.34	46.67	53.33	178.73	59.58	589.49	0.59	2.15
9.00	32150.00	3118.55	2192.63	1607.50	1208.84	868.05	623.71	488.68	347.22	257.20	176.83	154.32	141.46	138.25	118.96	125.39	53.33	46.67	141.09	47.03	465.35	0.47	1.69
10.00	40000.00	3880.00	2728.00	2000.00	1504.00	1080.00	776.00	608.00	432.00	320.00	220.00	192.00	176.00	172.00	148.00	156.00	60.00	40.00	122.67	40.89	404.59	0.40	1.47
11.00	44530.00	4319.41	3036.95	2226.50	1674.33	1202.31	863.88	676.86	480.92	356.24	244.92	213.74	195.93	191.48	164.76	173.67	60.00	40.00	102.58	34.19	338.35	0.34	1.23
12.00	45130.00	4377.61	3077.87	2256.50	1696.89	1218.51	875.52	685.98	487.40	361.04	248.22	216.62	198.57	194.06	166.98	176.01	60.00	40.00	99.92	33.31	329.58	0.33	1.20
13.00	44780.00	4343.66	3054.00	2239.00	1683.73	1209.06	868.73	680.66	483.62	358.24	246.29	214.94	197.03	192.55	165.69	174.64	60.00	40.00	101.48	33.83	334.69	0.33	1.22
14.00	42500.00	4122.50	2898.50	2125.00	1598.00	1147.50	824.50	646.00	459.00	340.00	233.75	204.00	187.00	182.75	157.25	165.75	60.00	40.00	111.58	37.19	368.03	0.37	1.34
15.00	36420.00	3532.74	2483.84	1821.00	1369.39	983.34	706.55	553.58	393.34	291.36	200.31	174.82	160.25	156.61	134.75	142.04	53.33	46.67	119.98	39.99	395.73	0.40	1.44
16.00	28040.00	2719.88	1912.33	1402.00	1054.30	757.08	543.98	426.21	302.83	224.32	154.22	134.59	123.38	120.57	103.75	109.36	53.33	46.67	161.40	53.80	532.35	0.53	1.94
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1139.43	42.20	3758.16	3.76	13.68

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนสิงหาคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนสิงหาคม ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	22970.00	2489.95	1837.60	1332.26	976.23	725.85	503.04	358.33	294.02	236.59	202.14	172.28	144.71	133.23	128.63	124.04	46.67	53.33	120.55	40.18	397.60	0.40	1.45
9.00	35210.00	3816.76	2816.80	2042.18	1496.43	1112.64	771.10	549.28	450.69	362.66	309.85	264.08	221.82	204.22	197.18	190.13	66.67	33.33	84.51	28.17	278.75	0.28	1.01
10.00	44320.00	4804.29	3545.60	2570.56	1883.60	1400.51	970.61	691.39	567.30	456.50	390.02	332.40	279.22	257.06	248.19	239.33	73.33	26.67	44.05	14.68	145.30	0.15	0.53
11.00	49340.00	5348.46	3947.20	2861.72	2096.95	1559.14	1080.55	769.70	631.55	508.20	434.19	370.05	310.84	286.17	276.30	266.44	80.00	20.00	23.70	7.90	78.16	0.08	0.28
12.00	50870.00	5514.31	4069.60	2950.46	2161.98	1607.49	1114.05	793.57	651.14	523.96	447.66	381.53	320.48	295.05	284.87	274.70	80.00	20.00	15.13	5.04	49.90	0.05	0.18
13.00	50800.00	5506.72	4064.00	2946.40	2159.00	1605.28	1112.52	792.48	650.24	523.24	447.04	381.00	320.04	294.64	284.48	274.32	80.00	20.00	15.52	5.17	51.19	0.05	0.19
14.00	45240.00	4904.02	3619.20	2623.92	1922.70	1429.58	990.76	705.74	579.07	465.97	398.11	339.30	285.01	262.39	253.34	244.30	73.33	26.67	38.74	12.91	127.77	0.13	0.47
15.00	37480.00	4062.83	2998.40	2173.84	1592.90	1184.37	820.81	584.69	479.74	386.04	329.82	281.10	236.12	217.38	209.89	202.39	66.67	33.33	70.62	23.54	232.93	0.23	0.85
16.00	29000.00	3143.60	2320.00	1682.00	1232.50	916.40	635.10	452.40	371.20	298.70	255.20	217.50	182.70	168.20	162.40	156.60	53.33	46.67	94.10	31.37	310.37	0.31	1.13
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		506.92	18.77	1671.97	1.67	6.09
เดือนสิงหาคม ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	22970.00	2228.09	1566.55	1148.50	863.67	620.19	445.62	349.14	248.08	183.76	126.34	110.26	101.07	98.77	84.99	89.58	46.67	53.33	169.65	56.55	559.54	0.56	2.04
9.00	35210.00	3415.37	2401.32	1760.50	1323.90	950.67	683.07	535.19	380.27	281.68	193.66	169.01	154.92	151.40	130.28	137.32	53.33	46.67	125.96	41.99	415.46	0.42	1.51
10.00	44320.00	4299.04	3022.62	2216.00	1666.43	1196.64	859.81	673.66	478.66	354.56	243.76	212.74	195.01	190.58	163.98	172.85	60.00	40.00	103.51	34.50	341.42	0.34	1.24
11.00	49340.00	4785.98	3364.99	2467.00	1855.18	1332.18	957.20	749.97	532.87	394.72	271.37	236.83	217.10	212.16	182.56	192.43	60.00	40.00	81.26	27.09	268.02	0.27	0.98
12.00	50870.00	4934.39	3469.33	2543.50	1912.71	1373.49	986.88	773.22	549.40	406.96	279.79	244.18	223.83	218.74	188.22	198.39	60.00	40.00	74.48	24.83	245.64	0.25	0.89
13.00	50800.00	4927.60	3464.56	2540.00	1910.08	1371.60	985.52	772.16	548.64	406.40	279.40	243.84	223.52	218.44	187.96	198.12	60.00	40.00	74.79	24.93	246.67	0.25	0.90
14.00	45240.00	4388.28	3085.37	2262.00	1701.02	1221.48	877.66	687.65	488.59	361.92	248.82	217.15	199.06	194.53	167.39	176.44	60.00	40.00	99.44	33.15	327.97	0.33	1.19
15.00	37480.00	3635.56	2556.14	1874.00	1409.25	1011.96	727.11	569.70	404.78	299.84	206.14	179.90	164.91	161.16	138.68	146.17	53.33	46.67	114.74	38.25	378.45	0.38	1.38
16.00	29000.00	2813.00	1977.80	1450.00	1090.40	783.00	562.60	440.80	313.20	232.00	159.50	139.20	127.60	124.70	107.30	113.10	53.33	46.67	156.66	52.22	516.70	0.52	1.88
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1000.48	37.05	3299.87	3.30	12.01

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนกันยายน ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนกันยายน ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	20580.00	2230.87	1646.40	1193.64	874.65	650.33	450.70	321.05	263.42	211.97	181.10	154.35	129.65	119.36	115.25	111.13	46.67	53.33	139.22	46.41	459.18	0.46	1.67
9.00	29770.00	3227.07	2381.60	1726.66	1265.23	940.73	651.96	464.41	381.06	306.63	261.98	223.28	187.55	172.67	166.71	160.76	60.00	40.00	104.51	34.84	344.71	0.34	1.25
10.00	38680.00	4192.91	3094.40	2243.44	1643.90	1222.29	847.09	603.41	495.10	398.40	340.38	290.10	243.68	224.34	216.61	208.87	66.67	33.33	63.28	21.09	208.71	0.21	0.76
11.00	41790.00	4530.04	3343.20	2423.82	1776.08	1320.56	915.20	651.92	534.91	430.44	367.75	313.43	263.28	242.38	234.02	225.67	73.33	26.67	58.66	19.55	193.49	0.19	0.70
12.00	44620.00	4836.81	3569.60	2587.96	1896.35	1409.99	977.18	696.07	571.14	459.59	392.66	334.65	281.11	258.80	249.87	240.95	73.33	26.67	42.32	14.11	139.58	0.14	0.51
13.00	42900.00	4650.36	3432.00	2488.20	1823.25	1355.64	939.51	669.24	549.12	441.87	377.52	321.75	270.27	248.82	240.24	231.66	73.33	26.67	52.25	17.42	172.34	0.17	0.63
14.00	38550.00	4178.82	3084.00	2235.90	1638.38	1218.18	844.25	601.38	493.44	397.07	339.24	289.13	242.87	223.59	215.88	208.17	66.67	33.33	64.07	21.36	211.33	0.21	0.77
15.00	33160.00	3594.54	2652.80	1923.28	1409.30	1047.86	726.20	517.30	424.45	341.55	291.81	248.70	208.91	192.33	185.70	179.06	60.00	40.00	82.25	27.42	271.28	0.27	0.99
16.00	23770.00	2576.67	1901.60	1378.66	1010.23	751.13	520.56	370.81	304.26	244.83	209.18	178.28	149.75	137.87	133.11	128.36	53.33	46.67	131.23	43.74	432.84	0.43	1.58
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		737.80	27.33	2433.47	2.43	8.86
เดือนกันยายน ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	20580.00	1996.26	1403.56	1029.00	773.81	555.66	399.25	312.82	222.26	164.64	113.19	98.78	90.55	88.49	76.15	80.26	46.67	53.33	183.21	61.07	604.27	0.60	2.20
9.00	29770.00	2887.69	2030.31	1488.50	1119.35	803.79	577.54	452.50	321.52	238.16	163.74	142.90	130.99	128.01	110.15	116.10	53.33	46.67	152.85	50.95	504.15	0.50	1.84
10.00	38680.00	3751.96	2637.98	1934.00	1454.37	1044.36	750.39	587.94	417.74	309.44	212.74	185.66	170.19	166.32	143.12	150.85	60.00	40.00	128.52	42.84	423.89	0.42	1.54
11.00	41790.00	4053.63	2850.08	2089.50	1571.30	1128.33	810.73	635.21	451.33	334.32	229.85	200.59	183.88	179.70	154.62	162.98	60.00	40.00	114.73	38.24	378.42	0.38	1.38
12.00	44620.00	4328.14	3043.08	2231.00	1677.71	1204.74	865.63	678.22	481.90	356.96	245.41	214.18	196.33	191.87	165.09	174.02	60.00	40.00	102.18	34.06	337.03	0.34	1.23
13.00	42900.00	4161.30	2925.78	2145.00	1613.04	1158.30	832.26	652.08	463.32	343.20	235.95	205.92	188.76	184.47	158.73	167.31	60.00	40.00	109.81	36.60	362.19	0.36	1.32
14.00	38550.00	3739.35	2629.11	1927.50	1449.48	1040.85	747.87	585.96	416.34	308.40	212.03	185.04	169.62	165.77	142.64	150.35	60.00	40.00	129.10	43.03	425.79	0.43	1.55
15.00	33160.00	3216.52	2261.51	1658.00	1246.82	895.32	643.30	504.03	358.13	265.28	182.38	159.17	145.90	142.59	122.69	129.32	53.33	46.67	136.09	45.36	448.88	0.45	1.63
16.00	23770.00	2305.69	1621.11	1188.50	893.75	641.79	461.14	361.30	256.72	190.16	130.74	114.10	104.59	102.21	87.95	92.70	46.67	53.33	165.11	55.04	544.56	0.54	1.98
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1221.60	45.24	4029.19	4.03	14.67

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนตุลาคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนตุลาคม ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	20990.00	2275.32	1679.20	1217.42	892.08	663.28	459.68	327.44	268.67	216.20	184.71	157.43	132.24	121.74	117.54	113.35	46.67	53.33	136.02	45.34	448.62	0.45	1.63
9.00	29080.00	3152.27	2326.40	1686.64	1235.90	918.93	636.85	453.65	372.22	299.52	255.90	218.10	183.20	168.66	162.85	157.03	53.33	46.67	93.53	31.18	308.50	0.31	1.12
10.00	35870.00	3888.31	2869.60	2080.46	1524.48	1133.49	785.55	559.57	459.14	369.46	315.66	269.03	225.98	208.05	200.87	193.70	66.67	33.33	80.48	26.83	265.43	0.27	0.97
11.00	39300.00	4260.12	3144.00	2279.40	1670.25	1241.88	860.67	613.08	503.04	404.79	345.84	294.75	247.59	227.94	220.08	212.22	66.67	33.33	59.48	19.83	196.20	0.20	0.71
12.00	44970.00	4874.75	3597.60	2608.26	1911.23	1421.05	984.84	701.53	575.62	463.19	395.74	337.28	283.31	260.83	251.83	242.84	73.33	26.67	40.30	13.43	132.92	0.13	0.48
13.00	39620.00	4294.81	3169.60	2297.96	1683.85	1251.99	867.68	618.07	507.14	408.09	348.66	297.15	249.61	229.80	221.87	213.95	66.67	33.33	57.53	19.18	189.74	0.19	0.69
14.00	34140.00	3700.78	2731.20	1980.12	1450.95	1078.82	747.67	532.58	436.99	351.64	300.43	256.05	215.08	198.01	191.18	184.36	66.67	33.33	91.06	30.35	300.35	0.30	1.09
15.00	29320.00	3178.29	2345.60	1700.56	1246.10	926.51	642.11	457.39	375.30	302.00	258.02	219.90	184.72	170.06	164.19	158.33	60.00	40.00	107.47	35.82	354.45	0.35	1.29
16.00	21260.00	2304.58	1700.80	1233.08	903.55	671.82	465.59	331.66	272.13	218.98	187.09	159.45	133.94	123.31	119.06	114.80	46.67	53.33	133.91	44.64	441.66	0.44	1.61
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		799.77	29.62	2637.86	2.64	9.60

เดือนตุลาคม ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	20990.00	2036.03	1431.52	1049.50	789.22	566.73	407.21	319.05	226.69	167.92	115.45	100.75	92.36	90.26	77.66	81.86	46.67	53.33	180.88	60.29	596.60	0.60	2.17
9.00	29080.00	2820.76	1983.26	1454.00	1093.41	785.16	564.15	442.02	314.06	232.64	159.94	139.58	127.95	125.04	107.60	113.41	53.33	46.67	156.26	52.09	515.40	0.52	1.88
10.00	35870.00	3479.39	2446.33	1793.50	1348.71	968.49	695.88	545.22	387.40	286.96	197.29	172.18	157.83	154.24	132.72	139.89	53.33	46.67	122.70	40.90	404.70	0.40	1.47
11.00	39300.00	3812.10	2680.26	1965.00	1477.68	1061.10	762.42	597.36	424.44	314.40	216.15	188.64	172.92	168.99	145.41	153.27	60.00	40.00	125.77	41.92	414.83	0.41	1.51
12.00	44970.00	4362.09	3066.95	2248.50	1690.87	1214.19	872.42	683.54	485.68	359.76	247.34	215.86	197.87	193.37	166.39	175.38	60.00	40.00	100.63	33.54	331.92	0.33	1.21
13.00	39620.00	3843.14	2702.08	1981.00	1489.71	1069.74	768.63	602.22	427.90	316.96	217.91	190.18	174.33	170.37	146.59	154.52	60.00	40.00	124.35	41.45	410.15	0.41	1.49
14.00	34140.00	3311.58	2328.35	1707.00	1283.66	921.78	662.32	518.93	368.71	273.12	187.77	163.87	150.22	146.80	126.32	133.15	53.33	46.67	131.25	43.75	432.90	0.43	1.58
15.00	29320.00	2844.04	1999.62	1466.00	1102.43	791.64	568.81	445.66	316.66	234.56	161.26	140.74	129.01	126.08	108.48	114.35	53.33	46.67	155.08	51.69	511.48	0.51	1.86
16.00	21260.00	2062.22	1449.93	1063.00	799.38	574.02	412.44	323.15	229.61	170.08	116.93	102.05	93.54	91.42	78.66	82.91	46.67	53.33	179.35	59.78	591.55	0.59	2.15
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1276.27	47.27	4209.52	4.21	15.32

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนพฤศจิกายน ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนพฤศจิกายน ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	17080.00	1851.47	1366.40	990.64	725.90	539.73	374.05	266.45	218.62	175.92	150.30	128.10	107.60	99.06	95.65	92.23	40.00	60.00	151.78	50.59	500.63	0.50	1.82
9.00	26560.00	2879.10	2124.80	1540.48	1128.80	839.30	581.66	414.34	339.97	273.57	233.73	199.20	167.33	154.05	148.74	143.42	53.33	46.67	111.42	37.14	367.51	0.37	1.34
10.00	34460.00	3735.46	2756.80	1998.68	1464.55	1088.94	754.67	537.58	441.09	354.94	303.25	258.45	217.10	199.87	192.98	186.08	66.67	33.33	89.10	29.70	293.89	0.29	1.07
11.00	38210.00	4141.96	3056.80	2216.18	1623.93	1207.44	836.80	596.08	489.09	393.56	336.25	286.58	240.72	221.62	213.98	206.33	66.67	33.33	66.15	22.05	218.20	0.22	0.79
12.00	37010.00	4011.88	2960.80	2146.58	1572.93	1169.52	810.52	577.36	473.73	381.20	325.69	277.58	233.16	214.66	207.26	199.85	66.67	33.33	73.50	24.50	242.42	0.24	0.88
13.00	36010.00	3903.48	2880.80	2088.58	1530.43	1137.92	788.62	561.76	460.93	370.90	316.89	270.08	226.86	208.86	201.66	194.45	66.67	33.33	79.62	26.54	262.61	0.26	0.96
14.00	34720.00	3763.65	2777.60	2013.76	1475.60	1097.15	760.37	541.63	444.42	357.62	305.54	260.40	218.74	201.38	194.43	187.49	66.67	33.33	87.51	29.17	288.65	0.29	1.05
15.00	26550.00	2878.02	2124.00	1539.90	1128.38	838.98	581.45	414.18	339.84	273.47	233.64	199.13	167.27	153.99	148.68	143.37	53.33	46.67	111.50	37.17	367.74	0.37	1.34
16.00	17840.00	1933.86	1427.20	1034.72	758.20	563.74	390.70	278.30	228.35	183.75	156.99	133.80	112.39	103.47	99.90	96.34	40.00	60.00	145.19	48.40	478.87	0.48	1.74
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		915.78	33.92	3020.51	3.02	10.99

เดือนพฤศจิกายน ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	17080.00	1656.76	1164.86	854.00	642.21	461.16	331.35	259.62	184.46	136.64	93.94	81.98	75.15	73.44	63.20	66.61	40.00	60.00	184.99	61.66	610.17	0.61	2.22
9.00	26560.00	2576.32	1811.39	1328.00	998.66	717.12	515.26	403.71	286.85	212.48	146.08	127.49	116.86	114.21	98.27	103.58	46.67	53.33	149.27	49.76	492.34	0.49	1.79
10.00	34460.00	3342.62	2350.17	1723.00	1295.70	930.42	668.52	523.79	372.17	275.68	189.53	165.41	151.62	148.18	127.50	134.39	53.33	46.67	129.67	43.22	427.69	0.43	1.56
11.00	38210.00	3706.37	2605.92	1910.50	1436.70	1031.67	741.27	580.79	412.67	305.68	210.16	183.41	168.12	164.30	141.38	149.02	60.00	40.00	130.60	43.53	430.76	0.43	1.57
12.00	37010.00	3589.97	2524.08	1850.50	1391.58	999.27	717.99	562.55	399.71	296.08	203.56	177.65	162.84	159.14	136.94	144.34	53.33	46.67	117.06	39.02	386.11	0.39	1.41
13.00	36010.00	3492.97	2455.88	1800.50	1353.98	972.27	698.59	547.35	388.91	288.08	198.06	172.85	158.44	154.84	133.24	140.44	53.33	46.67	122.01	40.67	402.42	0.40	1.46
14.00	34720.00	3367.84	2367.90	1736.00	1305.47	937.44	673.57	527.74	374.98	277.76	190.96	166.66	152.77	149.30	128.46	135.41	53.33	46.67	128.38	42.79	423.45	0.42	1.54
15.00	26550.00	2575.35	1810.71	1327.50	998.28	716.85	515.07	403.56	286.74	212.40	146.03	127.44	116.82	114.17	98.24	103.55	46.67	53.33	149.33	49.78	492.53	0.49	1.79
16.00	17840.00	1730.48	1216.69	892.00	670.78	481.68	346.10	271.17	192.67	142.72	98.12	85.63	78.50	76.71	66.01	69.58	40.00	60.00	179.88	59.96	593.29	0.59	2.16
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1291.20	47.82	4258.75	4.26	15.50

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มในการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้งของช่องเปิดทิศเหนือ- ใต้ เดือนธันวาคม ช่วงเวลา 8.00 -16.00 น.

เดือนธันวาคม ช่องเปิดทิศเหนือ																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		10.84	8.00	5.80	4.25	3.16	2.19	1.56	1.28	1.03	0.88	0.75	0.63	0.58	0.56	0.54							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	14960.00	1621.66	1196.80	867.68	635.80	472.74	327.62	233.38	191.49	154.09	131.65	112.20	94.25	86.77	83.78	80.78	40.00	60.00	170.18	56.73	561.30	0.56	2.04
9.00	20010.00	2169.08	1600.80	1160.58	850.43	632.32	438.22	312.16	256.13	206.10	176.09	150.08	126.06	116.06	112.06	108.05	46.67	53.33	143.67	47.89	473.87	0.47	1.72
10.00	25190.00	2730.60	2015.20	1461.02	1070.58	796.00	551.66	392.96	322.43	259.46	221.67	188.93	158.70	146.10	141.06	136.03	53.33	46.67	121.15	40.38	399.59	0.40	1.45
11.00	29790.00	3229.24	2383.20	1727.82	1266.08	941.36	652.40	464.72	381.31	306.84	262.15	223.43	187.68	172.78	166.82	160.87	60.00	40.00	104.38	34.79	344.27	0.34	1.25
12.00	31680.00	3434.11	2534.40	1837.44	1346.40	1001.09	693.79	494.21	405.50	326.30	278.78	237.60	199.58	183.74	177.41	171.07	60.00	40.00	91.97	30.66	303.34	0.30	1.10
13.00	31280.00	3390.75	2502.40	1814.24	1329.40	988.45	685.03	487.97	400.38	322.18	275.26	234.60	197.06	181.42	175.17	168.91	60.00	40.00	94.59	31.53	312.00	0.31	1.14
14.00	30040.00	3256.34	2403.20	1742.32	1276.70	949.26	657.88	468.62	384.51	309.41	264.35	225.30	189.25	174.23	168.22	162.22	60.00	40.00	102.74	34.25	338.86	0.34	1.23
15.00	24510.00	2656.88	1960.80	1421.58	1041.68	774.52	536.77	382.36	313.73	252.45	215.69	183.83	154.41	142.16	137.26	132.35	53.33	46.67	125.98	41.99	415.52	0.42	1.51
16.00	17630.00	1911.09	1410.40	1022.54	749.28	557.11	386.10	275.03	225.66	181.59	155.14	132.23	111.07	102.25	98.73	95.20	40.00	60.00	147.01	49.00	484.88	0.48	1.76
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1101.67	40.80	3633.63	3.63	13.23

เดือนธันวาคม ช่องเปิดทิศใต้																								
เวลา	E_{ext}(lx)	%DF(A)	%DF(B)	%DF(C)	%DF(D)	%DF(E)	%DF(F)	%DF(G)	%DF(H)	%DF(I)	%DF(J)	%DF(K)	%DF(L)	%DF(M)	%DF(N)	%DF(O)	พื้นที่ใช้สอย(%) เริ่มที่เกณฑ์ 300 lux		ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม		ไฟฟ้าที่ใช้	ยูนิต/ชั่วโมง	ค่าไฟ/hr
		9.70	6.82	5.00	3.76	2.70	1.94	1.52	1.08	0.80	0.55	0.48	0.44	0.43	0.37	0.39							
		E_{in}(A)	E_{in}(B)	E_{in}(C)	E_{in}(D)	E_{in}(E)	E_{in}(F)	E_{in}(G)	E_{in}(H)	E_{in}(I)	E_{in}(J)	E_{in}(K)	E_{in}(L)	E_{in}(M)	E_{in}(N)	E_{in}(O)	>เกณฑ์	<เกณฑ์	lux	(%)	(W-hr)	kW-hr	*3.6บาท
8.00	14960.00	1451.12	1020.27	748.00	562.50	403.92	290.22	227.39	161.57	119.68	82.28	71.81	65.82	64.33	55.35	58.34	33.33	66.67	180.32	60.11	594.75	0.59	2.16
9.00	20010.00	1940.97	1364.68	1000.50	752.38	540.27	388.19	304.15	216.11	160.08	110.06	96.05	88.04	86.04	74.04	78.04	46.67	53.33	186.44	62.15	614.94	0.61	2.24
10.00	25190.00	2443.43	1717.96	1259.50	947.14	680.13	488.69	382.89	272.05	201.52	138.55	120.91	110.84	108.32	93.20	98.24	46.67	53.33	157.05	52.35	517.99	0.52	1.89
11.00	29790.00	2889.63	2031.68	1489.50	1120.10	804.33	577.93	452.81	321.73	238.32	163.85	142.99	131.08	128.10	110.22	116.18	53.33	46.67	152.75	50.92	503.82	0.50	1.83
12.00	31680.00	3072.96	2160.58	1584.00	1191.17	855.36	614.59	481.54	342.14	253.44	174.24	152.06	139.39	136.22	117.22	123.55	53.33	46.67	143.41	47.80	473.01	0.47	1.72
13.00	31280.00	3034.16	2133.30	1564.00	1176.13	844.56	606.83	475.46	337.82	250.24	172.04	150.14	137.63	134.50	115.74	121.99	53.33	46.67	145.39	48.46	479.53	0.48	1.75
14.00	30040.00	2913.88	2048.73	1502.00	1129.50	811.08	582.78	456.61	324.43	240.32	165.22	144.19	132.18	129.17	111.15	117.16	53.33	46.67	151.52	50.51	499.75	0.50	1.82
15.00	24510.00	2377.47	1671.58	1225.50	921.58	661.77	475.49	372.55	264.71	196.08	134.81	117.65	107.84	105.39	90.69	95.59	46.67	53.33	160.91	53.64	530.71	0.53	1.93
16.00	17630.00	1710.11	1202.37	881.50	662.89	476.01	342.02	267.98	190.40	141.04	96.97	84.62	77.57	75.81	65.23	68.76	40.00	60.00	181.29	60.43	597.95	0.60	2.18
หมายเหตุ		แสดงพื้นที่ใช้สอยที่ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ 300 lux															Total		1459.07	54.04	4812.45	4.81	17.52

ตารางที่ 5.15 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดทั้งปีจากการใช้ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพที่สุด
(การใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves โค้ง)

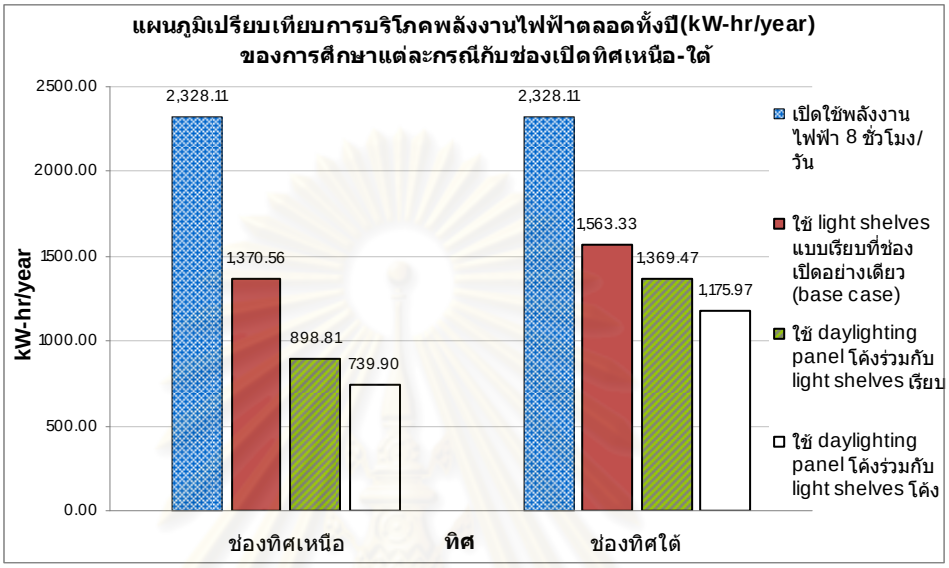
เดือน	ทิศ	พลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์								จำนวนวันทำงานของเดือน
		คิดต่อวัน				คิดต่อเดือน				
		วัตต์ไม่รวมบัลลาสต์ (W – hr)	วัตต์รวมบัลลาสต์ (W – hr)	ยูนิต / ชั่วโมง	ค่าไฟฟ้า (บาท)	วัตต์ไม่รวมบัลลาสต์ (W – hr)	วัตต์รวมบัลลาสต์ (W – hr)	ยูนิต / ชั่วโมง	ค่าไฟฟ้า (บาท)	
มกราคม	ทิศเหนือ	2,720.65	3,109.32	3.11	11.32	59,854.41	68,405.04	68.41	248.99	22
	ทิศใต้	4,095.93	4,681.06	4.68	17.04	90,110.46	102,983.39	102.98	374.86	
กุมภาพันธ์	ทิศเหนือ	2,515.62	2,874.99	2.87	10.46	50,312.40	57,499.88	57.50	209.30	20
	ทิศใต้	3,907.30	4,465.48	4.47	16.25	78,145.96	89,309.67	89.31	325.09	
มีนาคม	ทิศเหนือ	2,451.86	2,802.12	2.80	10.20	53,940.89	61,646.74	61.65	224.39	22
	ทิศใต้	4,052.94	4,631.93	4.63	16.86	89,164.64	101,902.44	101.90	370.92	
เมษายน	ทิศเหนือ	2,665.89	3,046.73	3.05	11.09	55,983.60	63,981.26	63.98	232.89	21
	ทิศใต้	4,031.63	4,607.58	4.61	16.77	84,664.31	96,759.22	96.76	352.20	
พฤษภาคม	ทิศเหนือ	2,174.84	2,485.53	2.49	9.05	47,846.50	54,681.71	54.68	199.04	22
	ทิศใต้	3,630.26	4,148.87	4.15	15.10	79,865.71	91,275.10	91.28	332.24	
มิถุนายน	ทิศเหนือ	2,106.14	2,407.01	2.41	8.76	44,228.85	50,547.26	50.55	183.99	21
	ทิศใต้	3,772.21	4,311.10	4.31	15.69	79,216.39	90,533.02	90.53	329.54	
กรกฎาคม	ทิศเหนือ	2,088.89	2,387.30	2.39	8.69	45,955.60	52,520.69	52.52	191.18	22
	ทิศใต้	3,758.16	4,295.05	4.30	15.63	82,679.62	94,490.99	94.49	343.95	
สิงหาคม	ทิศเหนือ	1,671.97	1,910.82	1.91	6.96	36,783.24	42,037.99	42.04	153.02	22
	ทิศใต้	3,299.87	3,771.28	3.77	13.73	72,597.12	82,968.14	82.97	302.00	
กันยายน	ทิศเหนือ	2,433.47	2,781.11	2.78	10.12	51,102.93	58,403.35	58.40	212.59	21
	ทิศใต้	4,029.19	4,604.78	4.60	16.76	84,612.92	96,700.48	96.70	351.99	
ตุลาคม	ทิศเหนือ	2,637.86	3,014.70	3.01	10.97	58,032.90	66,323.31	66.32	241.42	22
	ทิศใต้	4,209.52	4,810.88	4.81	17.51	92,609.40	105,839.31	105.84	385.26	
พฤศจิกายน	ทิศเหนือ	3,020.51	3,452.01	3.45	12.57	63,430.77	72,492.31	72.49	263.87	21
	ทิศใต้	4,258.75	4,867.15	4.87	17.72	89,433.82	102,210.08	102.21	372.04	
ธันวาคม	ทิศเหนือ	3,633.63	4,152.72	4.15	15.12	79,939.93	91,359.91	91.36	332.55	22
	ทิศใต้	4,812.45	5,499.94	5.50	20.02	105,873.83	120,998.66	121.00	440.44	
รวมทั้งปี	ทิศเหนือ	-	-	-	-	647,412.02	739,899.45	739.90	2,693.23	258
	ทิศใต้	-	-	-	-	1,028,974.20	1,175,970.51	1,175.97	4,280.53	
หมายเหตุ	คิดชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนจาก = ชั่วโมงทำงานต่อวัน(8 hr) x จำนวนวันทำงานของเดือนที่ศึกษา									

ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดทั้งปี จากการใช้ daylighting panels กรณีต่างๆ

เดือน	ทิศ	พลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์/เดือน									จำนวนวันทำงานของเดือน
		ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)			ใช้ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ร่วมกับ light shelves แบบเรียบ			ใช้ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน ร่วมกับ lightshelve โค้ง			
		วัตต์รวมบัลลาสต์ (W – hr)	ยูนิต / ชั่วโมง	ค่าไฟฟ้า (บาท)	วัตต์รวมบัลลาสต์ (W – hr)	ยูนิต / ชั่วโมง	ค่าไฟฟ้า (บาท)	วัตต์รวมบัลลาสต์ (W – hr)	ยูนิต / ชั่วโมง	ค่าไฟฟ้า (บาท)	
มกราคม	ทิศเหนือ	117,592.35	117.59	428.04	82,080.73	82.08	298.77	68,405.04	68.41	248.99	22
	ทิศใต้	135,174.42	135.17	492.03	120,271.71	120.27	437.79	102,983.39	102.98	374.86	
กุมภาพันธ์	ทิศเหนือ	103,264.67	103.26	375.88	69,408.87	69.41	252.65	57,499.88	57.50	209.30	20
	ทิศใต้	120,145.74	120.15	437.33	105,864.91	105.86	385.35	89,309.67	89.31	325.09	
มีนาคม	ทิศเหนือ	118,436.32	118.44	431.11	75,825.23	75.83	276.00	61,646.74	61.65	224.39	22
	ทิศใต้	131,030.25	131.03	476.95	113,733.29	113.73	413.99	101,902.44	101.90	370.92	
เมษายน	ทิศเหนือ	115,105.20	115.11	418.98	75,952.01	75.95	276.47	63,981.26	63.98	232.89	21
	ทิศใต้	126,979.06	126.98	462.20	110,752.68	110.75	403.14	96,759.22	96.76	352.20	
พฤษภาคม	ทิศเหนือ	111,957.64	111.96	407.53	68,073.14	68.07	247.79	54,681.71	54.68	199.04	22
	ทิศใต้	130,451.71	130.45	474.84	112,495.06	112.50	409.48	91,275.10	91.28	332.24	
มิถุนายน	ทิศเหนือ	105,691.86	105.69	384.72	66,835.62	66.84	243.28	50,547.26	50.55	183.99	21
	ทิศใต้	124,605.28	124.61	453.56	107,501.55	107.50	391.31	90,533.02	90.53	329.54	
กรกฎาคม	ทิศเหนือ	110,412.76	110.41	401.90	66,809.52	66.81	243.19	52,520.69	52.52	191.18	22
	ทิศใต้	130,307.50	130.31	474.32	112,333.53	112.33	408.89	94,490.99	94.49	343.95	
สิงหาคม	ทิศเหนือ	106,276.07	106.28	386.84	60,256.54	60.26	219.33	42,037.99	42.04	153.02	22
	ทิศใต้	123,553.91	123.55	449.74	104,168.91	104.17	379.17	82,968.14	82.97	302.00	
กันยายน	ทิศเหนือ	109,718.34	109.72	399.37	71,106.21	71.11	258.83	58,403.35	58.40	212.59	21
	ทิศใต้	127,595.14	127.60	464.45	111,178.89	111.18	404.69	96,700.48	96.70	351.99	
ตุลาคม	ทิศเหนือ	120,064.75	120.06	437.04	78,604.82	78.60	286.12	66,323.31	66.32	241.42	22
	ทิศใต้	132,092.30	132.09	480.82	116,726.23	116.73	424.88	105,839.31	105.84	385.26	
พฤศจิกายน	ทิศเหนือ	118,617.32	118.62	431.77	84,213.20	84.21	306.54	72,492.31	72.49	263.87	21
	ทิศใต้	132,932.85	132.93	483.88	118,014.63	118.01	429.57	102,210.08	102.21	372.04	
ธันวาคม	ทิศเหนือ	133,424.37	133.42	485.66	99,646.56	99.65	362.71	91,359.91	91.36	332.55	22
	ทิศใต้	148,463.30	148.46	540.41	136,431.16	136.43	496.61	120,998.66	121.00	440.44	
รวมทั้งปี	ทิศเหนือ	1370561.65	1370.56	4988.84	898812.45	898.81	3271.68	739,899.45	739.90	2693.23	258
	ทิศใต้	1563331.47	1563.33	5690.53	1369472.54	1369.47	4984.88	1175970.51	1175.97	4280.53	

5.3 ผลการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีของการศึกษาในแต่ละกรณี

แผนภูมิที่ 5.2 แสดงผลการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานไฟฟ้า(kW-hr/year)ตลอดทั้งปีของการศึกษาในแต่ละกรณี



จากตารางและแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดปีของการทดลองกรณีศึกษาต่าง ๆ อันได้แก่ 1. กรณีไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติและเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวัน

2. กรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว(base case)

3. กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves เรียบตรง

4. กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves โค้ง

สามารถอธิบายได้ว่า

<u>กรณีที่ 1</u> ที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติและมีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวันมีอัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด ทั้งในกรณีช่องเปิดทิศเหนือและใต้ สูงถึง 2,328.11 kW-hr/year

<u>กรณีที่ 2</u> กรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) มีอัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้ามากรองลงมาเป็นลำดับที่ 2 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ บริโภคพลังงานไฟฟ้า 1,370.56 kW-hr/year และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้บริโภคพลังงานไฟฟ้า 1,563.33 kW-hr/year

2.1) คิดเป็นอัตราการบริโภคพลังงานที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 957.55 kW-hr/year คิดเป็น 41.13 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 764.78 kW-hr/year คิดเป็น 32.85 %

<u>กรณีที่ 3</u> กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรงมีอัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าเป็นลำดับที่ 3 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ บริโภคพลังงานไฟฟ้า 898.81 kW-hr/year และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้บริโภคพลังงานไฟฟ้า 1,369.47 kW-hr/year

3.1) คิดเป็นอัตราการบริโภคพลังงานที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 1,429.30 kW-hr/year คิดเป็น 61.39 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 958.64 kW-hr/year คิดเป็น 41.18 %

3.2) คิดเป็นอัตราการบริโภคพลังงานที่ลดลงได้จากกรณีที่ 2 ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 471.75 kW-hr/year คิดเป็น 34.42 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 193.86 kW-hr/year คิดเป็น 12.40 %

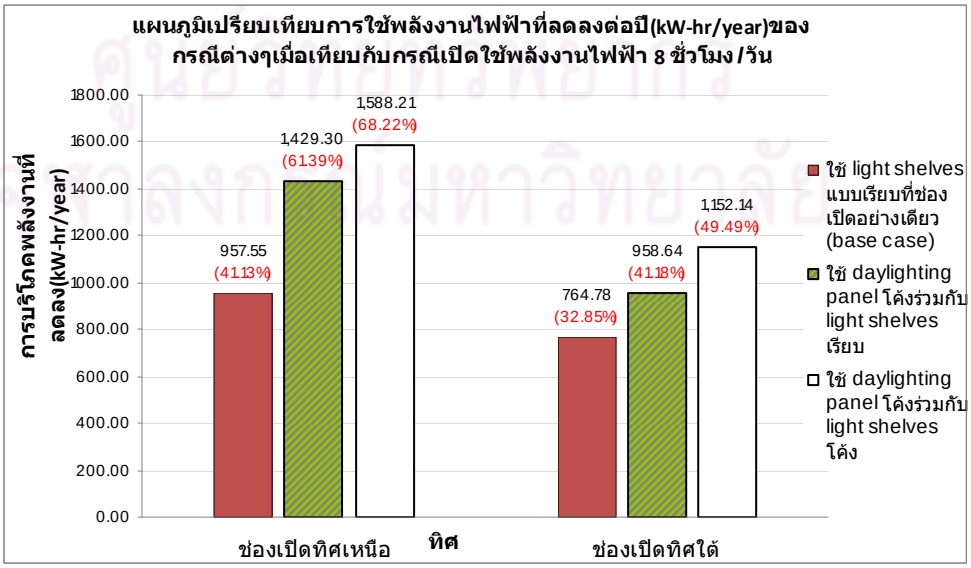
<u>กรณีที่ 4</u> กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบโค้งมีอัตราการบริโภคพลังงานไฟฟ้าเป็นลำดับที่ 4 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ บริโภคพลังงานไฟฟ้า 739.90 kW-hr/year และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้บริโภคพลังงานไฟฟ้า 1,175.97 kW-hr/year

4.1) คิดเป็นอัตราการบริโภคพลังงานที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 1,588.21 kW-hr/year คิดเป็น 68.22 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 1,152.14 kW-hr/year คิดเป็น 49.49 %

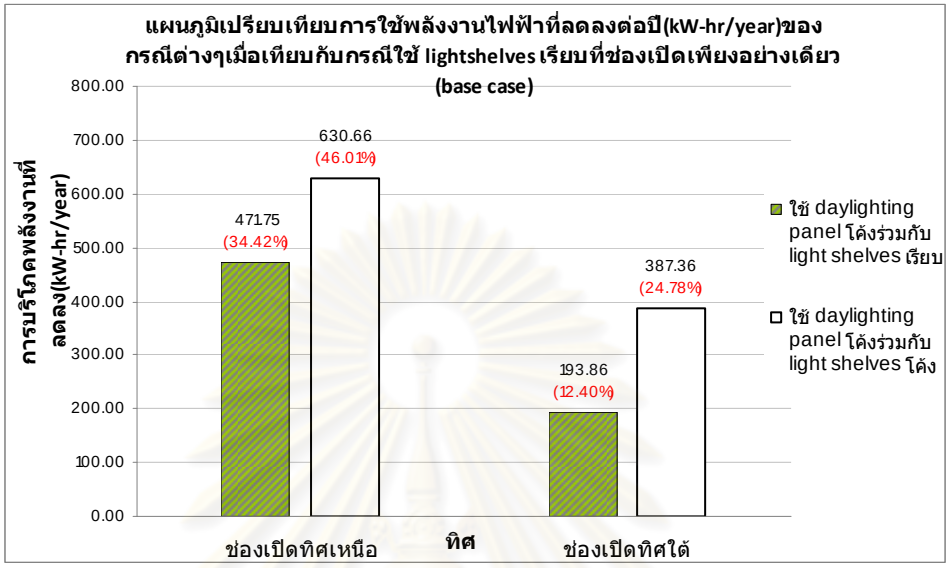
4.2) คิดเป็นอัตราการบริโภคพลังงานที่ลดลงได้จากกรณีที่ 2 ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 630.66 kW-hr/year คิดเป็น 46.01% และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 387.36 kW-hr/year คิดเป็น 24.78 %

4.3) คิดเป็นอัตราการบริโภคพลังงานที่ลดลงได้จากกรณีที่ 3 ใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 158.91 kW-hr/year คิดเป็น 17.68 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 193.50 kW-hr/year คิดเป็น14.13 %

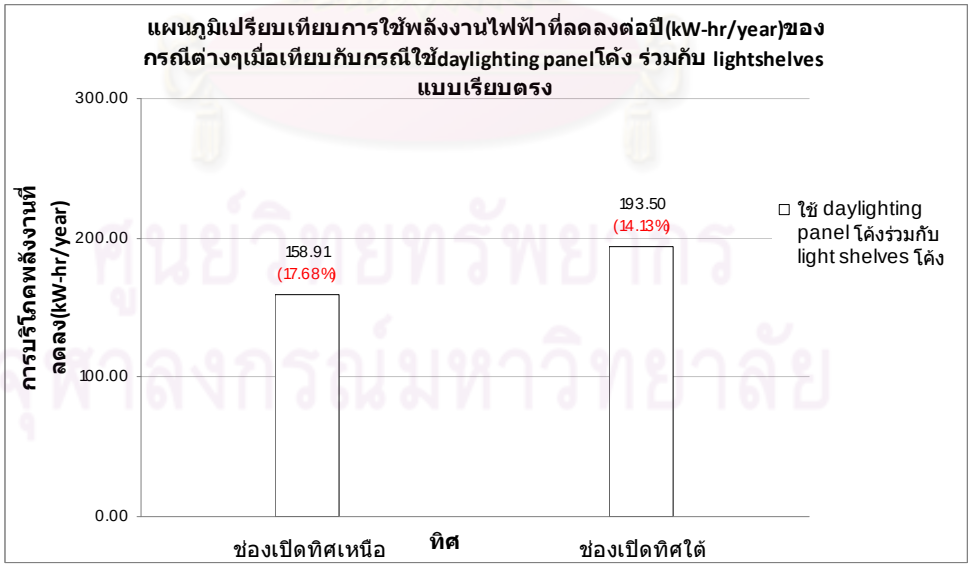
แผนภูมิที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ(มีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมง/วัน)



แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ light shelves เรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)

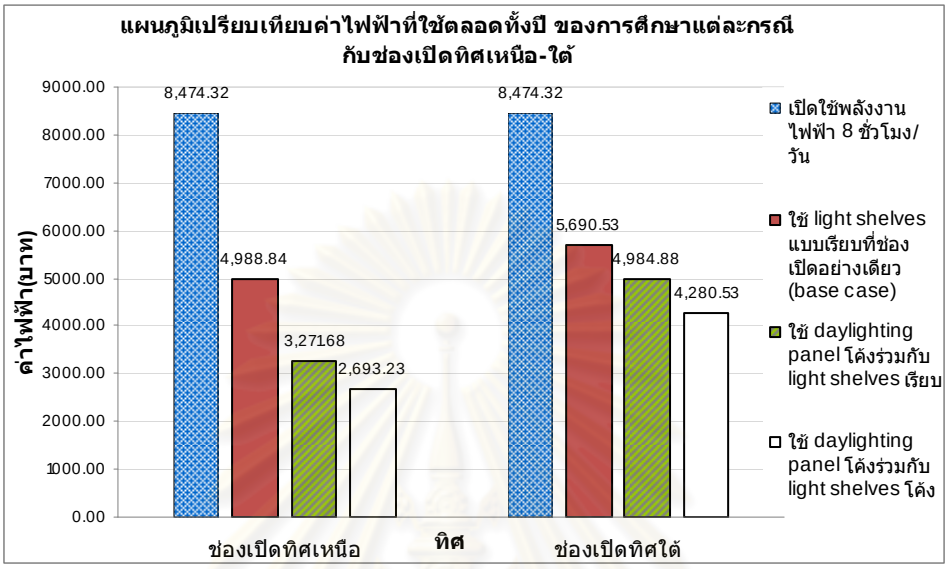


แผนภูมิที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ daylighting panelsโค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves แบบเรียบตรง



5.4 ผลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดทั้งปีของการศึกษาในแต่ละกรณี

แผนภูมิที่ 5.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดทั้งปี(บาท)ของการศึกษาในแต่ละกรณี



จากตารางและแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ตลอดทั้งปีของการทดลองกรณีศึกษาต่าง ๆ อันได้แก่ 1. กรณีไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติและเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวัน

2. กรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว(base case)

3. กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves เรียบตรง

4. กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves โค้ง

สามารถอธิบายได้ว่า

<u>กรณีที่ 1</u> ที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติและมีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวันมีอัตราค่าไฟฟ้ารายปีมากที่สุด ทั้งในกรณีช่องเปิดทิศเหนือและใต้ สูงถึง 8,474.32 บาท/ปี

<u>กรณีที่ 2</u> กรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) มีอัตราค่าไฟฟ้ารายปีมากรองลงมาเป็นลำดับที่ 2 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ มีค่าไฟฟ้า 4,988.84 บาท/ปี และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้มีค่าไฟฟ้า 5,690.53 บาท/ปี

2.1) คิดเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 3,485.48 บาท/ปี คิดเป็น 41.13 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 2,783.79 บาท/ปี คิดเป็น 32.85 %

<u>กรณีที่ 3</u> กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรงมีอัตราค่าไฟฟ้ารายปีเป็นลำดับที่ 3 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ มีค่าไฟฟ้า 3,271.68 บาท/ปี และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้มีค่าไฟฟ้า 4,984.88 บาท/ปี

3.1) คิดเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 5,202.64 บาท/ปี คิดเป็น 61.39 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 3,489.44 บาท/ปี คิดเป็น 41.18 %

3.2) คิดเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงได้จากกรณีที่ 2 ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง1,717.16 บาท/ปี คิดเป็น 34.42 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 705.65 บาท/ปี คิดเป็น 12.40 %

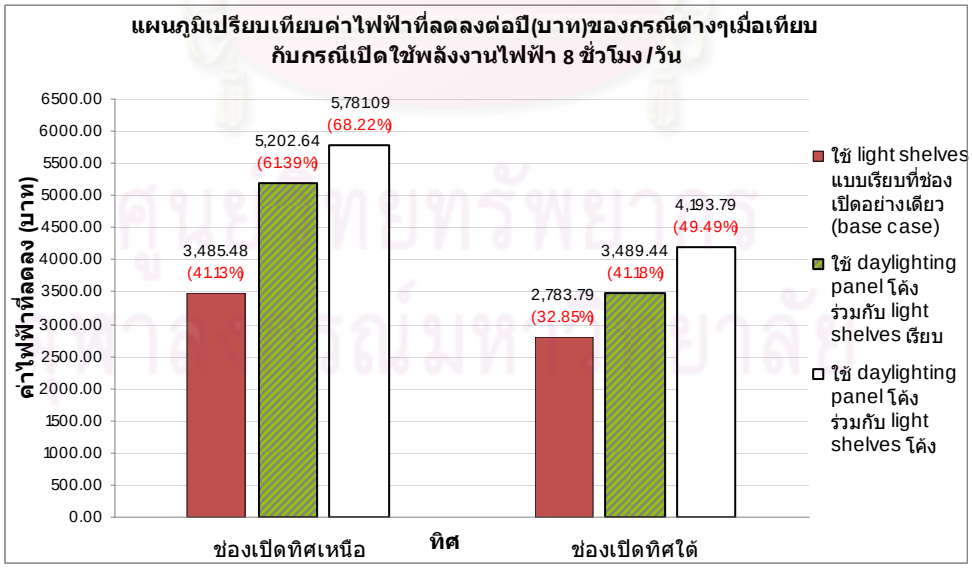
กรณีที่ 4 กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบโค้งมีอัตราค่าไฟฟ้ารายปีเป็นลำดับที่ 4 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ มีค่าไฟฟ้าจากการบริโภคพลังงาน 2,693.23 บาท/ปี และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้มีค่าไฟฟ้าจากการบริโภคพลังงาน 4,280.53 บาท/ปี

4.1) คิดเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 5,781.09 บาท/ปี คิดเป็น 68.22 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 4,193.79 บาท/ปี คิดเป็น 49.49 %

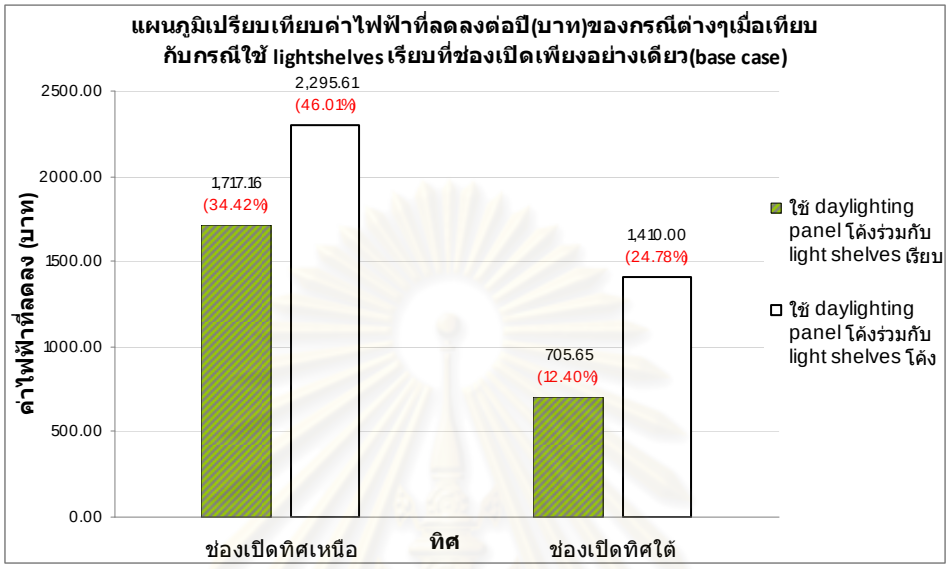
4.2) คิดเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงได้จากกรณีที่ 2 ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 2,295.61 บาท/ปี คิดเป็น 46.01 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 1,410 บาท/ปี คิดเป็น 24.78 %

4.3) คิดเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลงได้จากกรณีที่ 3 ใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 578.45 บาท/ปี คิดเป็น 17.68 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 704.35 บาท/ปี คิดเป็น 14.13 %

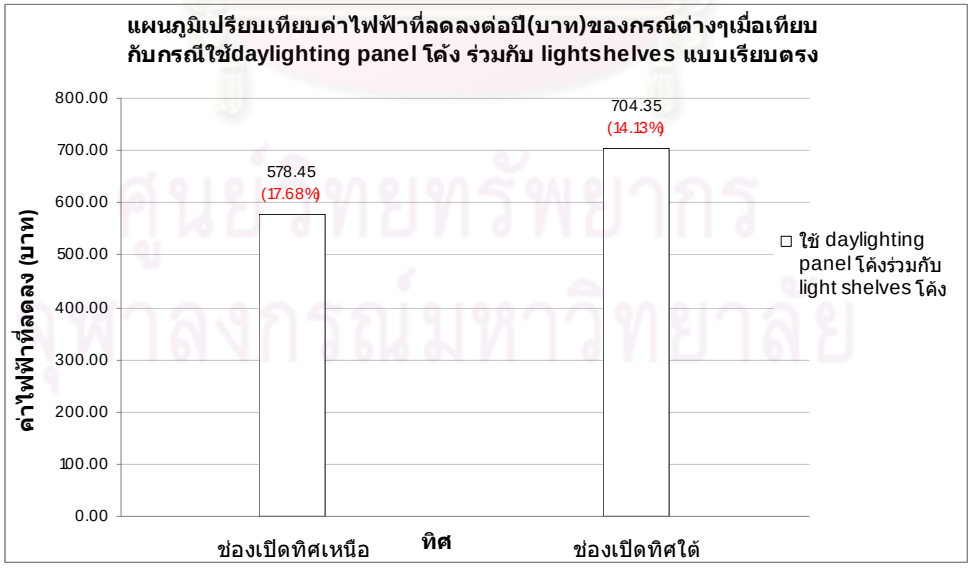
แผนภูมิที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ(มีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมง/วัน)



แผนภูมิที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ light shelves เรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)



แผนภูมิที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves แบบเรียบตรง



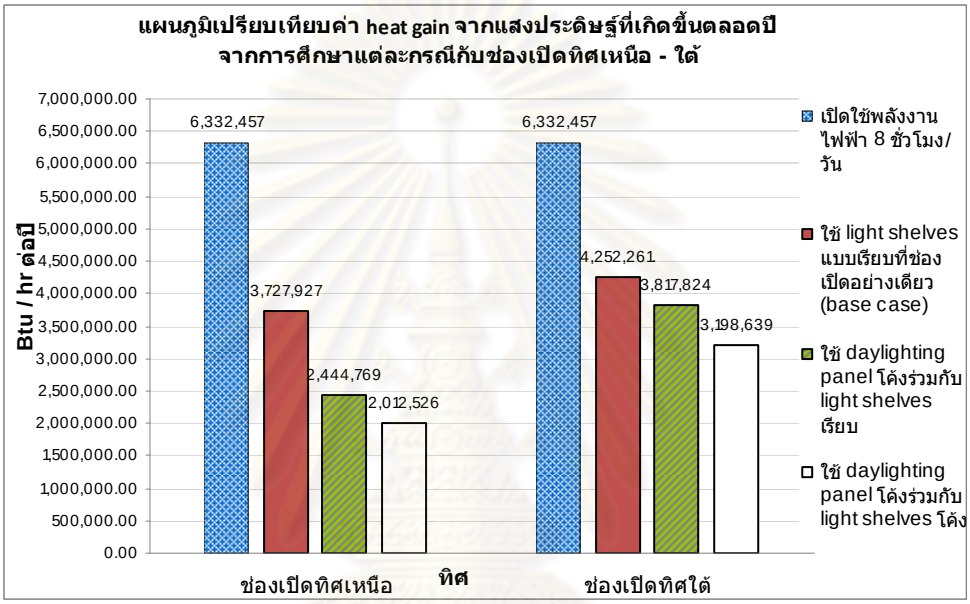
5.5 ผลการเปรียบเทียบค่า heat gain ที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงประดิษฐ์ตลอดทั้งปีของการศึกษาในแต่ละกรณี

ค่า heat gain ที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงประดิษฐ์สามารถคิดได้จากสูตร

Heat gain from artificial light (Btu/hr.) = total (Watt) x UF(0.8) x 3.4 Btu/watt-hr

(โดย ค่า conversion of heat space =3.4 Btu/watt-hr)

แผนภูมิที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain ที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงประดิษฐ์ ตลอดทั้งปีของการศึกษาในแต่ละกรณี



จากตารางและแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain ที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงประดิษฐ์ตลอดทั้งปีของการทดลองกรณีศึกษาต่าง ๆ อันได้แก่

1. กรณีไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติและเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวัน
2. กรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว(base case)
3. กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves เรียบตรง
4. กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves โค้ง

สามารถอธิบายได้ว่า

<u>กรณีที่ 1</u> ที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติและมีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวันมีอัตราการเกิด heat gain จากแสงประดิษฐ์มากที่สุด ทั้งในกรณีช่องเปิดทิศเหนือและใต้ สูงถึง 6,332,457.68 Btu/hrต่อปี

<u>กรณีที่ 2</u> กรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) มีอัตราการเกิด heat gain จากแสงประดิษฐ์มากรองลงมาเป็นลำดับที่ 2 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ มีค่า heat gain 3,727,927.69 Btu/hr ต่อปี และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้มีค่า heat gain 4,252,261.60 Btu/hr

2.1) คิดเป็น ค่า heat gain ที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 2,604,529.99 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 41.13 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 2,080,196.08 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 32.85 %

กรณีที่ 3 กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรงมีอัตราการเกิด heat gain จากแสงประดิษฐ์เป็นลำดับที่ 3 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ มีค่า heat gain Btu/hr 2,444,769.86 ต่อปี และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้มีค่า heat gain 3,724,965.31 Btu/hr ต่อปี

3.1) คิดเป็นค่า heat gain ที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 3,887,687.82 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 61.39 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 2,607,492.37 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 41.18 %

3.2) คิดเป็นค่า heat gain ที่ลดลงได้จากกรณีที่ 2 ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 1,283,157.83 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 34.42 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 527,296.29 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 12.40 %

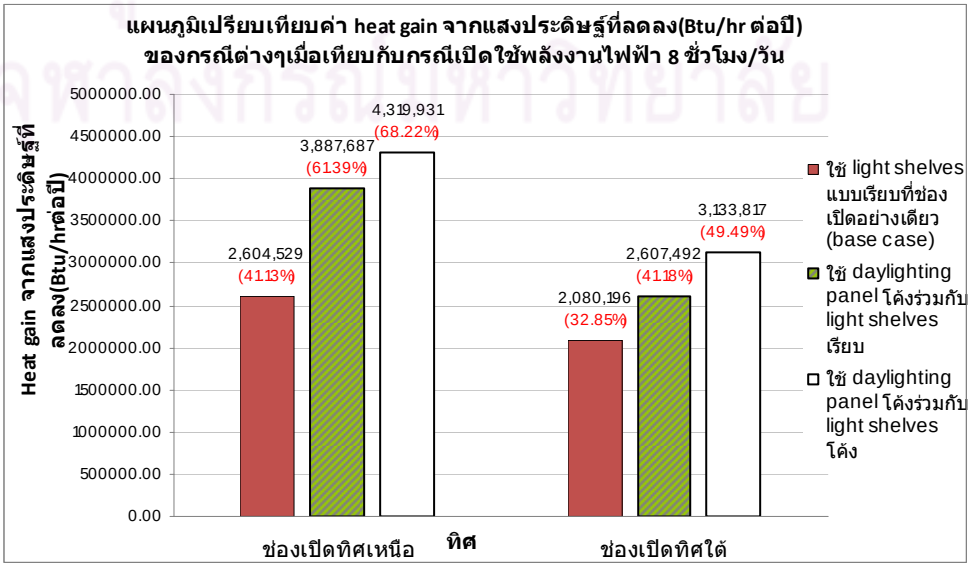
กรณีที่ 4 กรณีใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบโค้งมีอัตราการเกิด heat gain จากแสงประดิษฐ์เป็นลำดับที่ 4 โดยกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือ มีค่า heat gain Btu/hr 2,012,526.50 ต่อปี และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้มีค่า heat gain Btu/hr 3,198,639.79 ต่อปี

4.1) คิดเป็นค่า heat gain ที่ลดลงได้จากกรณีที่ 1 เปิดใช้พลังงานไฟฟ้าแปดชั่วโมง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 4,319,931.18 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 68.22 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 3,133,817.89 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 49.49 %

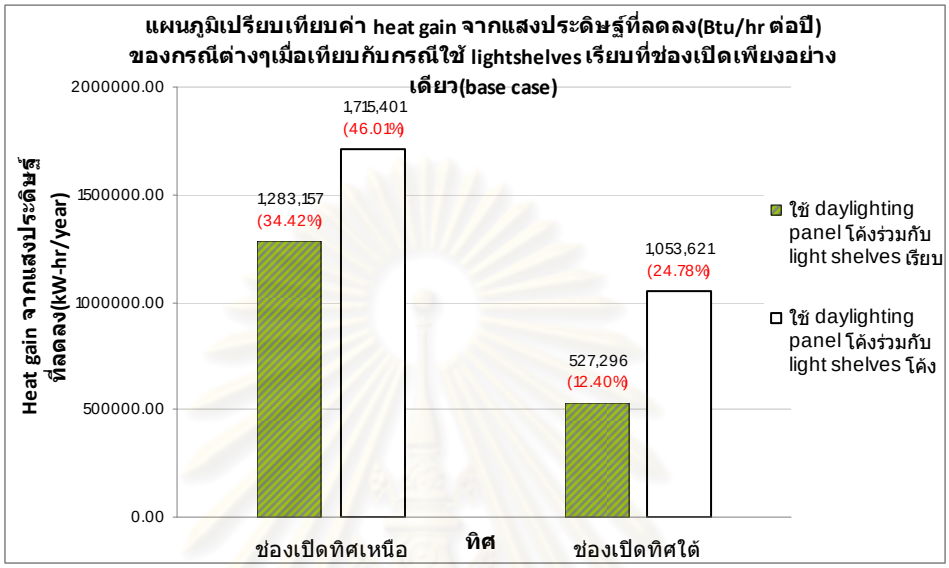
4.2) คิดเป็นค่า heat gain ที่ลดลงได้จากกรณีที่ 2 ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 1,715,401.19 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 46.01% และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 1,053,621.81 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 24.78 %

4.3) คิดเป็นค่า heat gain ที่ลดลงได้จากกรณีที่ 3 ใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรง โดยกรณีใช้กับช่องเปิดทิศเหนือลดลง 432,243.36 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 17.68 % และกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้ลดลง 526,325.52 Btu/hr ต่อปี คิดเป็น 14.13 %

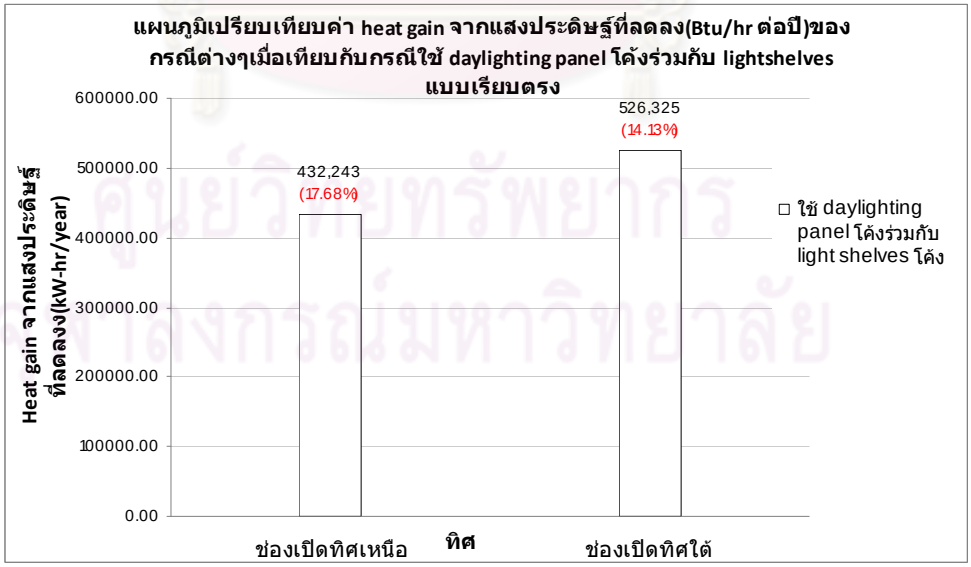
แผนภูมิที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain จากแสงประดิษฐ์ที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ(มีการเปิดใช้พลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมง/วัน)



แผนภูมิที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain จากแสงประดิษฐ์ที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ light shelves เรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)



แผนภูมิที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า heat gain จากแสงประดิษฐ์ที่ลดลงต่อปี ของกรณีต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves แบบเรียบตรง



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานศึกษาวิจัยประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร (The efficiency of interior daylighting panels) ได้ทำการทดลองตัวแปรกายภาพและตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของ daylighting panels ผ่านช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ ทั้งภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky และ clear sky สามารถสรุปและอภิปรายผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงต่อการนำไปออกแบบประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

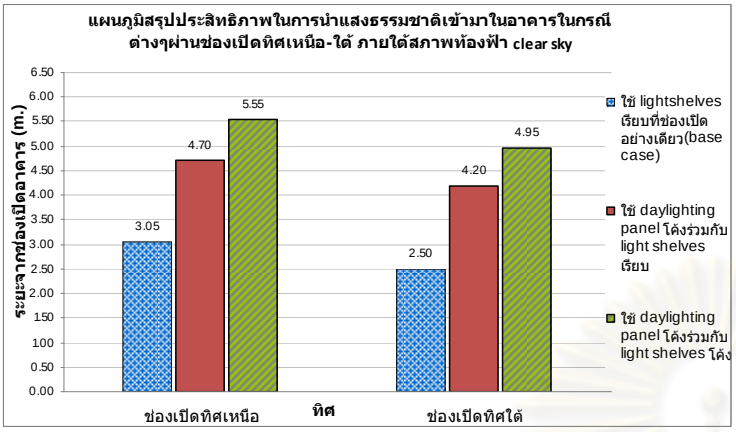
6.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

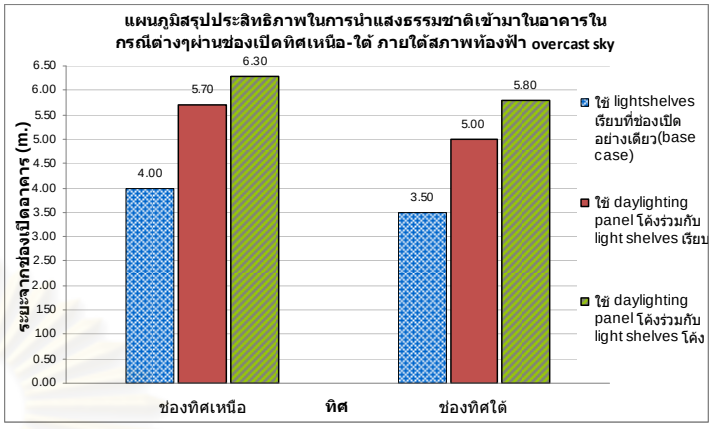
6.1.1 สรุปผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่า daylight factor มากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panels

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง ทิศเหนือ-ทิศใต้	ผลการทดลอง ภายใต้สภาพ ท้องฟ้า	ระยะแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (m.)	
				ทิศเหนือ	ทิศใต้
	Base case	-ใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว	clear sky	3.05	2.50
			overcast sky	4.00	3.25
		-ใช้ light shelves ปรับมุม 30 องศาที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว	clear sky	3.50	3.05
			overcast sky	4.50	3.70
		-ใช้ light shelves โค้งที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว	clear sky	4.00	3.40
			overcast sky	4.85	4.10
1. ตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panels					
1. 2. 3.	รูปแบบ interior daylighting panels พื้นผิววัสดุ interior daylighting panels ระดับติดตั้ง interior daylighting panels	-รูปแบบโค้งระนาบนอน -พื้นผิววัสดุ spread reflection -ระดับติดตั้ง 2.75 m.	clear sky	4.70	4.20
			overcast sky	5.70	5.00
2. ตัวแปรแวดล้อมของ Interior daylighting panels					
1.	รูปทรงของ light shelves ที่ช่องเปิด	-ใช้ daylighting panels โค้งร่วมกับ light shelves เรียบตรง	Clear sky	4.70	4.20
			Overcast sky	5.70	5.00
		-ใช้ daylighting panelsโค้งร่วมกับ light shelves ปรับมุม	Clear sky	5.10	4.60
			Overcast sky	5.90	5.40
		-ใช้ daylighting panels โค้งร่วมกับ light shelves โค้ง	clear sky	5.55	4.95
			overcast sky	6.30	5.80

แผนภูมิที่ 6.1 แสดงการสรุปประสิทธิภาพด้านระยะในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารด้วยกรณีต่างๆ





จากตารางและแผนภูมิที่ 6.1 แสดงการสรุปตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ interior daylighting panels สามารถอธิบายได้ว่า

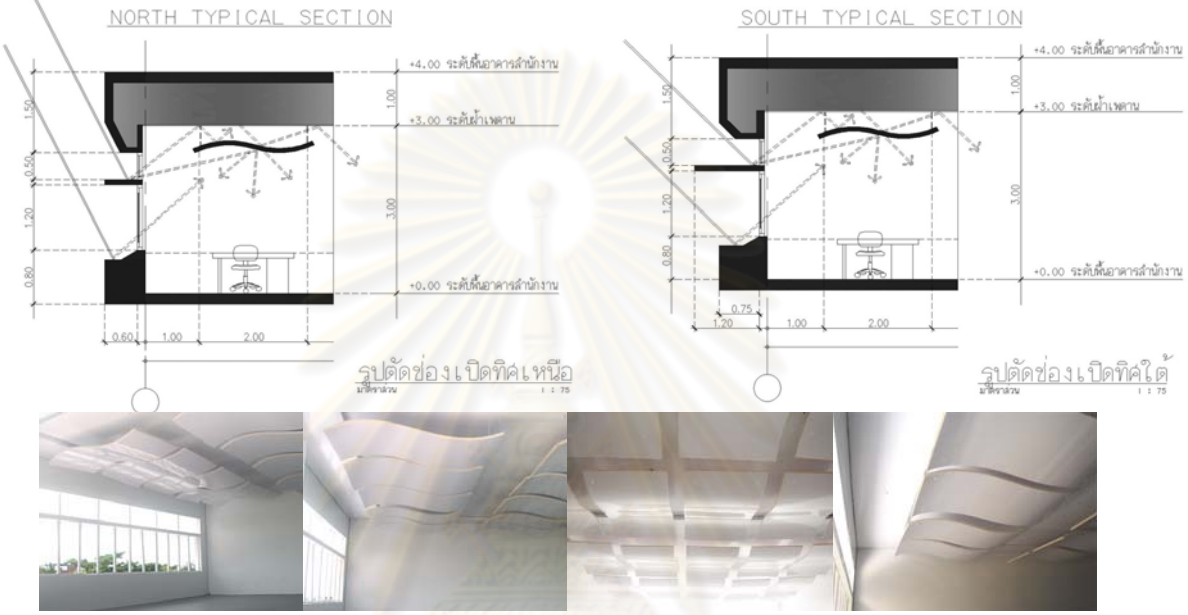
1) **ตัวแปรกายภาพของ** interior daylighting panels

- รูปแบบของ interior daylighting panels ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร ในด้านระยะจากช่องเปิดที่มีค่า daylight factor มากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ควรพิจารณาใช้รูปแบบลักษณะโค้งระนาบนอนจะมีประสิทธิภาพในการเกลี่ยแสงได้ดีกว่ารูปแบบเรียบระนาบเอียง และ เรียบระนาบนอนตามลำดับ เนื่องจากรูปแบบโค้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนองศาในการสะท้อนแสงได้ในทุกส่วนโค้งที่แสงตกกระทบ จึงทำให้สามารถสะท้อนแสงได้ไกลกว่ารูปแบบอื่นๆ

- พื้นผิววัสดุของ interior daylighting panels ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร ในด้านระยะจากช่องเปิดที่มีค่า daylight factor มากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ควรพิจารณาใช้พื้นผิววัสดุที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระเจิงแสง(spread reflect.) ซึ่งเกิดจากผลรวมพื้นผิววัสดุ specular reflect.เข้ากับ diffuse reflect.จะมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้ดีกว่าพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระจก(specular reflect.)และพื้นผิววัสดุสะท้อนแบบกระจาย(diffuse reflect.) ตามลำดับ หากวิเคราะห์จากผลการทดลองจะเห็นว่า แม้ daylighting panels วัสดุ specular reflect. จะให้ค่า daylight factor สูงกว่าพื้นผิวอื่นๆ ในช่วงระยะใกล้ช่องเปิดเนื่องจากมีค่าการสะท้อนแสงสูง แต่จะมีค่าลดลงจนน้อยกว่าพื้นผิววัสดุ spread reflect. เมื่อพิจารณาในระยะที่ไกลจากช่องเปิดออกไป จึงทำให้ได้ระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอน้อยกว่าอาจเป็นผลมาจากการสะท้อนพื้นผิวส่วนพื้นห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อยขึ้นมา และเนื่องจากวัสดุ specular reflect. มีค่าการสะท้อนแสงที่สูงมากจึงอาจก่อให้เกิดแสงบาดตาได้ในกรณีนำไปใช้งานจริง

- ระดับติดตั้งของ interior daylighting panels ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร ในด้านระยะจากช่องเปิดที่มีค่า daylight factor มากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ควรพิจารณาระดับติดตั้งที่ 2.75 เมตรจากพื้นห้อง จะมีประสิทธิภาพในการสะท้อนและเกลี่ยแสงได้ดีกว่าระดับ 2.50 เมตร และระดับ 3.00 เมตร ตามลำดับ เนื่องจากเป็นระยะที่ทำให้เกิดช่วงเพื่อให้ daylighting panels รับแสงจาก lightshelves และสะท้อนลงสู่ระนาบทำงานได้ดีกว่าระดับอื่นๆ

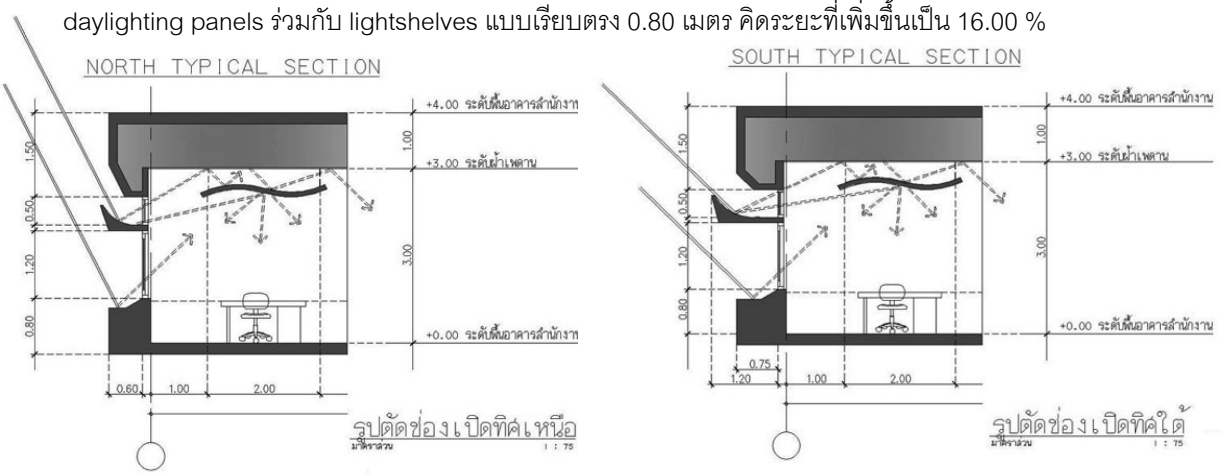
โดย daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดของทุกตัวแปรกายภาพคือ daylighting panels รูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุ spread reflect. ระดับติดตั้ง 2.75 เมตร ที่พบจากการทดลองในสภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดอาคารที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอตามมาตรฐานในช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตร เพิ่มขึ้นจากการใช้ light shelves เรียบที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว(base case) 1.70 เมตร คิดระยะที่เพิ่มขึ้นเป็น 42.50 % และในช่องเปิดทิศใต้ได้ 5.00 เมตรเพิ่มขึ้นจากการใช้ light shelves ที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว(base case) 1.75 เมตร คิดระยะที่เพิ่มขึ้นเป็น 53.85 %



ภาพที่ 6.1 แสดงการสรุปผลตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2) ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของ interior daylighting panels

- รูปทรงของ lightshelves ที่ช่องเปิดอาคารที่เสริมประสิทธิภาพร่วมกับ daylighting panels ที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร ในด้านระยะจากช่องเปิดที่มีค่า daylight factor มากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ควรพิจารณารูปทรง lightshelves ลักษณะโค้งจะมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้ามาในอาคารได้ลึกและเสริมประสิทธิภาพกับ daylighting panelsได้ดีกว่า lightshelves ปรับมุม และ lightshelves เรียบตรงตามลำดับ โดย การใช้ lightshelves โค้งเสริมประสิทธิภาพ daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพที่สุดพบจากการทดลองในสภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะจากช่องเปิดอาคารที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอตามมาตรฐานในช่องเปิดทิศเหนือได้ 6.30 เมตร เพิ่มขึ้นจากการใช้ daylighting panels ร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรง 0.60 เมตร คิดระยะที่เพิ่มขึ้นเป็น 10.53 % และในช่องเปิดทิศใต้ได้ 5.80 เมตร เพิ่มขึ้นจากการใช้ daylighting panels ร่วมกับ lightshelves แบบเรียบตรง 0.80 เมตร คิดระยะที่เพิ่มขึ้นเป็น 16.00 %



ภาพที่ 6.2 แสดงการสรุปผลตัวแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพ ของ interior daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

6.1.2 สรุปผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการเพิ่มความส่องสว่างบนระนาบทำงานที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร

ตารางที่ 6.2 สรุปผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน

1. ประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน									
	กรณี	ท้องฟ้า overcast sky ทิศ	บริโภคพลังงาน kW-hr/ปี	ประหยัดจากกรณีเปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง		ประหยัดจากกรณี base case		ประหยัดงจากกรณีใช้ lighting panels ร่วมกับ lightshelves เรียบ	
				kW-hr/ปี	%	kW-hr/ปี	%	kW-hr/ปี	%
1)	เปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวัน	เหนือ	2,328.11	-	-	-	-	-	-
		ใต้	2,328.11	-	-	-	-	-	-
2)	ใช้ lightshelves เรียบอย่างเดียว (base case)	เหนือ	1,370.56	957.55	41.13	-	-	-	-
		ใต้	1,563.33	764.78	32.85	-	-	-	-
3)	ใช้ lighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves เรียบตรง	เหนือ	898.81	1,429.30	61.39	471.75	34.42	-	-
		ใต้	1,369.47	958.64	41.18	193.86	12.40	-	-
4)	ใช้ lighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้ง	เหนือ	739.90	1,588.21	68.22	630.66	46.01	158.91	17.68
		ใต้	1,175.97	1,152.14	49.49	387.36	24.78	193.50	14.13
2. ประสิทธิภาพด้านการประหยัดค่าไฟฟ้า									
	กรณี	ท้องฟ้า overcast sky ทิศ	ค่าไฟฟ้า บาท/ปี	ประหยัดจากกรณีเปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง		ประหยัดจากกรณี base case		ประหยัดจากกรณีใช้ lighting panels ร่วมกับ lightshelves เรียบ	
				บาท/ปี	%	บาท/ปี	%	บาท/ปี	%
1)	เปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวัน	เหนือ	8,474.32	-	-	-	-	-	-
		ใต้	8,474.32	-	-	-	-	-	-
2)	ใช้ lightshelves เรียบอย่างเดียว (base case)	เหนือ	4,988.84	3,485.48	41.13	-	-	-	-
		ใต้	5,690.53	2,783.79	32.85	-	-	-	-
3)	ใช้ lighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves เรียบตรง	เหนือ	3,271.68	5,202.64	61.39	1,717.16	34.42	-	-
		ใต้	4,984.88	3,489.44	41.18	705.65	12.40	-	-
4)	ใช้ lighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้ง	เหนือ	2,693.23	5,781.09	68.22	2,295.61	46.01	578.45	17.68
		ใต้	4,280.53	4,193.79	49.49	1,410.00	24.78	704.35	14.13

3. ประสิทธิภาพด้านการลดค่า Heat gain จากแสงประดิษฐ์									
	กรณี	ท้องฟ้า overcast sky ทิศ	ค่า heat gain Btu/hr/ปี	ลดลงจากกรณีเปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง		ลดลงจากกรณี base case		ลดลงจากกรณีใช้ lighting panels ร่วมกับ lightshelves เรียบ	
				Btu/hr/ปี	%	Btu/hr/ปี	%	Btu/hr/ปี	%
1)	เปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมงต่อวัน	เหนือ	6,332,457.68	-	-	-	-	-	-
		ใต้	6,332,457.68	-	-	-	-	-	-
2)	ใช้ lightshelves เรียบอย่างเดียว (base case)	เหนือ	3,727,927.69	2,604,529.99	41.13	-	-	-	-
		ใต้	4,252,261.60	2,080,196.08	32.85	-	-	-	-
3)	ใช้ lighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves เรียบตรง	เหนือ	2,444,769.86	3,887,687.82	61.39	1,283,157.83	34.42	-	-
		ใต้	3,724,965.31	2,607,492.37	41.18	527,296.29	12.40	-	-
4)	ใช้ lighting panels โค้งร่วมกับ lightshelves โค้ง	เหนือ	2,012,526.50	4,319,931.18	68.22	1,715,401.19	46.01	432,243.36	17.68
		ใต้	3,198,639.79	3,133,817.89	49.49	1,053,621.81	24.78	526,325.52	14.13

1) ตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panels

เมื่อนำค่า daylight factor ของรูปแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทดลองตัวแปรกายภาพทั้งหมด อันได้แก่ daylighting panels รูปแบบโค้ง พื้นผิววัสดุ spread reflect. ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky ไปคิดค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการเพิ่มความส่องสว่างบนระนาบทำงานทุกระยะ 1 เมตรจากช่องเปิด ที่ยังผลต่อการประหยัดพลังงาน พบว่า

ในกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือจะมีการบริโภคพลังงาน 898.81 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 3,271.68 บาท/ปีซึ่งลดลงจากกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเลย 1,429.30 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 5,202.64 บาท/ปี หรือ 61.39 % ต่อปี และลดลงจากกรณี base case ที่ใช้ lightshelves แบบเรียบที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว 471.75 kW-hr/year คิดเป็นเงิน1,717.16 บาท/ปี หรือ 34.42 % ต่อปี

ในกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้จะมีการบริโภคพลังงาน 1,369.47 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 4,984.88 บาท/ปี ซึ่งลดลงจากกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเลย 958.64 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 3,489.44 บาท/ปี หรือ 41.18 %ต่อปี และลดลงจากกรณี base case ที่ใช้ lightshelves แบบเรียบที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว 193.86 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 705.65 บาท/ปี หรือ 12.40 %ต่อปี

2) ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของ interior daylighting panel

เมื่อนำค่า daylight factor ของรูปแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทดลองตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพทั้งหมด อันได้แก่ การใช้ daylighting panels รูปแบบโค้ง พื้นผิววัสดุ spread reflect. ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรร่วมกับ lightshelves โค้ง ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky ไปคิดค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการเพิ่มความส่องสว่างบนระนาบทำงานทุกระยะ1 เมตรจากช่องเปิดที่ยังผลต่อการประหยัดพลังงาน พบว่า

ในกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือจะมีการบริโภคพลังงาน 739.90 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 2,693.23 บาท/ปี ซึ่งลดลงจากกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเลย 1,588.21 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 5,781.09 บาท/ปี หรือ 68.22 % ต่อปี ลดลงจากกรณี base case ที่ใช้ lightshelves แบบเรียบที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว 630.66 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 2,295.61 บาท/ปี หรือ 46.01% ต่อปี และลดลงจากกรณีใช้ daylighting panels ร่วมกับ lightshelves เรียบตรง 158.91 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 578.45 บาท/ปี หรือ 17.68 % ต่อปี

ในกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้จะมีการบริโภคพลังงาน 1,175.97 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 4,280.53 บาท/ปีซึ่งลดลงจากกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเลย 1,152.14 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 4,193.79 บาท/ปี หรือ 49.49% ต่อปี ลดลงจากกรณี base case ที่ใช้ lightshelves แบบเรียบที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว 387.36 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 1,410 บาท/ปี หรือ 24.78 % ต่อปี และลดลงจากกรณีใช้ daylighting panels ร่วมกับ lightshelves เรียบตรง 193.50 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 704.35 บาท/ปี หรือ 14.13 % ต่อปี

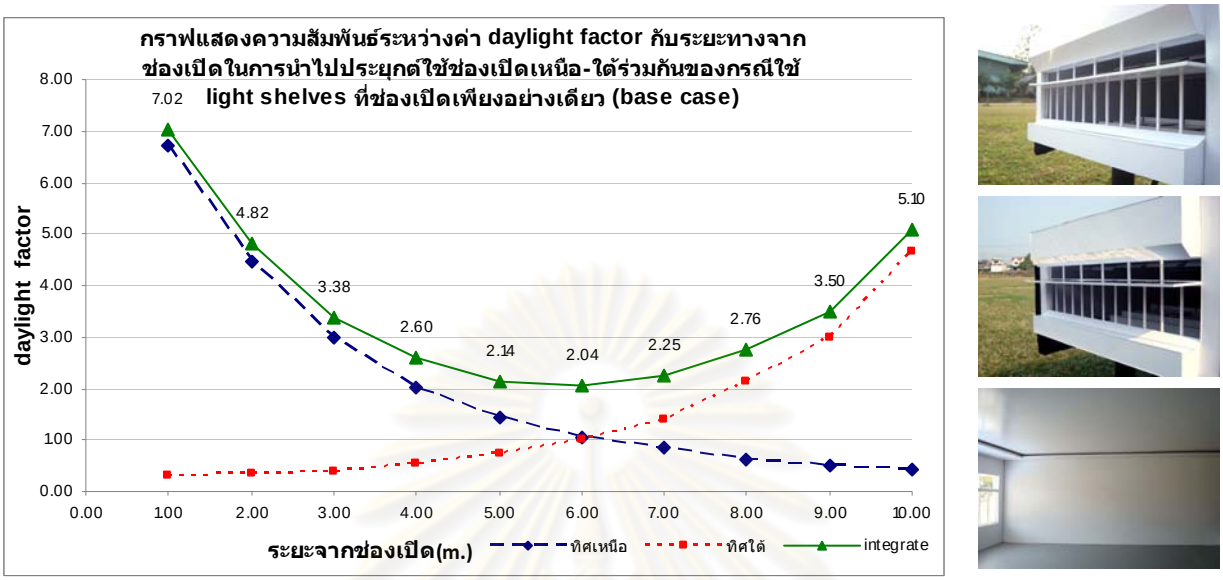
โดยผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการเพิ่มความส่องสว่างบนระนาบทำงานที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคารทั้งในด้านตัวแปรกายภาพและตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพจะเห็นว่าค่าการประหยัดพลังงานแสงสว่างของกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้จะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ใช้ช่องเปิดทิศเหนือ อาจเป็นผลมาจากกระยะยื่นของ lightshelves ในการบังแดดช่องเปิดทิศใต้มีระยะยื่นที่มากกว่าทิศเหนือ จึงทำให้ได้ค่าความส่องสว่างภายในจากแสงธรรมชาติที่นำไปช่วยลดค่าการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์น้อยกว่าทิศเหนือ ในงานวิจัยนี้

6.2 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

ผลการทดลองจากการศึกษาประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคารนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับอาคารที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์จากช่องแสงด้านข้าง ไม่ว่าจะเป็นอาคารสำนักงาน หรืออาคารทางการศึกษา และจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่าการใช้ช่องแสง 2 ด้านในห้องเดียวกันสามารถเพิ่มปริมาณความส่องสว่างและลดความจ้าภายในอาคารที่เกิดจากช่องแสงด้านเดียวได้ (Egan and Olgyay,2002) ดังนั้นหากมีความต้องการนำผลไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบกำหนดขนาดห้องของอาคารที่มีช่องแสง 2 ด้าน ในทิศเหนือ -ใต้ และมีค่าความส่องสว่างภายในทุกระยะเพียงพอต่อการใช้งาน ก็สามารถทำได้ด้วยการผสานค่า daylight factor ที่วัดผลได้ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky ของช่องเปิดทิศเหนือและทิศใต้ของแต่ละกรณีศึกษามารวมกัน แล้วประเมินระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์(2%DF) เพื่อนำผลมากำหนดขนาดของห้องได้ดังนี้

6.2.1 ขนาดห้องที่เหมาะสมของกรณีที่ใช้ lightshelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case) ทั้งทิศเหนือ-ใต้ ภายในห้องเดียวกัน

แผนภูมิที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ -ใต้ร่วมกันของกรณีใช้ light shelves ที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)

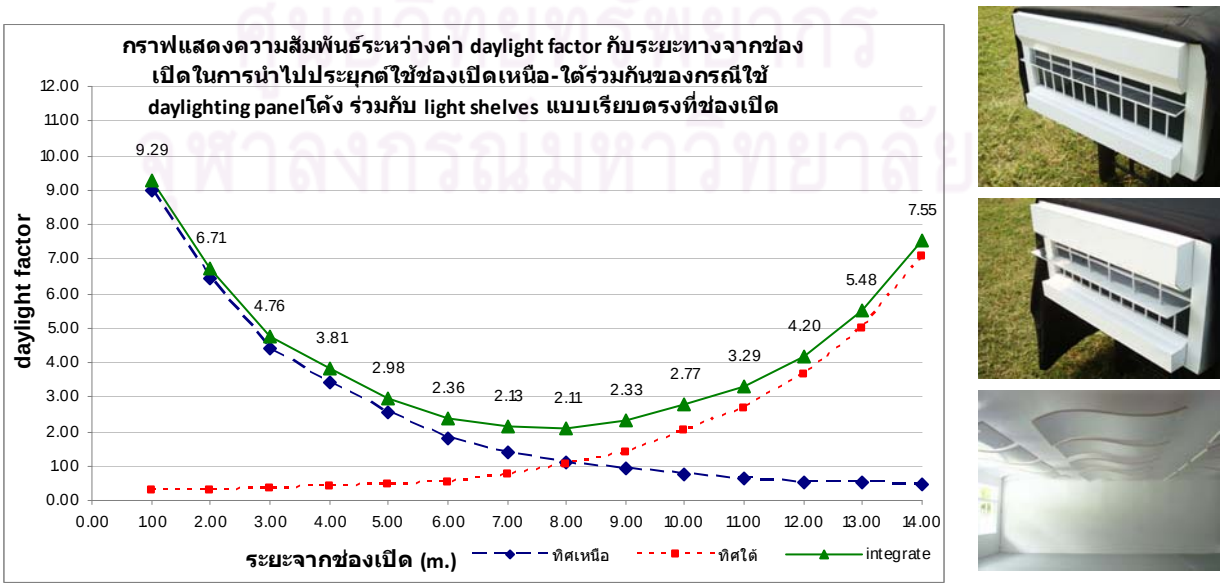


ภาพที่ 6.3 แสดงรูปแบบช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ที่มีการใช้ light shelvesแบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว

หากพิจารณาจากผลการทดลองจะพบว่าการใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)นั้นสามารถนำแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) เข้ามาทางทิศเหนือได้ระยะ 4.00 เมตร และทางทิศใต้ได้ระยะ 3.20 เมตรตามลำดับ เมื่อผสานค่า daylight factor ที่วัดได้จากช่องเปิดเหนือและทิศใต้เข้าด้วยกัน ทำให้สามารถกำหนดขนาดห้องที่เหมาะสมต่อการใช้งานได้ที่ระยะประมาณ 10.00 เมตร จะทำให้มีค่าความส่องสว่างภายในที่ทุกระยะจากช่องเปิดเพียงพอต่อเกณฑ์มาตรฐาน 2%DF

6.2.2 ขนาดห้องที่เหมาะสมของกรณีที่ใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบเรียบตรง ทั้งทิศเหนือ-ใต้ ภายในห้องเดียวกัน

แผนภูมิที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ -ใต้ร่วมกันของกรณีใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบเรียบตรง

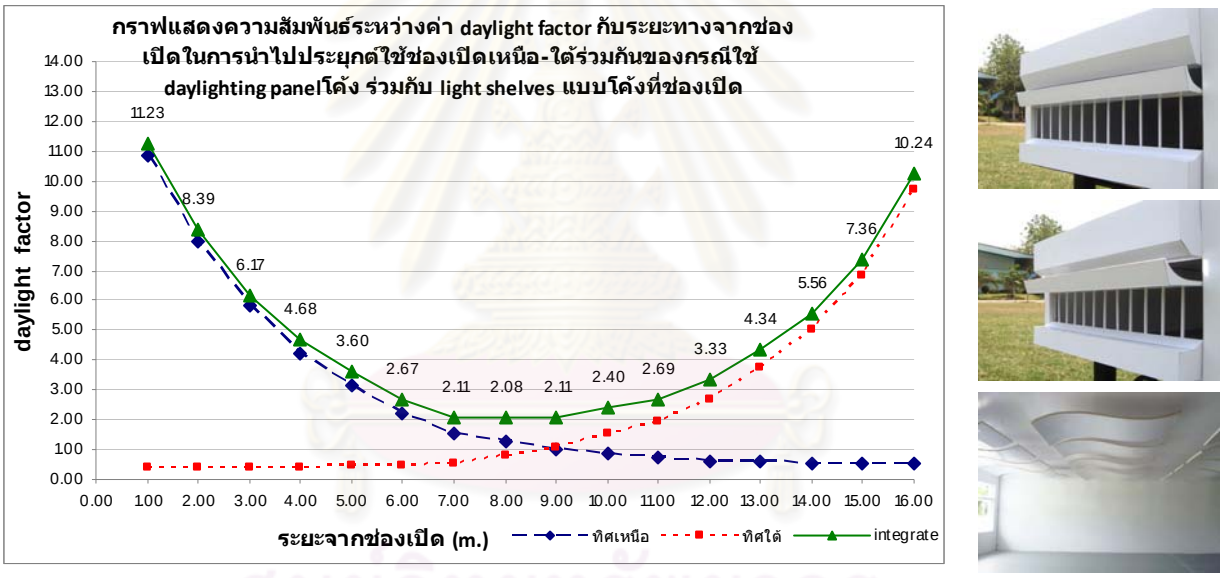


ภาพที่ 6.4 แสดงรูปแบบช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ที่มีการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบเรียบตรง

หากพิจารณาจากผลการทดลองจะพบว่าการใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบเรียบตรงนั้นสามารถนำแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) เข้ามาทางทิศเหนือได้ระยะ 5.70 เมตร และทางทิศใต้ได้ระยะ 5.00 เมตรตามลำดับ เมื่อผสานค่า daylight factor ที่วัดได้จากช่องเปิดเหนือและทิศใต้เข้าด้วยกัน ทำให้สามารถกำหนดขนาดห้องที่เหมาะสมต่อการใช้งานได้ที่ระยะประมาณ 14.00 เมตร จะทำให้มีค่าความส่องสว่างภายในที่ทุกระยะจากช่องเปิดเพียงพอต่อเกณฑ์มาตรฐาน 2%DF

6.2.3 ขนาดห้องที่เหมาะสมของกรณีที่ใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบโค้ง ทั้งทิศเหนือ-ใต้ ภายในห้องเดียวกัน

แผนภูมิที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ -ใต้ร่วมกันของกรณีใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอน ร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบโค้ง



ภาพที่ 6.5 แสดงรูปแบบช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ที่มีการใช้ interior daylighting panels โค้งร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบโค้ง

หากพิจารณาจากผลการทดลองจะพบว่าการใช้ interior daylighting panels โค้งระนาบนอนร่วมกับ light shelves ที่ช่องเปิดแบบโค้งนั้นสามารถนำแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) เข้ามาทางทิศเหนือได้ระยะ 6.30เมตร และทางทิศใต้ได้ระยะ 5.80 เมตรตามลำดับ เมื่อผสานค่า daylight factor ที่วัดได้จากช่องเปิดเหนือและทิศใต้เข้าด้วยกัน ทำให้สามารถกำหนดขนาดห้องที่เหมาะสมต่อการใช้งานได้ที่ระยะประมาณ 16.00 เมตร จะทำให้มีค่าความส่องสว่างภายในที่ทุกระยะจากช่องเปิดเพียงพอต่อเกณฑ์มาตรฐาน 2%DF

6.3 ข้อเสนอแนะ

ในการนำผลการทดลองไปใช้งานจริง เพื่อประสิทธิภาพในการเพิ่มความส่องสว่างด้วย daylighting panels ให้มีการคำนึงถึงออกแบบการจัดวางพื้นที่ทำงานที่แน่นอนควบคู่กับตำแหน่งในการติดตั้ง daylighting panels ที่เหมาะสม มีส่วนช่วยให้ได้รับประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความส่องสว่างบนระนาบทำงานเต็มที่

นอกจากนี้ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษายังสามารถเสนอแนะในด้านของข้อจำกัดในงานวิจัยและแนวทางการวิจัยในอนาคตได้ดังนี้

6.3.1 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1) การศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการทดลองด้วยหุ่นจำลอง ภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้จากความไม่สม่ำเสมอของแสงสว่างธรรมชาติ หากมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประมวลผลทดสอบร่วม น่าจะสามารถสร้างความถูกต้องแม่นยำให้กับการทดลองลักษณะนี้ได้ดียิ่งขึ้น

2) อุปกรณ์ในการวัดค่าความส่องสว่าง(illuminance meter DX - 200)ที่ใช้ อาจให้ค่าที่คลาดเคลื่อนอันเป็นผลมาจาก เสถียรภาพของตัวอุปกรณ์เอง หรือ ประสิทธิภาพของถ่านไฟฟ้าที่ลดลงกรณีใช้งานติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จึงควรมีการตรวจสอบค่าที่วัดได้และประสิทธิภาพของถ่านไฟฟ้าในระหว่างการทดลองอยู่เสมอ

3) วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยเป็นการจำลองให้มีค่าใกล้เคียงวัสดุจริงมากที่สุดจากการดูคุณสมบัติพื้นผิว และวัดค่าการสะท้อนแสง แต่อาจยังมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวัสดุในการทดลองกับวัสดุที่นำไปใช้ในงานจริงยังคงไม่ใช่ตัวเดียวกัน การคิดค้นพัฒนาวัสดุใหม่ๆมาใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับแสง สามารถสร้างความถูกต้องแม่นยำของการทดลองได้ดียิ่งขึ้น

6.3.2 แนวทางในการวิจัยในอนาคต

1) จากข้อสรุปในงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึง รูปแบบ พื้นผิว และระดับของ interior daylighting panels ที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในอาคาร ดังนั้นหากค้นพบว่า daylighting panels รูปแบบโค้ง วัสดุ spread reflect มีประสิทธิภาพในการสะท้อนเกลี่ยแสงได้ดี แล้วมีความต้องการศึกษาใช้กับห้องที่มีความสูง 2.75 เมตร ก็สามารถนำแนวคิดไปพัฒนาการศึกษารวม daylighting panels เข้ากับฝ้าเพดานในการออกแบบฝ้าให้เป็นลักษณะโค้งได้

2) คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในการวิจัย ใช้ค่า transmittance ของกระจกใสเพราะต้องการเสนอผลการทดลองขั้นต้นของแนวคิดนี้เพื่อนำไปใช้กับอาคารที่มีการใช้แสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้างลักษณะเดียวกัน หากมีการนำไปศึกษาใช้ร่วมกับอาคารที่มีการเจาะจงประเภทอาคารที่แน่นอนให้คำนึงถึงชนิดของกระจกที่นิยมใช้จริงในอาคารประเภทนั้นๆ เช่น อาคารสำนักงานกับกระจก tint สีเขียว

3) งานวิจัยนี้ให้ผลการทดสอบเกี่ยวกับ ประสิทธิภาพของ interior daylighting panels ในปริมาณเท่านั้น ยังคงขาดการทดสอบในเชิงคุณภาพเกี่ยวกับการพัฒนาควบคู่กับสภาวะน่าสบายทางสายตาของผู้ใช้อาคารนั้น เช่น การพัฒนาใช้ interior daylighting panels กับห้องที่มีม่านปรับแสง,การพัฒนาใช้ interior daylighting panels ที่คำนึงถึงโอกาสในการเกิดแสงบาดตาประกอบ

4) การศึกษานี้ยังเป็นการเสนอแนวคิดเพียงความคิดขั้นต้นที่ใช้หุ่นจำลองในการทดสอบสมมุติฐานเท่านั้น หากมีโอกาสในการพัฒนานำไปศึกษาประกอบอาคารจริงร่วมกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทดสอบ การพัฒนาวัสดุที่ดี และลงลึกในรายละเอียด เช่น การพัฒนาดวงโคมลักษณะพิเศษและรายละเอียดในการติดตั้งเพื่อนำมาใช้กับ interior daylighting panels ก็จะนำมาซึ่งความรู้และผลการทดลองที่มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้จริงมากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คมกฤช ชูเกียรติมั่น. การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร:กรณีศึกษาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง. พิมพ์ครั้งที่4. กรุงเทพ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

ชำนาญ ห่อเกียรติ . เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

ชัยวัฒน์ มุติศานต์. ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2548.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน . พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด(มหาชน), 2539.

ธนิต จินดาวณิค . การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

พรรณชลัท สุริโยธิน. วัสดุและการก่อสร้าง:หลอดไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

พิบูลย์ ดิษฐอุดม. การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ : เอช-เอน การพิมพ์ , 2535.

วิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ. รูปแบบของช่องเปิดด้านข้างเพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ภาษาอังกฤษ

Majoros,A. Daylighting. Brisbane : The University of queenland Printery, 1998.

Robbins,C.L. Daylighting Design & Analysis. New York : Van Nostrand Reinhold Co., 1986.

Evans, B. H. Daylight in Architecture. New York : McGraw-Hill Book Co., 1981.

Moore,F. Concepts and Practice of Architectural Daylighting. New York : Van Nostrand reinhold, 1985.

Anders,G.D. Daylighting Performance and Design. New York : Van Nostrand Reinhold, 1995.

Egan, M. D., and Olgyay, V. W. Architectural Lighting. New York : McGraw-Hill, 2002.

Kaufman, J. E. IES LIGHTING HANDBOOK 1981 Reference Volume .New York : Illuminating Engineering Society of North America , 1981.

Lechner, N. Heating ,Cooling , Lighting; Design Method for Architects. 2nd ed. New York : John Wiley& Sons, 2001.

Stein, B., and Reynolds, J. S. Mechanical and Electrical Equipment for building. 8th Edition. New York : John Wiley&Sons, 1992.

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

The Lighting Industry Federation. Interior Lighting Design Handbook. London : The Lighting Industry Federation, 1967.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

แหล่งที่มาของสมการ

ลำดับที่ และที่มา **สมการ** **ความหมาย**

(2.1) 1 = Absorptance + Reflectance+Transmittance…..Stein and Reynolds,1992 : 912-914

(2.2) n1 sin Ø1 = n2 sin Ø 2.....

(2.3) $E = I / D^2$…….... Kaufman,1981

(2.4) L = P x E/¶……

(2.5) Contrast = I Lf –Lb I / Lb……..…ชำนาญ , 2540

(2.6) FL = Fc x P…….…… Stein and Reynolds,1992 : 937

(2.7) EH = 1345+14,795 sin A (lux)……..…Moon and Hopkinson,1968

(2.8) log EH = 4.466+0.31 log A (lux)..... Moon and Hopkinson,1968

(2.9) Ehp = 570 A…… Krochman,1968

(2.10) EH = 0.35 Es + 0.89 Ec……..…….....Elvegard and Sjostedt ,1940

(2.11) LA = Lz (1+2 sin A) /3……. Stein and Reynolds,1992

(2.12) Lz = 123+8600 sin A (cd/sqm)……..…….…….. Krochman and Sidel,1968

(2.13) EH = 300+21,000 sin A (lux)…….……Krochman,1968

(2.14) $E_{ap} = E_{ev} * A_g * T_g * CU$……..Griffith,1957

(2.15) %DF = (Ein x dirt factor x glazing transmittance) x 100 ……Stein and Reynolds,1992
Eext

(2.16) E = N x L x MF x CU / A……..……ชำนาญ, 2540

(2.17) RCR = 5 x H x (L+W) / (L x W)…….....พิบูลย์,2521

(2.18) K= (L x W) / (L x W).....ชำนาญ, 2540 : 4-1

(2.19) Total watt of lamp = illuminance x Area……..…..…. Kaufman,1981
Efficacy x (CU x LLF)

(2.20) LLF = RSDD x LDD x LSD x LLD x BF x LAT x VLF x LBO……ชำนาญ , 2540

(2.21) Heat gain from artificial light (Btu/hr.) = total (Watt) x UF(0.8) x 3.4 Btu/watt-hr…….ธนิต,2540

(2.22) Lighting Energy load (kW) = total connected lighting (Watt) x No.of hours /1000.....ธนิต,2540

(2.23) L = (E x A) / [CU x (LLD x LDD)]……..…. Kaufman,1981

(5.1) E_{in} = (%DF x E_{ext}) / 100……....Stein and Reynolds,1992

(5.2) (Ein ที่ต้องการเพิ่มตำแหน่งที่1 x 300 lx) +....+ (Ein ที่ต้องการเพิ่มตำแหน่งที่ n x 300 lx)
จำนวนตำแหน่งที่ต้องการความส่องสว่างเพิ่ม x 300 lx.....คมกฤช , 2540 : 119

(5.3) Efficacy = lumen/watt..... Kaufman,1981

(5.4) CCR = $[5H_{CC} (W+L)] / W xL$……..…. Kaufman,1981

(5.5) RCR = $[5H_{RC} (W+L)] / W xL$……..…... Kaufman,1981

(5.6) FCR = $[5H_{FC} (W+L)] / W xL$…….…… Kaufman,1981

(5.7) ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ (LLD) = ค่าปริมาณแสงเฉลี่ย (mean lumen output).....Kaufman,1981
ค่าปริมาณแสงเมื่อเริ่มใช้งาน (initial lumen output)

(5.8) Total energy consumption = total watt of lamp (1+ watt of ballast loss) .คมกฤช , 2540 : 120
watt of lamp

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้อง วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่างๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ

Date	Solar Time	Solar Position		Profile (Shadow Line) Angles															HOR	Solar Position		Solar Time
	Time	ALT	AZ	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		AZ	ALT	Time
	7	8	63			23	11	9	8	8	10	17	62							82	63	8	7
	8	20	58			59	33	24	21	21	25	35	66							70	58	20	8
	9	32	50			82	54	39	33	33	36	44	64							58	50	32	9
	10	43	38				74	56	46	43	44	49	62	83						48	38	43	10
	11	50	22					73	59	53	50	52	59	72						40	22	50	11
DEC	12	53	0					90	74	62	55	53	55	62	74					37	0	53	12
	13	50	22									52	50	53	59	73				40	22	50	13
	14	43	38									49	44	43	45	56	74			48	38	43	14
	15	32	50									44	36	32	33	39	54	82		58	50	32	15
	16	20	58									35	25	21	21	24	33	59		70	58	20	16
	17	8	63									17	10	8	8	9	11	23		82	63	8	17
	7	9	67			23	12	10	9	10	12	21								81	67	9	7
	8	22	62			55	33	25	22	23	27	40	75							68	62	22	8
	9	34	53			78	53	40	35	34	39	49	70							56	53	34	9
	10	45	42				72	57	46	45	47	53	66							46	42	45	10
JAN	11	53	24				89	73	61	55	53	55	62	75						37	24	53	11
+	12	56	0					90	75	65	58	56	58	65	75					34	0	56	12
NOV	13	53	24									55	53	55	61	73	89			37	24	53	13
	14	45	42									53	47	45	46	57	72			46	42	45	14
	15	34	53									49	39	34	35	40	53	78		56	53	34	15
	16	22	62									40	27	23	22	25	33	55		68	62	22	16
	17	9	67									21	12	10	9	10	12	23		81	67	9	17
	7	12	76		56	22	15	12	12	14	19	40								79	76	12	7
	8	26	71		84	48	33	27	26	26	35	55								65	71	26	8
	9	39	64			69	51	43	39	40	47	61								51	64	39	9
	10	51	52			85	69	58	52	51	55	64	78							39	52	51	10
FEB	11	61	32				85	74	68	62	62	65	72	83						29	32	61	11
+	12	65	0					90	80	72	67	65	67	72	80					25	0	65	12
OCT	13	61	32									65	62	62	66	74	85			29	32	61	13
	14	51	52									64	55	51	52	58	69	85		39	52	51	14
	15	39	64									61	47	40	39	43	51	69		51	64	39	15
	16	26	71									56	35	28	26	27	33	48	64	65	71	26	16
	17	12	76									40	19	14	12	12	15	22	56	79	76	12	17
	7	14	87		39	21	16	14	15	19	31	76								76	87	14	7
	8	29	82		66	43	33	29	30	35	47	76								61	82	29	8
	9	43	77		81	61	50	44	44	48	58	76								47	77	43	9
	10	57	67			76	66	59	57	59	66	76								33	67	57	10
MAR	11	69	49				81	74	71	70	72	76	83							21	49	69	11
+	12	76	0					90	85	80	77	76	77	80	85					14	0	76	12
SEP	13	69	49									76	72	70	71	74	81			21	49	69	13
	14	57	67									76	66	59	57	59	69	76		33	67	57	14
	15	43	77									76	58	48	44	44	50	61	81	47	77	43	15
	16	29	82									76	47	35	30	29	33	43	66	61	82	25	16
	17	14	87									76	31	19	15	14	16	21	39	76	87	14	17
	6	3	101	14	5	4	3	3	4	5	14									87	101	3	6
	7	17	98	66	31	22	18	18	20	27	51									73	98	17	7
	8	32	95	82	53	39	33	32	35	44	64									58	95	32	8
	9	46	92	88	68	55	48	46	49	57	72									44	92	48	9
APR	10	61	89		78	69	63	61	63	68	78									29	89	61	10
+	11	75	83		88	81	77	75	78	78	83									15	83	75	11
AUG	12	86	0					90	66	65	65	65	65	65	66	90				4	0	86	12
	13	75	83										83	78	76	75	77	81	88	15	83	75	13
	14	61	89										78	68	63	61	63	69	78	29	89	61	14
	15	46	92	88									72	57	49	46	48	55	66	41	92	46	15
	16	32	95	82									64	44	35	32	33	39	53	58	95	32	16
	17	17	98	66									51	27	20	18	18	22	31	73	98	17	17
	18	3	101	14									14	5	4	3	3	4	5	87	101	3	18
	6	5	109	14	7	5	5	5	6	11	56									86	109	5	6
	7	19	107	49	28	21	19	20	24	36	73									72	107	19	7
	8	33	105	66	47	36	33	34	39	52	79									58	105	33	8
	9	47	104	77	61	51	47	48	53	64	83									44	104	47	9
MAY	10	61	106	81	71	64	61	62	67	75										30	106	61	10
+	11	74	114	83	78	76	74	76	80	85										16	114	74	11
JUL	12	84	160	84	84	86	87	89								89	87	86	84	6	180	84	12
	13	74	114	83										65	60	76	74	76	76	16	114	74	13
	14	61	106	81										75	67	62	61	64	71	30	106	61	14
	15	47	104	77									83	84	53	48	47	51	61	44	104	47	15
	16	33	105	66									79	52	39	34	33	36	47	56	105	33	16
	17	19	107	49									73	36	24	20	19	21	28	72	107	19	17
	18	5	109	14									56	11	6	5	5	5	7	86	109	5	18
	6	5	113	14	8	6	5	6	6	14										85	113	5	6
	7	19	111	45	27	21	19	20	25	40	84									71	111	19	7
	8	33	109	63	45	36	33	35	41	56										58	109	33	8
	9	46	109	72	58	50	46	49	55	68										44	109	46	9
	10	60	113	77	68	62	60	62	66	76										30	113	60	10
JUN	11	73	125	80	75	74	73	76	81											17	125	73	11
	12	81	180	81	81	84	86	90								90	86	84	81	9	180	81	12
	13	73	125	80											81	76	73	74	75	17	125	73	13
	14	60	113	77										78	66	62	60	62	68	30	113	60	14
	15	46	109	72										66	55	49	46	50	58	44	109	46	15
	16	33	109	63										56	41	35	33	36	45	58	109	33	16
	17	19	111	45									84	40	25	20	19	21	27	71	111	19	17
	18	5	113	14										14	8	6	5	6	6	85	113	5	18
Date	Time	ALT	AZ	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	HOR	AZ	ALT	Time

Suntab.xls; 14N

ภาคผนวก ค.

แสดงข้อมูลค่า Daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลอง

โดยค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากการทดลอง (lux) จะนำมาคิดเป็นค่า daylight factor(%DF) จากสูตร

$$\%DF = \frac{(Ein \times \text{dirt factor}(0.9) \times \text{glazing transmittance}(0.9))}{Eext} \times 100$$

ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลอง ของการศึกษากรณีใช้ light shelves แบบเรียบตรงที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว (base case)

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.1-ค.2

รูปแบบใช้ light shelves เรียบอย่างเดียว(base case) สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ - วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 14.03 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 14.12 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	68600.00	3399.25	3285.81	2947.86	3210.97	2600.89	3.79	65700.00	2776.51	2707.97	2345.09	2609.86	2113.99	3.22
B	2.00	68600.00	2494.93	2408.47	2056.63	2320.01	1879.21	2.74	65700.00	1933.22	1932.74	1678.49	1848.15	1497.00	2.28
C	3.00	68500.00	1821.70	1626.85	1646.27	1698.27	1375.60	2.01	65100.00	1260.81	1258.44	1237.24	1252.16	1014.25	1.56
D	4.00	67200.00	1101.30	1212.01	1151.23	1154.85	935.43	1.39	65000.00	789.94	899.13	886.08	858.38	695.29	1.07
E	5.00	66700.00	742.62	817.77	804.66	788.35	638.56	0.96	64700.00	585.56	654.05	650.95	630.18	510.45	0.79
F	6.00	67500.00	525.85	573.78	575.23	558.28	452.21	0.67	64700.00	437.61	479.74	475.96	464.44	376.20	0.58
G	7.00	68100.00	405.81	438.22	442.03	428.69	347.24	0.51	64400.00	335.07	361.39	359.03	351.84	284.99	0.44
H	8.00	68000.00	316.56	337.89	343.97	332.81	269.57	0.40	64100.00	264.59	281.35	277.73	274.56	222.39	0.35
I	9.00	67600.00	247.66	268.02	275.60	263.76	213.65	0.32	63700.00	227.44	239.72	237.93	235.03	190.37	0.30
J	10.00	67400.00	193.33	207.07	212.51	204.30	165.49	0.25	63300.00	175.14	182.08	180.47	179.23	145.18	0.23
K	11.00	67000.00	169.60	179.51	184.95	178.02	144.19	0.22	62600.00	150.07	157.34	156.89	154.77	125.36	0.20
L	12.00	66900.00	155.65	163.57	167.51	162.24	131.42	0.20	62600.00	132.92	137.17	137.88	135.99	110.15	0.18
M	13.00	66800.00	140.22	147.42	150.40	146.01	118.27	0.18	62400.00	126.42	129.86	128.86	128.38	103.99	0.17
N	14.00	66600.00	124.84	131.23	133.84	129.97	105.28	0.16	62100.00	104.87	154.84	107.38	122.36	99.11	0.16
O	15.00	66900.00	137.77	146.66	148.10	144.18	116.78	0.17	62000.00	129.00	131.99	130.99	130.66	105.83	0.17

รูปแบบใช้ light shelves เรียบอย่างเดียว(base case) สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ - วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.42 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.35 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	10500.00	825.62	915.75	872.49	871.29	705.74	6.72	9920.00	538.88	586.32	589.43	571.55	462.96	4.67
B	2.00	10520.00	544.58	615.30	578.17	579.35	469.27	4.46	9930.00	338.84	382.10	381.73	367.56	297.72	3.00
C	3.00	10520.00	363.99	409.49	387.58	387.02	313.49	2.98	9930.00	240.49	268.81	270.28	259.86	210.49	2.12
D	4.00	10540.00	242.75	276.29	276.45	265.16	214.78	2.04	9930.00	162.45	177.55	177.20	172.40	139.64	1.41
E	5.00	10570.00	164.41	192.01	199.62	185.35	150.13	1.42	9940.00	117.42	126.02	124.65	122.70	99.38	1.00
F	6.00	10610.00	122.84	140.86	145.18	136.29	110.39	1.04	9950.00	85.25	91.28	90.31	88.95	72.05	0.72
G	7.00	10640.00	100.87	113.89	117.76	110.84	89.78	0.84	9950.00	66.49	70.81	70.16	69.15	56.01	0.56
H	8.00	10660.00	76.92	85.55	88.77	83.75	67.84	0.64	9960.00	47.05	50.46	51.05	49.52	40.11	0.40
I	9.00	10690.00	61.61	67.29	69.55	66.15	53.58	0.50	9970.00	43.15	44.39	47.08	44.87	36.34	0.36
J	10.00	10720.00	53.57	57.77	59.65	57.00	46.17	0.43	9980.00	35.60	37.49	38.47	37.19	30.12	0.30
K	11.00	10720.00	50.01	52.93	54.93	52.62	42.62	0.40	9990.00	31.23	31.85	33.14	32.07	25.98	0.26
L	12.00	10750.00	40.29	42.33	44.11	42.24	34.21	0.32	9990.00	28.51	29.40	30.71	29.54	23.93	0.24
M	13.00	10780.00	37.55	38.88	40.47	38.97	31.57	0.29	10000.00	27.14	28.08	29.05	28.09	22.75	0.23
N	14.00	10710.00	34.74	35.37	36.87	35.66	28.88	0.27	10000.00	24.93	25.78	26.63	25.78	20.88	0.21
O	15.00	10740.00	32.46	32.81	34.54	33.27	26.95	0.25	10000.00	26.40	27.29	27.85	27.18	22.01	0.22

ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษาตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel ที่ระดับ 2.50 m

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.3-ค.4

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 02/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.48 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 13.20 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	31100.00	2113.35	1980.00	1876.88	1990.08	1611.96	5.18	74800.00	3715.25	3620.00	3123.12	3486.12	2823.76	3.78
B	2.00	31200.00	1213.01	1348.00	1296.30	1285.77	1041.47	3.34	74800.00	2518.65	2910.00	2612.61	2680.42	2171.14	2.90
C	3.00	31200.00	825.08	906.00	869.87	866.98	702.25	2.25	75000.00	1708.05	1690.00	1639.64	1679.23	1360.18	1.81
D	4.00	31300.00	564.53	600.00	573.57	579.37	469.29	1.50	73800.00	1063.43	1189.00	1168.17	1140.20	923.56	1.25
E	5.00	31400.00	400.48	428.00	406.41	411.63	333.42	1.06	74000.00	791.30	872.00	864.86	842.72	682.60	0.92
F	6.00	31300.00	296.26	322.00	309.31	309.19	250.44	0.80	74200.00	606.99	698.00	658.66	654.55	530.18	0.71
G	7.00	31600.00	221.95	238.00	234.23	231.39	187.43	0.59	74500.00	474.78	511.00	515.52	500.43	405.35	0.54
H	8.00	31600.00	171.77	186.00	185.19	180.99	146.60	0.46	74800.00	377.32	402.00	408.41	395.91	320.69	0.43
I	9.00	31500.00	133.17	144.80	152.55	143.51	116.24	0.37	74800.00	296.26	308.00	309.31	304.52	246.66	0.33
J	10.00	31500.00	112.04	119.00	124.92	118.65	96.11	0.31	74400.00	260.55	273.00	275.28	269.61	218.38	0.29
K	11.00	31700.00	98.62	103.90	108.61	103.71	84.01	0.27	74300.00	212.30	222.00	224.22	219.51	177.80	0.24
L	12.00	31900.00	88.78	93.00	98.40	93.39	75.65	0.24	74200.00	186.25	194.00	195.20	191.81	155.37	0.21
M	13.00	32000.00	85.98	88.90	94.09	89.66	72.62	0.23	74300.00	179.49	185.00	186.19	183.56	148.68	0.20
N	14.00	32000.00	88.01	91.30	96.20	91.83	74.39	0.23	73900.00	191.07	198.00	199.20	196.09	158.83	0.21
O	15.00	32100.00	96.69	99.30	103.50	99.83	80.86	0.25	73800.00	207.48	216.00	218.22	213.90	173.26	0.23

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.11 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.19 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	22400.00	2590.00	2050.00	2030.00	2223.33	1800.90	8.04	25200.00	1650.00	1609.00	1630.00	1629.67	1320.03	5.24
B	2.00	22500.00	1700.00	1536.00	1534.00	1590.00	1287.90	5.72	25300.00	1139.00	1163.00	1141.00	1147.67	929.61	3.67
C	3.00	22500.00	999.00	1044.00	1056.00	1033.00	836.73	3.72	25300.00	773.00	776.00	771.00	773.33	626.40	2.48
D	4.00	22600.00	700.00	723.00	739.00	720.67	583.74	2.58	25300.00	534.00	526.00	515.00	525.00	425.25	1.68
E	5.00	22600.00	499.35	521.92	531.73	517.67	419.31	1.86	25300.00	385.00	374.00	365.00	374.67	303.48	1.20
F	6.00	22700.00	511.37	348.46	357.17	405.67	328.59	1.45	25300.00	291.00	281.00	279.00	283.67	229.77	0.91
G	7.00	22700.00	298.00	305.00	315.00	306.00	247.86	1.09	25400.00	222.00	215.00	212.00	216.33	175.23	0.69
H	8.00	22800.00	201.49	352.82	210.69	255.00	206.55	0.91	25400.00	173.00	166.00	174.50	171.17	138.65	0.55
I	9.00	22900.00	199.00	200.00	206.00	201.67	163.35	0.71	25400.00	135.20	132.30	141.70	136.40	110.48	0.43
J	10.00	22900.00	167.00	165.00	178.30	170.10	137.78	0.60	25500.00	113.40	111.20	119.50	114.70	92.91	0.36
K	11.00	23000.00	142.30	142.30	154.00	146.20	118.42	0.51	25600.00	98.90	96.60	104.60	100.03	81.03	0.32
L	12.00	23100.00	127.60	127.50	138.00	131.03	106.14	0.46	25600.00	90.60	88.50	95.50	91.53	74.14	0.29
M	13.00	23100.00	120.60	119.60	128.90	123.03	99.66	0.43	25700.00	88.60	86.70	92.60	89.30	72.33	0.28
N	14.00	23300.00	122.20	120.80	129.20	124.07	100.49	0.43	25700.00	91.60	90.30	95.40	92.43	74.87	0.29
O	15.00	24000.00	127.60	125.10	134.50	129.07	104.54	0.44	25800.00	98.20	96.50	101.00	98.57	79.84	0.31

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.5-ค.6

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 02/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.36 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 12.42 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	75400.00	4564.45	4150.00	3393.39	4035.95	3269.12	4.34	74600.00	3337.43	3167.03	3714.77	3406.41	2759.19	3.70
B	2.00	75600.00	3116.95	2990.00	2442.44	2849.80	2308.34	3.05	74200.00	2568.77	2541.93	2085.81	2398.84	1943.06	2.62
C	3.00	76100.00	2208.58	2213.83	2042.61	2155.00	1745.55	2.29	73900.00	1849.45	1810.64	1737.20	1799.10	1457.27	1.97
D	4.00	76000.00	1759.79	1738.67	1623.62	1707.36	1382.96	1.82	73900.00	1208.15	1327.91	1297.75	1277.94	1035.13	1.40
E	5.00	76100.00	1203.63	1358.73	1269.89	1277.42	1034.71	1.36	73900.00	944.79	1014.66	1005.65	988.37	800.58	1.08
F	6.00	76300.00	902.69	1015.03	962.14	959.95	777.56	1.02	73900.00	714.96	753.94	757.97	742.29	601.25	0.81
G	7.00	76000.00	700.33	781.20	746.13	742.56	601.47	0.79	74600.00	550.48	569.36	574.28	564.71	457.42	0.61
H	8.00	76500.00	577.17	637.58	614.26	609.67	493.83	0.65	74000.00	424.79	437.12	433.46	431.79	349.75	0.47
I	9.00	76600.00	460.58	498.08	489.32	482.66	390.95	0.51	74000.00	331.96	344.00	354.35	343.44	278.18	0.38
J	10.00	76600.00	346.44	367.00	356.36	356.60	288.84	0.38	73800.00	283.71	295.00	305.31	294.67	238.68	0.32
K	11.00	76500.00	297.22	315.00	308.31	306.84	248.54	0.32	73900.00	249.94	260.00	267.27	259.07	209.84	0.28
L	12.00	76700.00	271.17	284.00	280.28	278.48	225.57	0.29	74000.00	217.13	224.00	227.23	222.78	180.46	0.24
M	13.00	76600.00	264.41	276.00	272.27	270.89	219.42	0.29	74000.00	203.62	210.00	214.21	209.28	169.51	0.23
N	14.00	76600.00	265.38	276.00	274.27	271.88	220.23	0.29	73900.00	201.69	218.00	212.21	210.63	170.61	0.23
O	15.00	76600.00	267.31	274.00	274.27	271.86	220.21	0.29	73700.00	218.09	222.00	224.22	221.44	179.36	0.24

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.35 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.21 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	10390.00	962.14	906.98	871.07	913.40	739.85	7.12	11160.00	656.00	637.00	644.00	645.67	522.99	4.69
B	2.00	10390.00	641.27	653.51	603.33	632.70	512.49	4.93	11230.00	446.61	473.98	467.41	462.67	374.76	3.34
C	3.00	10410.00	466.06	485.64	455.06	468.92	379.82	3.65	11260.00	330.00	346.00	346.00	340.67	275.94	2.45
D	4.00	10430.00	348.14	346.81	341.45	345.47	279.83	2.68	11300.00	252.00	261.00	259.00	257.33	208.44	1.84
E	5.00	10490.00	254.79	252.14	245.50	250.80	203.15	1.94	11350.00	192.32	183.37	192.21	189.30	153.33	1.35
F	6.00	10490.00	209.76	202.92	211.34	208.01	168.49	1.61	11480.00	142.39	139.25	145.76	142.47	115.40	1.01
G	7.00	10490.00	157.68	156.28	163.68	159.22	128.97	1.23	11700.00	105.12	103.24	109.54	105.97	85.84	0.73
H	8.00	10500.00	124.68	123.49	129.19	125.78	101.88	0.97	11550.00	79.50	78.80	85.50	81.27	65.83	0.57
I	9.00	10510.00	104.43	103.22	111.03	106.23	86.05	0.82	11620.00	66.10	66.60	74.30	69.00	55.89	0.48
J	10.00	10500.00	90.23	89.74	93.52	91.16	73.84	0.70	11600.00	57.90	57.20	61.80	58.97	47.76	0.41
K	11.00	10500.00	75.33	73.26	77.53	75.37	61.05	0.58	11700.00	49.70	49.90	54.30	51.30	41.55	0.36
L	12.00	10500.00	68.13	67.03	70.33	68.49	55.48	0.53	11830.00	48.70	47.90	51.20	49.27	39.91	0.34
M	13.00	10500.00	64.83	64.59	68.01	65.81	53.30	0.51	13730.00	57.10	56.30	59.40	57.60	46.66	0.34
N	14.00	10500.00	64.34	63.85	67.15	65.12	52.74	0.50	14730.00	60.20	59.70	62.10	60.67	49.14	0.33
O	15.00	10490.00	68.39	68.63	70.58	69.20	56.05	0.53	14280.00	70.80	69.50	67.50	69.27	56.11	0.39

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.7-ค.8

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 02/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 11.51 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 11.20 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	62400.00	3530.08	3380.72	2854.79	3255.20	2636.71	4.23	72400.00	3338.90	3190.00	2722.72	3083.87	2497.94	3.45
B	2.00	62400.00	2663.40	2170.00	1131.13	1988.18	1610.42	2.58	72300.00	2335.30	2250.00	1891.89	2159.06	1748.84	2.42
C	3.00	62400.00	1457.67	1485.64	1449.74	1464.35	1186.12	1.90	72300.00	1505.40	1470.00	1421.42	1465.61	1187.14	1.64
D	4.00	62400.00	991.06	1130.00	1093.09	1071.38	867.82	1.39	72300.00	963.07	1056.00	1011.01	1010.03	818.12	1.13
E	5.00	62100.00	698.66	775.00	739.74	737.80	597.62	0.96	72300.00	743.05	799.00	766.77	769.61	623.38	0.86
F	6.00	61500.00	509.52	565.00	528.53	534.35	432.82	0.70	72300.00	553.91	560.00	568.57	560.83	454.27	0.63
G	7.00	61100.00	394.69	434.00	413.41	414.03	335.37	0.55	72400.00	443.90	463.00	469.47	458.79	371.62	0.51
H	8.00	61000.00	303.98	310.00	338.34	317.44	257.12	0.42	72300.00	363.81	378.00	387.39	376.40	304.88	0.42
I	9.00	61300.00	238.36	257.00	252.25	249.20	201.85	0.33	72400.00	284.68	291.00	285.29	286.99	232.46	0.32
J	10.00	61600.00	203.62	213.00	210.21	208.94	169.24	0.27	72900.00	236.43	240.00	235.24	237.22	192.15	0.26
K	11.00	61700.00	176.60	184.00	190.69	183.76	148.85	0.24	73000.00	207.48	219.00	217.22	214.56	173.80	0.24
L	12.00	61400.00	155.37	161.00	169.67	162.01	131.23	0.21	73100.00	172.74	173.00	181.58	175.77	142.38	0.19
M	13.00	61200.00	147.65	150.40	158.66	152.23	123.31	0.20	73000.00	169.84	170.00	176.68	172.17	139.46	0.19
N	14.00	60900.00	150.54	152.30	158.46	153.77	124.55	0.20	73300.00	177.56	174.00	178.88	176.81	143.22	0.20
O	15.00	61400.00	169.84	169.20	165.47	168.17	136.22	0.22	73400.00	183.35	191.00	189.19	187.85	152.16	0.21

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.50 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.30 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	11210.00	892.52	963.92	947.26	934.56	757.00	6.75	9492.00	605.69	667.88	669.80	647.79	524.71	5.53
B	2.00	11220.00	596.66	646.58	618.05	620.43	502.55	4.48	9497.00	381.02	434.37	436.27	417.22	337.95	3.56
C	3.00	11230.00	401.24	436.85	437.80	425.30	344.49	3.07	9498.00	242.68	278.85	287.41	269.65	218.42	2.30
D	4.00	11230.00	273.98	302.00	308.65	294.88	238.85	2.13	9500.00	158.65	177.65	178.60	171.63	139.02	1.46
E	5.00	11240.00	197.77	214.37	223.14	211.76	171.52	1.53	9503.00	112.75	121.27	121.27	118.43	95.93	1.01
F	6.00	11260.00	139.80	154.00	161.80	151.87	123.01	1.09	9507.00	82.14	88.74	88.74	86.54	70.10	0.74
G	7.00	11260.00	117.80	118.75	125.37	120.64	97.72	0.87	9510.00	60.26	65.91	64.97	63.71	51.61	0.54
H	8.00	11260.00	85.87	93.20	98.64	92.57	74.98	0.67	9518.00	44.88	48.62	48.62	47.37	38.37	0.40
I	9.00	11280.00	67.73	72.21	76.93	72.29	58.55	0.52	9525.00	36.24	37.17	38.10	37.17	30.11	0.32
J	10.00	11290.00	57.04	60.10	63.64	60.26	48.81	0.43	9533.00	29.53	30.45	31.38	30.45	24.67	0.26
K	11.00	11300.00	49.20	50.38	53.68	51.09	41.38	0.37	9541.00	25.66	25.66	27.50	26.27	21.28	0.22
L	12.00	11320.00	39.93	41.10	43.45	41.49	33.61	0.30	9549.00	22.76	23.67	24.58	23.67	19.17	0.20
M	13.00	11330.00	39.64	40.11	42.22	40.66	32.93	0.29	9559.00	21.66	22.57	22.57	22.27	18.03	0.19
N	14.00	11330.00	40.35	39.88	41.75	40.66	32.93	0.29	9576.00	23.14	23.14	24.03	23.44	18.98	0.20
O	15.00	11350.00	43.76	44.00	45.17	44.31	35.89	0.32	9593.00	28.09	28.09	28.09	28.09	22.75	0.24

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.9-ค.10

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 02/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.42 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.18 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	40900.00	3252.05	2940.00	2542.54	2911.53	2358.34	5.77	72700.00	4632.00	4190.00	3403.40	4075.13	3300.86	4.54
B	2.00	42700.00	2354.60	2180.00	1861.86	2132.15	1727.04	4.04	72700.00	3155.55	3040.00	2462.46	2886.00	2337.66	3.22
C	3.00	43200.00	1553.65	1449.00	1406.41	1469.69	1190.44	2.76	72600.00	2084.40	2070.00	1889.89	2014.76	1631.96	2.25
D	4.00	44100.00	930.26	999.00	982.98	970.75	786.31	1.78	72300.00	1592.25	1580.00	1455.45	1542.57	1249.48	1.73
E	5.00	44500.00	682.26	727.00	722.72	710.66	575.63	1.29	72600.00	1047.03	1180.00	1101.10	1109.38	898.59	1.24
F	6.00	44500.00	513.38	537.00	537.54	529.31	428.74	0.96	73000.00	802.88	900.00	852.85	851.91	690.05	0.95
G	7.00	44700.00	398.55	414.00	414.41	408.99	331.28	0.74	73600.00	635.94	706.00	672.67	671.54	543.94	0.74
H	8.00	45300.00	326.17	336.00	338.34	333.50	270.14	0.60	73600.00	505.66	557.00	533.53	532.06	430.97	0.59
I	9.00	45500.00	268.27	277.00	279.28	274.85	222.63	0.49	73600.00	411.09	451.00	437.44	433.18	350.87	0.48
J	10.00	45900.00	234.50	240.00	241.24	238.58	193.25	0.42	73500.00	356.09	382.00	370.37	369.49	299.28	0.41
K	11.00	46100.00	205.55	208.00	209.21	207.58	168.14	0.36	73500.00	312.66	332.00	322.32	322.33	261.09	0.36
L	12.00	46300.00	188.18	191.00	191.19	190.12	154.00	0.33	73700.00	285.64	300.00	293.29	292.98	237.31	0.32
M	13.00	46500.00	184.32	187.00	186.19	185.83	150.53	0.32	73700.00	275.03	287.00	283.28	281.77	228.23	0.31
N	14.00	46600.00	191.07	194.00	193.19	192.75	156.13	0.34	73800.00	277.92	290.00	287.29	285.07	230.91	0.31
O	15.00	47100.00	207.48	210.00	212.21	209.90	170.02	0.36	73400.00	275.03	285.00	285.29	281.77	228.23	0.31

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.45 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.53 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	11370.00	1240.00	1263.77	1216.23	1240.00	1004.40	8.83	27000.00	2460.00	2100.00	1850.00	2136.67	1730.70	6.41
B	2.00	11440.00	715.03	732.38	1030.88	826.10	669.14	5.85	26900.00	1510.00	1450.00	1407.00	1455.67	1179.09	4.38
C	3.00	11470.00	567.71	594.35	446.83	536.30	434.40	3.79	26800.00	935.44	997.81	1003.75	979.00	792.99	2.96
D	4.00	11500.00	369.37	392.12	388.21	383.23	310.42	2.70	27000.00	608.30	627.99	645.71	627.33	508.14	1.88
E	5.00	11520.00	258.21	272.42	280.23	270.29	218.93	1.90	26000.00	441.04	442.02	445.93	443.00	358.83	1.38
F	6.00	11550.00	203.73	207.90	215.85	209.16	169.42	1.47	27200.00	330.00	330.00	330.00	330.00	267.30	0.98
G	7.00	11580.00	152.27	158.66	167.31	159.41	129.12	1.12	26900.00	264.00	256.00	253.00	257.67	208.71	0.78
H	8.00	11610.00	121.70	122.45	131.41	125.18	101.40	0.87	26700.00	203.00	197.00	199.00	199.67	161.73	0.61
I	9.00	11640.00	101.57	101.57	105.65	102.93	83.37	0.72	26700.00	164.00	158.00	169.80	163.93	132.79	0.50
J	10.00	11660.00	84.87	81.92	86.34	84.38	68.34	0.59	26800.00	136.90	134.50	144.00	138.47	112.16	0.42
K	11.00	11690.00	69.63	60.47	71.83	67.31	54.52	0.47	27200.00	119.00	117.40	125.80	120.73	97.79	0.36
L	12.00	11710.00	65.30	64.93	66.03	65.42	52.99	0.45	26600.00	109.00	108.60	103.00	106.87	86.56	0.33
M	13.00	11730.00	55.20	53.38	55.20	54.59	44.22	0.38	26600.00	103.50	102.40	108.50	104.80	84.89	0.32
N	14.00	11760.00	51.95	51.22	53.03	52.07	42.17	0.36	26600.00	104.80	103.80	109.20	105.93	85.81	0.32
O	15.00	11720.00	53.30	53.30	55.78	54.13	43.84	0.37	26600.00	109.20	107.10	112.20	109.50	88.70	0.33

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.11-ค.12

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 02/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.56 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 11.05 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	43200.00	3126.60	2980.00	2382.38	2829.66	2292.02	5.31	69600.00	4834.65	4000.00	3833.83	4222.83	3420.49	4.91
B	2.00	45960.60	2164.35	2021.73	1776.06	1987.38	1609.78	3.50	69600.00	2736.83	3498.21	3037.79	3090.93	2503.65	3.60
C	3.00	46066.50	1518.26	1406.29	1240.50	1388.35	1124.56	2.44	69400.00	2439.19	2326.59	1983.89	2249.89	1822.41	2.63
D	4.00	46066.50	1018.55	1080.39	953.15	1017.36	824.06	1.79	69600.00	1582.60	1469.00	1400.40	1484.00	1202.04	1.73
E	5.00	45854.70	773.84	808.53	739.02	773.79	626.77	1.37	69700.00	919.65	988.00	999.00	968.88	784.79	1.13
F	6.00	45854.70	594.98	611.08	581.59	595.88	482.66	1.05	69700.00	713.14	719.00	731.73	721.29	584.24	0.84
G	7.00	45854.70	451.70	457.51	444.74	451.32	365.57	0.80	69700.00	572.25	583.00	596.60	583.95	473.00	0.68
H	8.00	45854.70	334.37	341.63	338.32	338.10	273.86	0.60	69400.00	393.72	403.00	414.41	403.71	327.01	0.47
I	9.00	45854.70	277.80	287.87	285.62	283.76	229.85	0.50	69400.00	325.21	331.00	339.34	331.85	268.80	0.39
J	10.00	45960.60	210.65	219.45	218.51	216.20	175.12	0.38	69600.00	273.10	272.00	280.28	275.13	222.85	0.32
K	11.00	46066.50	159.23	166.00	174.97	166.73	135.05	0.29	69700.00	219.06	226.00	227.23	224.09	181.52	0.26
L	12.00	46278.30	147.65	152.40	160.36	153.47	124.31	0.27	69600.00	192.04	195.00	261.26	216.10	175.04	0.25
M	13.00	46384.20	141.86	146.30	154.75	147.64	119.59	0.26	69600.00	191.07	189.00	196.20	192.09	155.59	0.22
N	14.00	46490.10	150.54	154.00	161.76	155.43	125.90	0.27	69100.00	185.28	189.00	187.19	187.16	151.60	0.22
O	15.00	46490.10	165.98	172.00	178.18	172.05	139.36	0.30	69100.00	174.67	178.00	185.19	179.28	145.22	0.21

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.22 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.59 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	25500.00	2684.21	2576.84	2218.95	2493.33	2019.60	7.92	11730.00	793.08	856.40	832.66	827.38	670.18	5.71
B	2.00	25800.00	1791.67	1728.96	1645.65	1722.09	1394.89	5.41	11730.00	542.33	614.53	594.39	583.75	472.84	4.03
C	3.00	25800.00	1091.07	1238.75	1172.73	1167.52	945.69	3.67	11730.00	365.32	411.62	421.91	399.62	323.69	2.76
D	4.00	25800.00	817.31	1012.65	902.08	910.68	737.65	2.86	11750.00	259.58	286.79	291.64	279.34	226.27	1.93
E	5.00	26100.00	638.10	713.34	697.55	683.00	553.23	2.12	11770.00	210.41	225.59	227.25	221.07	179.07	1.52
F	6.00	26200.00	488.57	535.19	522.14	515.30	417.39	1.59	11760.00	151.11	162.63	164.66	159.47	129.17	1.10
G	7.00	26500.00	367.28	392.39	390.53	383.40	310.55	1.17	11760.00	112.68	121.13	122.37	118.74	96.18	0.82
H	8.00	26500.00	294.75	317.07	316.14	309.32	250.55	0.95	11620.00	82.19	87.28	89.74	86.41	69.99	0.60
I	9.00	26500.00	235.66	250.33	250.33	245.44	198.81	0.75	11600.00	59.66	62.56	65.45	62.56	50.67	0.44
J	10.00	26800.00	191.43	203.61	201.87	198.97	161.17	0.60	11600.00	52.44	53.48	55.91	53.95	43.70	0.38
K	11.00	26900.00	170.45	177.75	176.83	175.01	141.76	0.53	11650.00	37.84	38.27	40.10	38.74	31.38	0.27
L	12.00	27000.00	148.99	152.67	159.48	153.71	124.51	0.46	11660.00	34.16	34.30	36.14	34.87	28.24	0.24
M	13.00	27000.00	144.40	146.11	152.34	147.62	119.57	0.44	11720.00	33.24	33.10	34.65	33.67	27.27	0.23
N	14.00	27500.00	141.40	141.40	148.00	143.60	116.32	0.42	11770.00	35.01	34.59	36.00	35.20	28.51	0.24
O	15.00	27500.00	155.86	154.97	160.52	157.12	127.26	0.46	11800.00	41.02	40.32	40.46	40.60	32.88	0.28

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.13-ค.14

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 02/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 11.16 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 13.41 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	64600.00	4089.37	3952.65	3395.45	3812.49	3088.12	4.78	72000.00	3811.75	3720.00	3223.22	3584.99	2903.84	4.03
B	2.00	64600.00	2647.37	2669.24	2282.25	2532.95	2051.69	3.18	72600.00	2557.25	2520.00	2162.16	2413.14	1954.64	2.69
C	3.00	64600.00	1706.34	1787.14	1718.89	1737.46	1407.34	2.18	72900.00	1708.05	1690.00	1635.63	1677.89	1359.09	1.86
D	4.00	64600.00	1019.04	1159.00	1127.13	1101.72	892.39	1.38	72900.00	1068.26	1193.00	1176.18	1145.81	928.11	1.27
E	5.00	64600.00	702.52	787.00	765.77	751.76	608.93	0.94	73000.00	784.55	865.00	868.87	839.47	679.97	0.93
F	6.00	64400.00	512.42	570.00	551.55	544.66	441.17	0.69	72900.00	591.55	646.00	650.65	629.40	509.81	0.70
G	7.00	64600.00	383.11	419.00	409.41	403.84	327.11	0.51	72700.00	460.31	500.00	504.50	488.27	395.50	0.54
H	8.00	64800.00	293.36	316.00	315.32	308.23	249.66	0.39	72400.00	358.98	389.00	392.39	380.12	307.90	0.43
I	9.00	64900.00	233.53	249.00	254.25	245.59	198.93	0.31	72200.00	283.71	302.00	301.30	295.67	239.49	0.33
J	10.00	64600.00	195.90	206.00	206.21	202.70	164.19	0.25	72500.00	244.15	259.00	261.26	254.80	206.39	0.28
K	11.00	64400.00	166.95	174.00	184.48	175.14	141.87	0.22	73000.00	202.65	214.00	218.22	211.62	171.41	0.23
L	12.00	64500.00	149.58	154.90	165.37	156.61	126.86	0.20	72800.00	178.53	185.00	187.19	183.57	148.69	0.20
M	13.00	64300.00	143.79	146.70	154.45	148.31	120.13	0.19	72800.00	174.67	180.00	181.58	178.75	144.79	0.20
N	14.00	64500.00	146.68	148.80	156.56	150.68	122.05	0.19	72500.00	183.35	187.00	187.19	185.85	150.53	0.21
O	15.00	64700.00	165.98	165.30	169.17	166.82	135.12	0.21	72800.00	201.69	205.00	203.20	203.30	164.67	0.23

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.18 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.45 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	13010.00	1124.14	1225.97	1208.55	1186.22	960.84	7.39	18300.00	1154.00	1255.00	1218.00	1209.00	979.29	5.35
B	2.00	13310.00	784.51	849.66	827.05	820.41	664.53	4.99	18400.00	787.00	886.00	854.00	842.33	682.29	3.71
C	3.00	13420.00	525.13	588.78	570.22	561.38	454.72	3.39	18600.00	523.00	588.00	574.00	561.67	454.95	2.45
D	4.00	13610.00	381.50	411.86	405.26	399.54	323.63	2.38	18800.00	334.00	367.00	357.00	352.67	285.66	1.52
E	5.00	13650.00	284.87	311.25	312.57	302.89	245.34	1.80	19000.00	239.00	255.00	245.00	246.33	199.53	1.05
F	6.00	13750.00	215.79	232.89	243.16	230.61	186.80	1.36	19000.00	176.00	187.00	188.90	183.97	149.01	0.78
G	7.00	13770.00	170.84	180.84	189.12	180.27	146.02	1.06	19000.00	132.50	141.90	143.50	139.30	112.83	0.59
H	8.00	13750.00	137.24	143.03	151.84	144.04	116.67	0.85	18900.00	104.90	111.30	113.80	110.00	89.10	0.47
I	9.00	13750.00	109.61	114.61	123.29	115.83	93.83	0.68	18900.00	81.60	85.20	89.20	85.33	69.12	0.37
J	10.00	13740.00	91.21	95.81	103.31	96.78	78.39	0.57	18800.00	69.60	70.70	73.90	71.40	57.83	0.31
K	11.00	13710.00	77.31	80.86	86.79	81.65	66.14	0.48	18600.00	60.40	61.20	63.90	61.83	50.09	0.27
L	12.00	13540.00	66.11	67.04	70.87	68.01	55.09	0.41	18600.00	53.30	53.80	57.20	54.77	44.36	0.24
M	13.00	13490.00	63.41	64.21	67.91	65.18	52.79	0.39	18500.00	51.30	51.00	54.10	52.13	42.23	0.23
N	14.00	13440.00	63.22	63.75	67.20	64.73	52.43	0.39	18500.00	53.90	53.00	55.30	54.07	43.79	0.24
O	15.00	13280.00	69.19	69.59	72.25	70.35	56.98	0.43	18000.00	60.20	59.50	61.40	60.37	48.90	0.27

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.15-ค.16

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 25/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา08.30 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.05 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	30100.00	2604.54	2443.54	2079.09	2375.72	1924.34	6.39	38400.00	2991.50	2620.00	2302.30	2637.93	2136.73	5.56
B	2.00	30300.00	1745.80	1582.70	1483.19	1603.90	1299.16	4.29	38500.00	1910.70	1780.00	1710.71	1800.47	1458.38	3.79
C	3.00	30400.00	1107.06	1208.23	1157.24	1157.51	937.58	3.08	38700.00	1159.93	1258.00	1240.24	1219.39	987.71	2.55
D	4.00	30700.00	772.63	839.87	798.18	803.56	650.88	2.12	38900.00	754.63	793.00	782.78	776.80	629.21	1.62
E	5.00	30600.00	560.62	597.59	581.54	579.92	469.73	1.54	39300.00	526.89	542.00	530.53	533.14	431.84	1.10
F	6.00	31000.00	427.36	443.96	387.89	419.74	339.99	1.10	39700.00	392.76	402.00	394.39	396.38	321.07	0.81
G	7.00	31300.00	338.33	355.03	349.85	347.74	281.67	0.90	39500.00	305.91	311.00	306.31	307.74	249.27	0.63
H	8.00	31600.00	262.29	265.17	267.65	265.04	214.68	0.68	39900.00	231.60	234.00	235.24	233.61	189.23	0.47
I	9.00	31600.00	217.51	216.56	216.78	216.95	175.73	0.56	40200.00	182.39	185.00	188.19	185.19	150.00	0.37
J	10.00	31800.00	186.47	180.31	190.33	185.70	150.42	0.47	40900.00	157.30	159.00	167.47	161.25	130.62	0.32
K	11.00	32200.00	147.60	146.88	155.42	149.97	121.47	0.38	40700.00	132.98	135.50	144.44	137.64	111.49	0.27
L	12.00	32200.00	136.74	137.73	140.85	138.44	112.14	0.35	40800.00	121.59	124.20	131.93	125.91	101.98	0.25
M	13.00	31900.00	121.75	120.31	132.48	124.85	101.13	0.32	40800.00	118.70	121.60	128.23	122.84	99.50	0.24
N	14.00	32100.00	113.37	114.06	117.04	114.82	93.01	0.29	40900.00	122.46	125.50	131.43	126.46	102.44	0.25
O	15.00	32600.00	116.91	117.73	123.47	119.37	96.69	0.30	40900.00	129.41	132.80	137.44	133.21	107.90	0.26

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.26 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.29 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	13970.00	1733.87	1878.77	1776.13	1796.26	1454.97	10.41	23400.00	1712.00	1860.00	1802.00	1791.33	1450.98	6.20
B	2.00	13930.00	1103.04	1199.70	1104.25	1135.66	919.89	6.60	23400.00	1130.00	1266.00	1255.00	1217.00	985.77	4.21
C	3.00	13940.00	727.20	794.85	733.24	751.76	608.93	4.37	23400.00	821.00	944.00	926.00	897.00	726.57	3.11
D	4.00	13920.00	477.29	518.38	493.00	496.22	401.94	2.89	23600.00	633.96	684.46	671.57	663.33	537.30	2.28
E	5.00	13920.00	346.79	368.54	357.67	357.67	289.71	2.08	23800.00	494.23	525.39	496.38	505.33	409.32	1.72
F	6.00	13820.00	250.50	265.02	261.39	258.97	209.77	1.52	25200.00	371.80	389.75	365.46	375.67	304.29	1.21
G	7.00	13840.00	186.31	199.62	208.20	198.04	160.41	1.16	25000.00	267.94	277.29	263.79	269.67	218.43	0.87
H	8.00	13800.00	143.81	156.52	163.66	154.66	125.28	0.91	25000.00	207.00	208.00	195.00	203.33	164.70	0.66
I	9.00	13740.00	114.62	123.22	130.01	122.62	99.32	0.72	25900.00	165.00	164.00	168.00	165.67	134.19	0.52
J	10.00	13720.00	95.99	101.20	107.02	101.41	82.14	0.60	24800.00	136.70	138.00	141.30	138.67	112.32	0.45
K	11.00	13620.00	79.75	83.52	89.34	84.20	68.21	0.50	25000.00	112.40	115.70	121.20	116.43	94.31	0.38
L	12.00	13520.00	70.40	73.07	78.06	73.84	59.81	0.44	25100.00	100.00	101.20	105.80	102.33	82.89	0.33
M	13.00	13410.00	63.34	64.92	69.30	65.85	53.34	0.40	25300.00	94.90	95.20	99.80	96.63	78.27	0.31
N	14.00	13360.00	65.46	66.43	70.21	67.37	54.57	0.41	25300.00	96.04	95.35	99.41	96.93	78.52	0.31
O	15.00	13230.00	76.84	76.23	78.55	77.21	62.54	0.47	25300.00	102.28	100.81	104.34	102.47	83.00	0.33

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.17-ค.18

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 25/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.57 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.50 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	52000.00	3782.80	3430.00	3023.02	3411.94	2763.67	5.31	33010.00	1901.62	1846.03	1920.79	1889.48	1530.48	4.64
B	2.00	48200.00	2371.15	2218.13	1942.80	2177.36	1763.66	3.66	33000.00	1290.47	1292.39	1292.39	1291.75	1046.32	3.17
C	3.00	48300.00	1650.15	1560.00	1540.54	1583.56	1282.69	2.66	32990.00	983.95	983.95	983.95	983.95	797.00	2.42
D	4.00	48000.00	1125.89	1231.29	1226.85	1194.68	967.69	2.02	32990.00	761.46	755.70	738.44	751.87	609.01	1.85
E	5.00	47100.00	871.42	948.36	954.21	924.66	748.97	1.59	32980.00	613.94	598.59	585.16	599.23	485.38	1.47
F	6.00	47700.00	693.43	742.91	752.63	729.65	591.02	1.24	32970.00	464.42	452.91	447.15	454.82	368.41	1.12
G	7.00	47600.00	580.98	614.28	621.70	605.65	490.58	1.03	32960.00	360.89	345.53	361.47	355.96	288.33	0.87
H	8.00	46300.00	455.81	475.02	482.21	471.01	381.52	0.82	32950.00	269.78	262.87	276.50	269.72	218.47	0.66
I	9.00	43900.00	343.19	355.63	358.49	352.44	285.48	0.65	32930.00	223.06	219.41	234.58	225.68	182.80	0.56
J	10.00	40300.00	251.36	258.21	259.61	256.39	207.68	0.52	32890.00	193.30	188.49	198.49	193.43	156.68	0.48
K	11.00	40700.00	206.63	214.12	217.66	212.80	172.37	0.42	32860.00	169.98	166.71	176.72	171.13	138.62	0.42
L	12.00	39300.00	170.81	175.00	184.38	176.73	143.15	0.36	32820.00	155.14	152.25	161.88	156.42	126.70	0.39
M	13.00	40800.00	164.05	169.00	178.68	170.58	138.17	0.34	32800.00	150.41	148.86	156.58	151.95	123.08	0.38
N	14.00	37800.00	165.02	169.00	176.98	170.33	137.97	0.36	32780.00	151.07	148.75	157.44	152.42	123.46	0.38
O	15.00	38700.00	167.91	172.00	180.28	173.40	140.45	0.36	32750.00	156.99	154.48	162.59	158.02	128.00	0.39

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.56 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.22 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	17690.00	1679.00	1637.00	1688.00	1668.00	1351.08	7.64	12460.00	842.75	909.02	886.24	879.33	712.26	5.72
B	2.00	17700.00	1102.00	1122.00	1130.00	1118.00	905.58	5.12	12490.00	600.94	664.96	637.08	634.33	513.81	4.11
C	3.00	17750.00	791.00	819.00	835.00	815.00	660.15	3.72	12540.00	477.80	500.75	469.45	482.67	390.96	3.12
D	4.00	17790.00	608.00	632.00	637.00	625.67	506.79	2.85	12580.00	362.31	380.04	368.64	370.33	299.97	2.38
E	5.00	17840.00	481.20	497.96	506.83	495.33	401.22	2.25	12610.00	282.91	301.46	290.63	291.67	236.25	1.87
F	6.00	18000.00	366.00	377.00	388.00	377.00	305.37	1.70	12700.00	215.51	217.13	218.46	217.03	175.80	1.38
G	7.00	18100.00	279.00	282.00	298.00	286.33	231.93	1.28	12760.00	153.97	157.84	163.59	158.47	128.36	1.01
H	8.00	18100.00	224.00	225.00	236.00	228.33	184.95	1.02	12810.00	126.09	129.02	121.39	125.50	101.66	0.79
I	9.00	18200.00	189.00	189.00	197.00	191.67	155.25	0.85	12910.00	89.02	90.68	96.69	92.13	74.63	0.58
J	10.00	18200.00	151.19	148.42	160.59	153.40	124.25	0.68	12960.00	79.66	79.14	84.30	81.03	65.64	0.51
K	11.00	18300.00	134.73	134.92	146.36	138.67	112.32	0.61	13000.00	62.74	61.32	67.13	63.73	51.62	0.40
L	12.00	18300.00	114.65	123.46	123.99	120.70	97.77	0.53	13050.00	56.96	57.32	60.70	58.33	47.25	0.36
M	13.00	18400.00	107.18	107.36	114.95	109.83	88.96	0.48	13130.00	55.03	55.15	57.83	56.00	45.36	0.35
N	14.00	18500.00	104.71	104.45	111.32	106.83	86.53	0.47	13180.00	56.19	56.31	57.89	56.80	46.01	0.35
O	15.00	18500.00	103.54	101.97	109.70	105.07	85.11	0.46	13250.00	51.02	50.47	50.91	50.80	41.15	0.31

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.19-ค.20

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 25/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.19 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.33 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	40200.00	2962.55	2670.00	2362.36	2664.97	2158.63	5.37	56400.00	3039.75	2850.00	2292.29	2727.35	2209.15	3.92
B	2.00	40800.00	1939.65	1790.00	1720.72	1816.79	1471.60	3.61	56400.00	2068.77	1911.47	1671.30	1883.84	1525.91	2.71
C	3.00	41000.00	1091.42	1181.00	1171.17	1147.86	929.77	2.27	56300.00	1531.82	1424.70	1254.40	1403.64	1136.95	2.02
D	4.00	41300.00	695.77	729.00	723.72	716.16	580.09	1.40	56700.00	1025.49	1102.15	958.72	1028.79	833.32	1.47
E	5.00	41700.00	488.29	499.00	491.49	492.93	399.27	0.96	56800.00	725.68	724.00	652.65	700.78	567.63	1.00
F	6.00	41800.00	363.81	372.00	366.37	367.39	297.59	0.71	56800.00	541.91	555.08	524.30	540.43	437.75	0.77
G	7.00	43100.00	280.82	288.00	283.28	284.03	230.07	0.53	56900.00	386.97	393.00	385.39	388.45	314.64	0.55
H	8.00	43400.00	217.13	221.00	218.22	218.78	177.21	0.41	56900.00	341.61	354.00	346.35	347.32	281.33	0.49
I	9.00	44600.00	174.67	175.00	186.49	178.72	144.76	0.32	56900.00	284.68	308.00	307.31	299.99	243.00	0.43
J	10.00	43400.00	145.72	144.20	154.55	148.16	120.01	0.28	57200.00	244.15	259.00	253.25	252.13	204.23	0.36
K	11.00	44300.00	123.91	125.30	134.63	127.95	103.64	0.23	57000.00	206.51	224.00	220.22	216.91	175.70	0.31
L	12.00	44000.00	112.52	113.80	121.52	115.95	93.92	0.21	57200.00	204.58	214.00	213.21	210.60	170.58	0.30
M	13.00	44300.00	109.24	110.30	116.12	111.88	90.63	0.20	57100.00	192.04	201.00	196.20	196.41	159.09	0.28
N	14.00	44100.00	113.48	115.10	119.32	115.97	93.93	0.21	56900.00	194.93	201.00	197.20	197.71	160.14	0.28
O	15.00	44300.00	126.32	128.20	130.73	128.42	104.02	0.23	57100.00	203.62	210.00	204.20	205.94	166.81	0.29

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.50 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.30 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.54 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	14980.00	1649.95	1762.56	1608.83	1673.78	1355.76	9.05	11660.00	782.07	776.74	748.30	769.04	622.92	5.34
B	2.00	15030.00	1055.49	1126.80	650.77	944.35	764.93	5.09	11670.00	478.23	548.88	514.46	513.86	416.23	3.57
C	3.00	15060.00	665.77	726.30	658.65	683.57	553.70	3.68	11690.00	331.81	388.64	392.31	370.92	300.45	2.57
D	4.00	15100.00	449.45	490.31	445.89	461.88	374.12	2.48	11610.00	250.81	280.23	289.08	273.37	221.43	1.91
E	5.00	15110.00	326.22	347.87	337.03	337.03	272.99	1.81	11620.00	183.40	198.75	202.49	194.88	157.85	1.36
F	6.00	15200.00	228.88	244.61	239.31	237.60	192.46	1.27	11630.00	131.66	136.21	137.34	135.07	109.41	0.94
G	7.00	15240.00	230.36	191.91	186.27	202.85	164.31	1.08	11640.00	89.23	96.59	99.75	95.19	77.10	0.66
H	8.00	15290.00	141.11	146.04	143.40	143.52	116.25	0.76	11660.00	69.33	71.78	75.11	72.07	58.38	0.50
I	9.00	15280.00	110.20	113.37	113.37	112.31	90.97	0.60	11680.00	56.13	59.10	61.72	58.98	47.78	0.41
J	10.00	15370.00	91.66	92.54	92.71	92.30	74.76	0.49	11680.00	46.34	48.96	52.80	49.37	39.99	0.34
K	11.00	15330.00	77.97	78.32	79.02	78.44	63.53	0.41	11690.00	40.54	41.24	42.99	41.59	33.69	0.29
L	12.00	15410.00	67.69	67.69	68.74	68.04	55.11	0.36	11690.00	37.92	38.09	37.39	37.80	30.62	0.26
M	13.00	15430.00	61.16	60.64	61.51	61.10	49.49	0.32	11690.00	37.57	36.87	38.27	37.57	30.43	0.26
N	14.00	15460.00	63.86	62.47	62.82	63.05	51.07	0.33	11700.00	35.27	34.93	36.50	35.57	28.81	0.25
O	15.00	15510.00	72.24	71.89	71.54	71.89	58.23	0.38	11710.00	42.41	41.01	40.84	41.42	33.55	0.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษาตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel ที่ระดับ 2.75 m.

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.21-ค.22

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 23/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.29 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.00 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	43600.00	4168.80	3790.00	3323.32	3760.71	3046.17	6.99	38200.00	3010.80	2910.00	2472.47	2797.76	2266.18	5.93
B	2.00	43600.00	3740.68	2049.38	1741.33	2510.46	2033.47	4.66	37900.00	1901.05	1970.00	1891.89	1920.98	1555.99	4.11
C	3.00	43500.00	1630.22	1698.33	1456.27	1594.94	1291.90	2.97	37700.00	1065.36	1260.00	1245.24	1190.20	964.06	2.56
D	4.00	43500.00	976.08	1056.81	1025.73	1019.53	825.82	1.90	39700.00	750.77	832.00	788.79	790.52	640.32	1.61
E	5.00	43400.00	715.35	775.38	765.43	752.05	609.16	1.40	38200.00	533.65	578.00	539.54	550.39	445.82	1.17
F	6.00	43400.00	541.37	584.00	585.59	570.32	461.96	1.06	38200.00	404.34	440.00	412.41	418.92	339.32	0.89
G	7.00	43300.00	406.27	436.00	441.44	427.90	346.60	0.80	39100.00	300.12	324.00	305.31	309.81	250.94	0.64
H	8.00	43300.00	320.38	339.00	343.34	334.24	270.74	0.63	40100.00	235.46	251.00	240.24	242.23	196.21	0.49
I	9.00	43400.00	256.69	270.00	274.27	266.99	216.26	0.50	40300.00	187.21	198.00	194.19	193.13	156.44	0.39
J	10.00	43500.00	219.06	227.00	229.23	225.09	182.33	0.42	40300.00	156.33	153.00	169.07	159.47	129.17	0.32
K	11.00	43200.00	186.25	191.00	194.19	190.48	154.29	0.36	40200.00	135.10	142.40	148.95	142.15	115.14	0.29
L	12.00	43800.00	165.98	169.00	181.28	172.09	139.39	0.32	40600.00	123.13	128.30	134.93	128.79	104.32	0.26
M	13.00	42500.00	157.30	159.00	168.47	161.59	130.89	0.31	40800.00	121.01	125.00	131.43	125.81	101.91	0.25
N	14.00	42100.00	159.23	158.70	167.97	161.96	131.19	0.31	42200.00	128.44	131.90	137.14	132.49	107.32	0.25
O	15.00	42000.00	167.91	166.20	174.87	169.66	137.43	0.33	42300.00	143.50	147.30	151.55	147.45	119.43	0.28

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.06 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.35 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	11810.00	1219.50	1358.58	1300.22	1292.77	1047.14	8.87	15030.00	1253.23	1334.04	1289.96	1292.41	1046.85	6.97
B	2.00	11830.00	797.58	896.06	842.57	845.41	684.78	5.79	15360.00	726.52	806.43	783.08	772.01	625.33	4.07
C	3.00	11810.00	523.69	589.90	557.39	556.99	451.16	3.82	15380.00	451.96	492.43	485.68	476.69	386.12	2.51
D	4.00	11890.00	361.87	409.96	385.91	385.91	312.59	2.63	15400.00	304.69	328.97	314.62	316.10	256.04	1.66
E	5.00	11970.00	256.93	284.54	272.54	271.34	219.78	1.84	15440.00	223.96	232.57	219.65	225.39	182.57	1.18
F	6.00	11590.00	182.64	202.16	206.07	196.96	159.54	1.38	15440.00	168.84	172.03	173.94	171.60	139.00	0.90
G	7.00	11860.00	142.30	157.75	142.87	147.64	119.59	1.01	15480.00	121.81	128.83	132.81	127.81	103.53	0.67
H	8.00	11930.00	112.44	123.76	127.76	121.32	98.27	0.82	15500.00	95.28	99.57	102.60	99.15	80.31	0.52
I	9.00	11990.00	91.67	100.58	104.13	98.79	80.02	0.67	15510.00	73.97	76.32	79.31	76.53	61.99	0.40
J	10.00	11940.00	76.81	82.47	85.42	81.56	66.07	0.55	15530.00	60.39	61.56	64.34	62.10	50.30	0.32
K	11.00	11980.00	66.13	70.09	72.81	69.68	56.44	0.47	15500.00	51.56	51.77	54.56	52.63	42.63	0.28
L	12.00	11980.00	58.67	61.25	63.94	61.28	49.64	0.41	15530.00	47.01	47.12	49.91	48.01	38.89	0.25
M	13.00	11920.00	55.15	56.04	58.71	56.63	45.87	0.38	15550.00	47.39	47.07	49.59	48.02	38.89	0.25
N	14.00	11980.00	57.01	64.12	60.12	60.42	48.94	0.41	15560.00	47.02	46.49	48.93	47.48	38.46	0.25
O	15.00	11970.00	61.07	61.18	64.05	62.10	50.30	0.42	15560.00	53.25	53.05	54.57	53.62	43.44	0.28

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.23-ค.24

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 23/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 11.00 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.12 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	63300.00	4523.16	4506.06	3819.25	4282.82	3469.08	5.48	39100.00	2595.85	2510.00	2162.16	2422.67	1962.36	5.02
B	2.00	63500.00	3181.14	3204.31	2676.77	3020.74	2446.80	3.85	38900.00	1708.05	1720.00	1674.67	1700.91	1377.74	3.54
C	3.00	63500.00	2073.73	2126.79	1970.36	2056.96	1666.14	2.62	38700.00	1073.08	1256.00	1217.22	1182.10	957.50	2.47
D	4.00	63600.00	1412.56	1645.51	1544.28	1534.12	1242.64	1.95	38400.00	790.78	860.96	851.43	834.39	675.86	1.76
E	5.00	63600.00	1084.08	1254.78	1203.70	1180.86	956.50	1.50	37800.00	578.04	644.00	612.61	611.55	495.35	1.31
F	6.00	63500.00	785.60	905.42	885.13	858.71	695.56	1.10	37700.00	438.11	490.00	463.46	463.86	375.72	1.00
G	7.00	63700.00	565.48	639.81	626.08	610.46	494.47	0.78	37400.00	307.84	337.00	327.33	324.05	262.48	0.70
H	8.00	63800.00	439.71	495.73	487.06	474.17	384.08	0.60	37100.00	244.15	266.00	255.26	255.13	206.66	0.56
I	9.00	64000.00	330.31	368.78	365.97	355.01	287.56	0.45	36800.00	194.93	208.00	202.20	201.71	163.39	0.44
J	10.00	63900.00	270.20	291.00	288.29	283.16	229.36	0.36	36500.00	165.98	176.00	179.48	173.82	140.79	0.39
K	11.00	64000.00	237.39	254.00	251.25	247.55	200.51	0.31	36100.00	138.28	143.70	155.36	145.78	118.08	0.33
L	12.00	64000.00	210.37	224.00	225.23	219.87	178.09	0.28	36000.00	118.41	125.10	131.03	124.85	101.12	0.28
M	13.00	63800.00	197.83	208.00	209.21	205.01	166.06	0.26	35600.00	111.65	116.40	122.02	116.69	94.52	0.27
N	14.00	63700.00	201.69	210.00	209.21	206.96	167.64	0.26	35400.00	114.55	118.50	124.42	119.16	96.52	0.27
O	15.00	63800.00	223.88	229.00	225.23	226.04	183.09	0.29	35000.00	121.88	125.60	121.72	123.07	99.68	0.28

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.40 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.10 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	18100.00	1996.88	1929.35	1808.77	1911.67	1548.45	8.55	12470.00	859.16	921.77	918.29	899.74	728.79	5.84
B	2.00	17900.00	1231.00	1342.00	1238.00	1270.33	1028.97	5.75	12480.00	592.71	624.00	622.26	612.99	496.52	3.98
C	3.00	17700.00	847.68	936.69	875.63	886.67	718.20	4.06	12500.00	418.40	456.60	439.24	438.08	354.84	2.84
D	4.00	17500.00	592.09	671.63	636.28	633.33	513.00	2.93	12500.00	301.32	317.46	317.99	312.26	252.93	2.02
E	5.00	17200.00	398.58	453.12	435.29	429.00	347.49	2.02	12560.00	211.41	225.94	229.75	222.37	180.12	1.43
F	6.00	17000.00	288.42	320.46	310.12	306.33	248.13	1.46	12590.00	155.26	168.04	170.63	164.64	133.36	1.06
G	7.00	16800.00	221.00	239.00	231.00	230.33	186.57	1.11	12620.00	110.17	118.10	124.13	117.46	95.15	0.75
H	8.00	16600.00	177.00	192.00	186.00	185.00	149.85	0.90	12660.00	90.13	93.40	98.39	93.98	76.12	0.60
I	9.00	16200.00	139.80	151.90	156.60	149.43	121.04	0.75	12700.00	70.36	72.77	77.23	73.45	59.50	0.47
J	10.00	15800.00	114.80	123.10	127.20	121.70	98.58	0.62	12730.00	58.77	60.65	64.59	61.34	49.68	0.39
K	11.00	15500.00	98.10	105.00	108.70	103.93	84.19	0.54	12760.00	50.29	51.48	55.25	52.34	42.40	0.33
L	12.00	15300.00	86.30	90.20	94.50	90.33	73.17	0.48	12790.00	44.74	45.59	48.67	46.33	37.53	0.29
M	13.00	15000.00	80.80	82.40	86.50	83.23	67.42	0.45	12830.00	41.91	42.60	45.49	43.33	35.10	0.27
N	14.00	14600.00	80.50	80.50	84.50	81.83	66.29	0.45	12870.00	42.33	42.84	45.90	43.69	35.39	0.27
O	15.00	14370.00	82.70	82.10	86.50	83.77	67.85	0.47	12930.00	45.08	45.08	48.30	46.15	37.38	0.29

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.25-ค.26

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 23/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 11.10 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.00 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	65800.00	3975.80	3950.00	3353.35	3759.72	3045.37	4.63	33600.00	2113.35	1990.00	1877.88	1993.74	1614.93	4.81
B	2.00	65800.00	2653.75	2670.00	2242.24	2522.00	2042.82	3.10	34000.00	1437.85	1380.00	1313.31	1377.05	1115.41	3.28
C	3.00	65800.00	1823.85	1860.00	1727.73	1803.86	1461.13	2.22	34100.00	829.90	904.00	860.86	864.92	700.59	2.05
D	4.00	65800.00	1092.38	1260.00	1189.19	1180.52	956.22	1.45	34300.00	551.98	587.00	564.56	567.85	459.96	1.34
E	5.00	65900.00	797.09	912.00	867.87	858.99	695.78	1.06	34300.00	388.90	417.00	400.40	402.10	325.70	0.95
F	6.00	65800.00	592.51	678.00	657.66	642.72	520.61	0.79	34500.00	283.71	313.00	303.30	300.00	243.00	0.70
G	7.00	65700.00	445.83	506.00	497.50	483.11	391.32	0.60	34800.00	213.27	234.00	227.23	224.83	182.11	0.52
H	8.00	65700.00	361.88	405.00	399.40	388.76	314.89	0.48	34800.00	167.91	179.00	183.88	176.93	143.31	0.41
I	9.00	65700.00	288.54	319.00	318.32	308.62	249.98	0.38	35000.00	127.77	136.90	143.14	135.94	110.11	0.31
J	10.00	65800.00	250.90	269.00	268.27	262.72	212.81	0.32	35700.00	104.80	111.50	117.32	111.21	90.08	0.25
K	11.00	65900.00	216.16	231.00	231.23	226.13	183.17	0.28	35700.00	89.65	95.30	101.10	95.35	77.23	0.22
L	12.00	65900.00	193.97	205.00	205.21	201.39	163.13	0.25	35900.00	80.48	84.80	90.59	85.29	69.09	0.19
M	13.00	66000.00	183.35	191.00	191.19	188.51	152.70	0.23	35900.00	79.13	82.20	86.89	82.74	67.02	0.19
N	14.00	66100.00	184.32	190.00	188.19	187.50	151.88	0.23	36000.00	84.15	86.70	90.59	87.15	70.59	0.20
O	15.00	66100.00	208.44	210.00	214.21	210.88	170.82	0.26	36200.00	101.71	101.50	102.60	101.94	82.57	0.23

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 21/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.15 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.25 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	11970.00	1164.00	1293.00	1243.00	1233.33	999.00	8.35	9370.00	634.18	612.23	603.45	616.62	499.46	5.33
B	2.00	12000.00	748.00	835.00	787.00	790.00	639.90	5.33	9390.00	393.99	402.74	404.27	400.33	324.27	3.45
C	3.00	12030.00	475.00	532.00	506.00	504.33	408.51	3.40	9420.00	269.95	280.86	285.00	278.60	225.67	2.40
D	4.00	12030.00	308.00	390.00	337.00	345.00	279.45	2.32	9440.00	165.96	169.44	175.31	170.24	137.89	1.46
E	5.00	12120.00	216.00	245.00	240.00	233.67	189.27	1.56	9460.00	115.43	114.34	118.90	116.22	94.14	1.00
F	6.00	12130.00	163.00	181.00	186.80	176.93	143.32	1.18	9470.00	85.82	85.38	88.20	86.47	70.04	0.74
G	7.00	12150.00	121.80	139.80	140.20	133.93	108.49	0.89	9490.00	65.50	63.99	67.01	65.50	53.06	0.56
H	8.00	12180.00	98.40	109.70	111.30	106.47	86.24	0.71	9520.00	50.18	48.46	51.26	49.97	40.48	0.43
I	9.00	12170.00	77.40	84.40	87.70	83.17	67.37	0.55	9540.00	40.18	38.89	41.68	40.25	32.60	0.34
J	10.00	12140.00	65.60	69.50	72.20	69.10	55.97	0.46	9550.00	33.48	32.62	35.20	33.76	27.35	0.29
K	11.00	12130.00	56.50	59.50	62.10	59.37	48.09	0.40	9580.00	28.65	28.01	29.94	28.87	23.38	0.24
L	12.00	12210.00	49.10	51.00	53.10	51.07	41.36	0.34	9600.00	26.03	25.39	27.31	26.24	21.25	0.22
M	13.00	12210.00	46.70	47.00	49.10	47.60	38.56	0.32	9620.00	25.11	24.69	26.18	25.33	20.51	0.21
N	14.00	12220.00	49.20	48.70	50.30	49.40	40.01	0.33	9650.00	25.87	25.45	26.72	26.02	21.07	0.22
O	15.00	12190.00	55.00	54.90	56.10	55.33	44.82	0.37	9650.00	28.63	28.00	29.27	28.63	23.19	0.24

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.27-ค.28

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 23/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.35 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.42 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	45100.00	3860.76	3226.10	3314.31	3467.06	2808.32	6.23	47200.00	3537.36	3418.41	2937.61	3297.79	2671.21	5.66
B	2.00	44200.00	2739.14	2128.86	2319.02	2395.67	1940.49	4.39	48200.00	2518.40	2505.35	2110.78	2378.17	1926.32	4.00
C	3.00	47500.00	1913.20	1916.19	1708.26	1845.88	1495.16	3.15	51000.00	1700.44	1646.42	1505.53	1617.46	1310.14	2.57
D	4.00	45400.00	1099.62	1265.19	1291.44	1218.75	987.19	2.17	51400.00	1035.45	1113.00	1049.05	1065.83	863.32	1.68
E	5.00	45900.00	790.34	905.00	860.86	852.07	690.17	1.50	50700.00	668.75	738.00	696.70	701.15	567.93	1.12
F	6.00	46000.00	594.44	660.00	631.63	628.69	509.24	1.11	50500.00	588.81	611.27	346.95	515.68	417.70	0.83
G	7.00	45400.00	498.91	542.00	532.53	524.48	424.83	0.94	53800.00	421.43	440.53	429.50	430.48	348.69	0.65
H	8.00	45800.00	387.93	430.00	431.43	416.45	337.33	0.74	55300.00	323.28	342.00	342.34	335.87	272.06	0.49
I	9.00	46200.00	315.56	345.00	349.35	336.63	272.67	0.59	55500.00	263.45	278.00	280.28	273.91	221.87	0.40
J	10.00	47200.00	270.20	288.00	289.29	282.50	228.82	0.48	56000.00	230.64	236.00	237.24	234.62	190.05	0.34
K	11.00	48900.00	239.32	248.00	258.26	248.53	201.31	0.41	56600.00	205.55	216.00	214.21	211.92	171.65	0.30
L	12.00	52400.00	216.16	227.00	227.23	223.46	181.00	0.35	57200.00	182.39	189.00	188.19	186.52	151.08	0.26
M	13.00	48100.00	215.20	223.00	222.22	220.14	178.31	0.37	57700.00	174.67	181.00	181.38	179.02	145.00	0.25
N	14.00	55700.00	217.13	228.00	220.22	221.78	179.64	0.32	60800.00	183.35	185.00	181.68	183.34	148.51	0.24
O	15.00	45700.00	224.85	239.00	241.24	235.03	190.37	0.42	59600.00	180.46	185.00	188.69	184.71	149.62	0.25

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 19/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.50 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.42 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	10420.00	1205.00	1199.00	1178.00	1194.00	967.14	9.28	10650.00	887.01	927.86	910.36	908.41	735.81	6.91
B	2.00	10420.00	812.00	822.00	791.00	808.33	654.75	6.28	10700.00	575.49	618.86	601.51	598.62	484.88	4.53
C	3.00	10420.00	536.00	550.00	525.00	537.00	434.97	4.17	10780.00	371.03	396.12	383.00	383.38	310.54	2.88
D	4.00	10410.00	370.00	381.00	365.00	372.00	301.32	2.89	10760.00	255.56	270.61	274.37	266.85	216.15	2.01
E	5.00	10410.00	268.00	273.00	265.00	268.67	217.62	2.09	10750.00	172.59	179.64	179.92	177.38	143.68	1.34
F	6.00	10410.00	195.00	197.00	193.00	195.00	157.95	1.52	10760.00	132.50	137.36	139.94	136.60	110.64	1.03
G	7.00	10400.00	149.00	150.00	157.20	152.07	123.17	1.18	10780.00	102.67	106.37	108.94	105.99	85.86	0.80
H	8.00	10390.00	117.00	116.50	121.90	118.47	95.96	0.92	10840.00	78.19	81.30	83.28	80.92	65.55	0.60
I	9.00	10380.00	94.90	94.50	99.80	96.40	78.08	0.75	10840.00	60.98	62.67	64.93	62.86	50.91	0.47
J	10.00	10370.00	78.70	77.80	82.50	79.67	64.53	0.62	10870.00	48.59	49.43	51.40	49.81	40.35	0.37
K	11.00	10350.00	66.80	65.90	70.00	67.57	54.73	0.53	10900.00	41.36	41.92	44.16	42.48	34.41	0.32
L	12.00	10340.00	59.30	58.70	62.20	60.07	48.65	0.47	10920.00	35.38	35.66	37.61	36.21	29.33	0.27
M	13.00	10320.00	56.10	55.40	58.50	56.67	45.90	0.44	10950.00	32.99	32.71	34.65	33.45	27.10	0.25
N	14.00	10290.00	54.80	54.40	57.40	55.53	44.98	0.44	11010.00	34.87	34.60	36.24	35.24	28.54	0.26
O	15.00	10270.00	55.50	54.80	58.20	56.17	45.50	0.44	11040.00	37.71	37.98	39.62	38.44	31.14	0.28

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.29-ค.30

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 23/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.20 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.16 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	44100.00	3425.75	3410.00	2992.99	3276.25	2653.76	6.02	49000.00	3715.25	3340.00	2762.76	3272.67	2650.86	5.41
B	2.00	43000.00	2316.00	2310.00	1981.98	2202.66	1784.15	4.15	49200.00	2460.75	2360.00	1951.95	2257.57	1828.63	3.72
C	3.00	42700.00	1710.80	1762.36	1662.26	1711.81	1386.57	3.25	49400.00	1669.45	1640.00	1539.54	1616.33	1309.23	2.65
D	4.00	43700.00	1039.31	1220.00	1680.68	1313.33	1063.80	2.43	49200.00	1044.29	1179.79	1116.16	1113.41	901.86	1.83
E	5.00	45700.00	872.70	1007.76	984.47	954.98	773.53	1.69	50300.00	741.12	825.00	786.79	784.30	635.28	1.26
F	6.00	48300.00	648.48	742.00	725.73	705.40	571.38	1.18	50400.00	556.81	614.00	585.59	585.46	474.23	0.94
G	7.00	48800.00	531.90	588.44	595.61	571.98	463.30	0.95	50300.00	433.29	473.00	450.45	452.25	366.32	0.73
H	8.00	49900.00	397.58	438.00	438.44	424.67	343.98	0.69	50500.00	343.54	371.00	356.36	356.97	289.14	0.57
I	9.00	50500.00	330.03	357.00	354.35	347.13	281.17	0.56	50500.00	277.92	296.00	287.29	287.07	232.53	0.46
J	10.00	49900.00	272.13	294.00	291.29	285.81	231.50	0.46	50600.00	231.60	245.00	240.24	238.95	193.55	0.38
K	11.00	50000.00	220.99	238.00	236.24	231.74	187.71	0.38	50600.00	199.76	210.00	217.22	208.99	169.28	0.33
L	12.00	50100.00	216.16	230.00	227.23	224.46	181.81	0.36	50900.00	180.46	188.00	185.19	184.55	149.48	0.29
M	13.00	50300.00	198.79	208.00	206.21	204.33	165.51	0.33	51000.00	177.56	183.00	189.19	183.25	148.43	0.29
N	14.00	50600.00	205.55	212.00	209.21	208.92	169.22	0.33	50800.00	183.35	189.00	188.19	186.85	151.35	0.30
O	15.00	50300.00	223.88	232.00	228.23	228.04	184.71	0.37	51000.00	197.83	199.00	197.20	198.01	160.39	0.31

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 19/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.43 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.55 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	23500.00	2910.00	2520.00	2180.00	2536.67	2054.70	8.74	11880.00	940.90	974.51	949.30	954.90	773.47	6.51
B	2.00	23700.00	1917.95	1690.56	1609.49	1739.33	1408.86	5.94	11880.00	601.06	648.19	639.36	629.53	509.92	4.29
C	3.00	23700.00	1158.85	1189.64	1145.51	1164.67	943.38	3.98	11910.00	415.90	456.41	485.04	452.45	366.49	3.08
D	4.00	23800.00	847.69	888.96	873.35	870.00	704.70	2.96	11970.00	303.36	320.74	332.14	318.74	258.18	2.16
E	5.00	23800.00	665.04	688.50	681.46	678.33	549.45	2.31	12000.00	216.38	221.32	229.64	222.44	180.18	1.50
F	6.00	23900.00	484.49	492.47	489.05	488.67	395.82	1.66	12050.00	153.29	151.02	155.27	153.19	124.08	1.03
G	7.00	24000.00	359.71	363.08	364.21	362.33	293.49	1.22	12080.00	113.74	119.51	123.54	118.93	96.33	0.80
H	8.00	24100.00	262.95	263.99	266.07	264.33	214.11	0.89	12120.00	90.53	89.06	92.29	90.63	73.41	0.61
I	9.00	24300.00	209.00	208.00	211.00	209.33	169.56	0.70	12110.00	65.94	65.15	67.77	66.29	53.69	0.44
J	10.00	24500.00	180.00	178.00	188.60	182.20	147.58	0.60	12200.00	52.95	50.36	52.95	52.09	42.19	0.35
K	11.00	24700.00	155.00	152.40	162.00	156.47	126.74	0.51	12230.00	42.66	41.37	43.70	42.58	34.49	0.28
L	12.00	24900.00	137.80	137.20	145.60	140.20	113.56	0.46	12270.00	40.13	39.10	39.61	39.61	32.09	0.26
M	13.00	25100.00	130.50	130.00	137.60	132.70	107.49	0.43	12310.00	33.27	32.50	34.29	33.36	27.02	0.22
N	14.00	25200.00	129.80	129.30	137.20	132.10	107.00	0.42	12340.00	33.91	32.63	33.65	33.40	27.05	0.22
O	15.00	25500.00	130.70	128.90	138.70	132.77	107.54	0.42	12430.00	37.06	35.80	36.56	36.47	29.54	0.24

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.31-ค.32

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 23/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.51 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.40 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	45000.00	3301.94	3334.41	2839.70	3158.68	2558.53	5.69	33500.00	2181.59	2126.43	2138.69	2148.90	1740.61	5.20
B	2.00	45600.00	2320.51	2377.14	2002.83	2233.49	1809.13	3.97	33480.00	1488.00	1512.53	1485.96	1495.49	1211.35	3.62
C	3.00	45900.00	1588.83	1637.05	1544.51	1590.13	1288.01	2.81	33430.00	990.82	982.63	962.16	978.54	792.62	2.37
D	4.00	46000.00	1002.64	1184.00	1128.13	1104.92	894.99	1.95	33420.00	663.49	647.10	636.86	649.15	525.81	1.57
E	5.00	46100.00	735.33	862.00	834.83	810.72	656.68	1.42	33400.00	473.34	458.99	450.80	461.04	373.44	1.12
F	6.00	46200.00	552.95	643.00	630.63	608.86	493.18	1.07	33380.00	344.46	336.26	355.53	345.42	279.79	0.84
G	7.00	46200.00	424.60	486.00	479.48	463.36	375.32	0.81	33360.00	256.05	254.82	270.61	260.49	211.00	0.63
H	8.00	46200.00	339.68	384.00	379.38	367.69	297.83	0.64	33340.00	197.49	195.44	208.38	200.44	162.35	0.49
I	9.00	46300.00	288.54	316.00	311.31	305.28	247.28	0.53	33320.00	161.67	158.59	169.27	163.18	132.17	0.40
J	10.00	46400.00	240.29	262.00	258.26	253.51	205.35	0.44	33300.00	136.28	132.79	142.24	137.11	111.06	0.33
K	11.00	46900.00	211.34	228.00	225.23	221.52	179.43	0.38	33290.00	119.47	116.79	125.02	120.43	97.54	0.29
L	12.00	47000.00	191.07	202.00	200.20	197.76	160.18	0.34	33270.00	109.05	107.40	114.19	110.21	89.27	0.27
M	13.00	47100.00	182.39	191.00	189.19	187.52	151.89	0.32	33270.00	106.78	105.76	111.93	108.16	87.61	0.26
N	14.00	47000.00	188.18	194.00	192.19	191.46	155.08	0.33	33270.00	112.34	112.13	117.69	114.05	92.38	0.28
O	15.00	46800.00	210.37	212.00	206.21	209.53	169.72	0.36	33270.00	120.36	120.16	125.10	121.87	98.72	0.30

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 19/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.00 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.20 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	23500.00	2590.00	2500.00	2120.00	2403.33	1946.70	8.28	13900.00	1057.61	1138.19	1107.97	1101.26	892.02	6.42
B	2.00	24500.00	1730.00	1690.00	1592.00	1670.67	1353.24	5.52	13940.00	616.65	703.03	680.93	666.87	540.16	3.87
C	3.00	25000.00	1007.00	1134.00	1074.00	1071.67	868.05	3.47	13990.00	396.28	450.32	460.33	435.64	352.87	2.52
D	4.00	25300.00	666.00	764.00	729.00	719.67	582.93	2.30	14010.00	261.01	284.00	305.18	283.40	229.55	1.64
E	5.00	25600.00	472.00	541.00	526.00	513.00	415.53	1.62	14080.00	181.57	190.52	198.47	190.19	154.05	1.09
F	6.00	25500.00	352.00	396.00	389.00	379.00	306.99	1.20	14140.00	132.29	138.03	140.81	137.04	111.00	0.79
G	7.00	26000.00	275.00	306.00	303.00	294.67	238.68	0.92	14200.00	101.37	104.33	104.13	103.28	83.66	0.59
H	8.00	26000.00	223.00	243.00	241.00	235.67	190.89	0.73	14260.00	74.84	76.01	76.80	75.88	61.47	0.43
I	9.00	26400.00	184.00	198.00	196.00	192.67	156.06	0.59	14320.00	56.54	56.54	58.49	57.19	46.32	0.32
J	10.00	26700.00	157.00	165.00	171.70	164.57	133.30	0.50	14370.00	45.24	44.85	46.60	45.56	36.90	0.26
K	11.00	26700.00	134.30	134.20	148.60	139.03	112.62	0.42	14400.00	39.11	38.72	40.28	39.37	31.89	0.22
L	12.00	27100.00	121.20	126.20	131.70	126.37	102.36	0.38	14430.00	33.60	33.21	34.96	33.92	27.48	0.19
M	13.00	27300.00	112.80	113.60	117.40	114.60	92.83	0.34	14480.00	32.33	31.75	33.10	32.39	26.24	0.18
N	14.00	26500.00	117.00	115.70	119.20	117.30	95.01	0.36	14530.00	33.58	32.80	33.77	33.38	27.04	0.19
O	15.00	27400.00	131.70	129.30	132.50	131.17	106.25	0.39	14630.00	38.73	38.16	38.54	38.48	31.17	0.21

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.33-ค.34

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 22/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.38 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.00 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	30100.00	3230.79	3242.35	2769.85	3081.00	2495.61	8.29	30050.00	2234.41	2127.30	2127.30	2163.00	1752.03	5.83
B	2.00	30393.30	2084.40	2070.00	1867.87	2007.42	1626.01	5.35	30050.00	1431.18	1542.68	1464.35	1479.40	1198.32	3.99
C	3.00	30499.20	1058.90	2068.49	1101.03	1409.47	1141.67	3.74	30050.00	982.26	1052.98	1077.51	1037.58	840.44	2.80
D	4.00	30499.20	818.10	901.01	853.74	857.62	694.67	2.28	30060.00	701.60	728.02	748.56	726.06	588.11	1.96
E	5.00	30605.10	578.04	634.00	602.60	604.88	489.95	1.60	30070.00	492.74	491.00	525.57	503.10	407.51	1.36
F	6.00	30605.10	416.88	462.00	444.44	441.11	357.30	1.17	30070.00	377.62	404.90	404.61	395.71	320.52	1.07
G	7.00	30711.00	317.49	349.00	338.34	334.94	271.30	0.88	30110.00	300.81	303.12	326.55	310.16	251.23	0.83
H	8.00	30711.00	252.83	275.00	270.27	266.03	215.49	0.70	30110.00	233.23	232.66	251.64	239.17	193.73	0.64
I	9.00	30816.90	203.62	220.00	218.22	213.94	173.29	0.56	30130.00	195.90	193.90	210.51	200.10	162.08	0.54
J	10.00	30922.80	166.95	179.00	187.39	177.78	144.00	0.47	30130.00	170.30	170.58	175.43	172.10	139.40	0.46
K	11.00	31028.70	143.79	154.30	160.96	153.02	123.94	0.40	30240.00	136.91	132.67	141.44	137.01	110.98	0.37
L	12.00	30922.80	124.39	132.80	140.14	132.44	107.28	0.35	30220.00	124.90	122.64	128.30	125.28	101.48	0.34
M	13.00	31028.70	117.83	123.40	129.43	123.55	100.08	0.32	30280.00	125.30	125.01	130.38	126.90	102.79	0.34
N	14.00	30922.80	119.47	124.20	129.33	124.33	100.71	0.33	30320.00	123.31	125.00	127.25	125.18	101.40	0.33
O	15.00	30922.80	132.88	137.50	145.55	138.64	112.30	0.36	30360.00	132.28	132.28	134.81	133.12	107.83	0.36

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 19/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.30 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.12 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	12640.00	1583.00	1555.00	1554.00	1564.00	1266.84	10.02	13150.00	1309.47	1410.03	1342.63	1354.04	1096.78	8.34
B	2.00	12600.00	1034.00	1056.00	1038.00	1042.67	844.56	6.70	13210.00	784.21	907.91	863.73	851.95	690.08	5.22
C	3.00	12600.00	701.31	738.27	735.42	725.00	587.25	4.66	13230.00	503.69	607.06	605.96	572.24	463.51	3.50
D	4.00	12670.00	487.05	525.30	517.65	510.00	413.10	3.26	13350.00	360.48	408.13	421.58	396.73	321.35	2.41
E	5.00	12740.00	359.84	370.58	370.58	367.00	297.27	2.33	13380.00	274.63	297.84	299.13	290.53	235.33	1.76
F	6.00	12860.00	268.52	273.13	282.36	274.67	222.48	1.73	13430.00	185.87	196.46	203.75	195.36	158.24	1.18
G	7.00	12870.00	199.85	224.69	233.21	219.25	177.59	1.38	13460.00	131.31	138.66	142.61	137.53	111.40	0.83
H	8.00	12900.00	152.95	165.82	172.48	163.75	132.64	1.03	13580.00	101.80	105.85	109.58	105.74	85.65	0.63
I	9.00	12930.00	114.68	126.33	129.99	123.67	100.17	0.77	13580.00	77.66	79.86	83.48	80.33	65.07	0.48
J	10.00	12950.00	95.07	102.82	108.98	102.29	82.86	0.64	13730.00	63.99	65.64	68.70	66.11	53.55	0.39
K	11.00	12880.00	81.66	86.17	89.10	85.64	69.37	0.54	13770.00	54.99	55.76	58.28	56.34	45.64	0.33
L	12.00	12920.00	75.05	78.19	79.09	77.45	62.73	0.49	13800.00	49.29	49.29	51.59	50.05	40.54	0.29
M	13.00	12950.00	70.35	70.80	73.94	71.70	58.07	0.45	13800.00	44.77	50.20	45.96	46.98	38.05	0.28
N	14.00	12990.00	66.74	66.96	70.08	67.93	55.02	0.42	13830.00	47.26	46.50	48.35	47.37	38.37	0.28
O	15.00	13010.00	71.51	71.51	73.29	72.10	58.40	0.45	13860.00	52.25	50.83	52.25	51.78	41.94	0.30

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.35-ค.36

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 22/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.30 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.51 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	30370.00	3215.45	3189.27	2704.06	3036.26	2459.37	8.10	63100.00	4403.58	3916.19	3249.99	3856.59	3123.84	4.95
B	2.00	30370.00	1477.77	2329.22	2053.31	1953.44	1582.28	5.21	63200.00	3125.58	2982.28	2471.41	2859.76	2316.41	3.67
C	3.00	30370.00	1404.50	1593.14	1499.41	1499.02	1214.20	4.00	63300.00	2246.70	2237.32	2044.03	2176.02	1762.58	2.78
D	4.00	30370.00	920.90	1034.13	1000.05	985.03	797.87	2.63	63400.00	1687.72	1681.16	1563.57	1644.14	1331.75	2.10
E	5.00	30270.00	634.99	703.85	688.08	675.64	547.27	1.81	63300.00	1139.80	1294.29	1211.97	1215.35	984.43	1.56
F	6.00	30170.00	516.34	560.85	552.38	543.19	439.98	1.46	63400.00	839.55	946.00	896.90	894.15	724.26	1.14
G	7.00	29970.00	380.21	427.59	431.90	413.23	334.72	1.12	63400.00	670.68	736.00	705.71	704.13	570.34	0.90
H	8.00	28870.00	289.94	320.05	326.91	312.30	252.96	0.88	63500.00	527.86	574.00	559.56	553.80	448.58	0.71
I	9.00	29470.00	234.27	259.65	265.11	253.01	204.94	0.70	63700.00	442.94	484.00	472.47	466.47	377.84	0.59
J	10.00	30470.00	202.23	218.56	366.65	262.48	212.61	0.70	63700.00	394.69	423.00	405.41	407.70	330.23	0.52
K	11.00	30570.00	170.80	183.93	194.79	183.18	148.37	0.49	63600.00	348.37	369.00	358.36	358.57	290.45	0.46
L	12.00	30670.00	158.14	167.47	174.44	166.68	135.01	0.44	63700.00	317.49	334.00	326.33	325.94	264.01	0.41
M	13.00	30670.00	144.27	148.35	157.61	150.08	121.56	0.40	63800.00	307.84	322.00	315.32	315.05	255.19	0.40
N	14.00	30770.00	136.71	141.93	150.67	143.10	115.91	0.38	64000.00	310.73	324.00	318.32	317.68	257.32	0.40
O	15.00	30870.00	148.08	154.35	161.04	154.49	125.14	0.41	64100.00	298.19	309.00	308.31	305.16	247.18	0.39

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 19/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.47 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.02 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	10750.00	1127.79	1257.13	1201.43	1195.46	968.32	9.01	11880.00	1039.18	992.48	1083.56	1038.41	841.11	7.08
B	2.00	10750.00	755.25	835.68	961.22	850.71	689.08	6.41	11910.00	721.71	753.38	721.71	732.26	593.13	4.98
C	3.00	10770.00	551.55	620.76	593.49	588.60	476.77	4.43	11940.00	536.14	559.25	517.66	537.68	435.52	3.65
D	4.00	10780.00	414.02	483.42	464.92	454.11	367.83	3.41	11980.00	331.00	349.83	350.29	393.71	318.91	2.66
E	5.00	10790.00	302.87	352.16	355.24	336.76	272.78	2.53	12010.00	282.61	306.89	313.95	301.16	243.94	2.03
F	6.00	10790.00	222.77	249.01	253.71	241.83	195.88	1.82	12060.00	200.53	213.81	218.14	210.83	170.77	1.42
G	7.00	10830.00	182.19	185.52	190.51	186.07	150.72	1.39	12100.00	142.30	153.16	161.31	152.26	123.33	1.02
H	8.00	11020.00	138.35	149.97	156.01	148.11	119.97	1.09	12140.00	106.62	111.31	116.97	111.63	90.42	0.74
I	9.00	11090.00	115.95	127.73	131.43	125.04	101.28	0.91	12170.00	78.68	81.16	84.97	81.60	66.10	0.54
J	10.00	11250.00	95.69	103.50	109.69	102.96	83.40	0.74	12210.00	65.73	67.32	70.71	67.92	55.02	0.45
K	11.00	11380.00	85.59	86.85	93.12	88.52	71.70	0.63	12160.00	58.26	58.74	63.24	60.08	48.66	0.40
L	12.00	11500.00	76.33	76.55	81.57	78.15	63.30	0.55	12280.00	47.17	49.13	53.04	49.78	40.32	0.33
M	13.00	11610.00	70.44	70.44	73.39	71.42	57.85	0.50	12330.00	44.55	45.41	49.03	46.33	37.53	0.30
N	14.00	11680.00	63.62	63.18	78.58	68.46	55.45	0.47	12360.00	41.61	43.32	42.90	42.61	34.51	0.28
O	15.00	11920.00	71.28	69.62	74.10	71.67	58.05	0.49	12420.00	43.40	43.20	44.86	43.82	35.49	0.29

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.37-ค.38

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 22/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.15 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.08 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	38800.00	3512.60	3520.00	3013.01	3348.54	2712.31	6.99	39200.00	2785.32	2411.61	2128.91	2441.95	1977.98	5.05
B	2.00	39000.00	2335.30	2320.00	1811.81	2155.70	1746.12	4.48	40000.00	1797.89	1700.68	1646.90	1715.16	1389.28	3.47
C	3.00	38900.00	1804.55	1495.00	1400.40	1566.65	1268.99	3.26	40000.00	1120.43	1226.86	1230.99	1192.76	966.14	2.42
D	4.00	39000.00	884.91	983.00	947.95	938.62	760.28	1.95	40300.00	747.88	798.00	822.82	789.57	639.55	1.59
E	5.00	39000.00	614.71	679.00	671.67	655.13	530.65	1.36	40200.00	537.51	562.00	566.57	555.36	449.84	1.12
F	6.00	39100.00	465.13	496.00	460.46	473.86	383.83	0.98	40500.00	410.13	425.00	426.43	420.52	340.62	0.84
G	7.00	39200.00	341.61	378.00	371.37	363.66	294.56	0.75	41100.00	317.49	325.00	326.33	322.94	261.58	0.64
H	8.00	39300.00	273.10	297.00	293.29	287.80	233.11	0.59	41700.00	255.73	259.00	262.26	259.00	209.79	0.50
I	9.00	39300.00	213.27	232.00	232.23	225.83	182.92	0.47	41500.00	207.48	210.00	214.21	210.56	170.56	0.41
J	10.00	39300.00	172.74	187.00	189.19	182.97	148.21	0.38	41700.00	175.63	179.00	189.39	181.34	146.89	0.35
K	11.00	39100.00	144.75	157.00	167.97	156.57	126.82	0.32	42500.00	154.40	155.50	167.37	159.09	128.86	0.30
L	12.00	38800.00	129.12	139.10	148.45	138.89	112.50	0.29	42600.00	142.82	143.80	152.75	146.46	118.63	0.28
M	13.00	38200.00	122.84	129.80	137.14	129.93	105.24	0.28	42700.00	135.58	138.90	147.65	140.71	113.98	0.27
N	14.00	38200.00	123.62	128.80	135.03	129.15	104.61	0.27	43000.00	137.71	142.10	150.25	143.35	116.12	0.27
O	15.00	39400.00	141.37	145.90	148.75	145.34	117.73	0.30	43600.00	148.22	153.50	160.16	153.96	124.71	0.29

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 2.75 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 19/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.15 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.37 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	8238.00	905.33	900.59	886.37	897.43	726.92	8.82	9700.00	681.95	704.30	760.40	715.55	579.60	5.98
B	2.00	8253.00	574.37	595.55	604.03	591.32	478.97	5.80	9750.00	457.70	509.36	524.60	497.22	402.75	4.13
C	3.00	8270.00	376.59	393.41	397.61	389.20	315.26	3.81	9790.00	325.28	357.54	366.95	349.92	283.44	2.90
D	4.00	8286.00	259.81	268.16	271.87	266.61	215.96	2.61	9840.00	232.39	248.78	252.64	244.60	198.13	2.01
E	5.00	8310.00	184.11	188.24	192.37	188.24	152.47	1.83	9870.00	150.71	158.82	158.82	156.12	126.46	1.28
F	6.00	8330.00	133.37	136.10	142.47	137.32	111.23	1.34	9910.00	102.65	109.37	111.34	107.79	87.31	0.88
G	7.00	8340.00	102.44	103.34	109.24	105.01	85.05	1.02	9950.00	76.48	81.55	84.67	80.90	65.53	0.66
H	8.00	8360.00	80.90	81.35	86.75	83.00	67.23	0.80	10000.00	60.00	63.46	66.54	63.33	51.30	0.51
I	9.00	8370.00	66.69	66.24	70.72	67.89	54.99	0.66	10020.00	46.28	47.81	50.48	48.19	39.03	0.39
J	10.00	8400.00	56.59	55.71	59.24	57.18	46.31	0.55	10060.00	36.68	37.82	40.09	38.20	30.94	0.31
K	11.00	8410.00	47.99	47.55	50.64	48.73	39.47	0.47	10110.00	32.46	33.20	35.07	33.58	27.20	0.27
L	12.00	8430.00	42.37	41.93	44.55	42.95	34.79	0.41	10140.00	28.13	28.50	30.35	28.99	23.48	0.23
M	13.00	8440.00	40.02	39.59	42.20	40.60	32.89	0.39	10160.00	26.50	26.50	28.34	27.12	21.97	0.22
N	14.00	8460.00	40.14	39.71	42.30	40.72	32.98	0.39	10210.00	27.61	27.61	29.07	28.10	22.76	0.22
O	15.00	8470.00	41.71	41.28	43.85	42.28	34.25	0.40	10280.00	32.13	32.13	33.20	32.48	26.31	0.26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษาตัวแปรกายภาพของ interior daylighting panel ที่ระดับ 3.00 m.

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.39-ค.40

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 13.10 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.12 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	71700.00	4130.20	3940.00	3923.92	3998.04	3238.41	4.52	70000.00	3599.45	3450.00	2752.75	3267.40	2646.59	3.78
B	2.00	73800.00	2779.20	2670.00	2272.27	2573.82	2084.80	2.82	71600.00	2537.95	2400.00	1861.86	2266.60	1835.95	2.56
C	3.00	74000.00	1881.75	1800.00	1671.67	1784.47	1445.42	1.95	71200.00	1708.05	1600.00	1419.42	1575.82	1276.42	1.79
D	4.00	73900.00	1103.00	1178.00	1094.09	1125.03	911.27	1.23	71400.00	1033.52	1104.00	987.99	1041.83	843.89	1.18
E	5.00	74100.00	770.07	807.00	765.77	780.95	632.57	0.85	71500.00	754.63	809.00	737.74	767.12	621.37	0.87
F	6.00	74300.00	576.11	594.00	572.57	580.89	470.52	0.63	71500.00	588.65	623.00	576.58	596.08	482.82	0.68
G	7.00	74500.00	442.94	450.00	441.44	444.79	360.28	0.48	71500.00	467.06	490.00	462.46	473.17	383.27	0.54
H	8.00	74600.00	328.10	339.00	333.33	333.48	270.12	0.36	71500.00	373.46	387.00	372.37	377.61	305.86	0.43
I	9.00	74800.00	257.66	264.00	264.26	261.97	212.20	0.28	71400.00	303.98	314.00	316.32	311.43	252.26	0.35
J	10.00	75300.00	219.06	223.00	224.22	222.09	179.90	0.24	71400.00	262.48	269.00	262.26	264.58	214.31	0.30
K	11.00	75000.00	186.25	188.00	189.19	187.81	152.13	0.20	71400.00	226.78	234.00	230.23	230.34	186.57	0.26
L	12.00	74800.00	165.98	166.00	176.38	169.45	137.26	0.18	71600.00	206.51	213.00	211.21	210.24	170.29	0.24
M	13.00	74700.00	161.16	161.00	170.17	164.11	132.93	0.18	71700.00	206.51	213.00	210.21	209.91	170.02	0.24
N	14.00	74800.00	170.81	169.80	178.68	173.09	140.21	0.19	71800.00	213.27	220.00	217.22	216.83	175.63	0.24
O	15.00	74400.00	183.35	186.00	185.19	184.85	149.72	0.20	71700.00	230.64	237.00	230.23	232.62	188.42	0.26

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.23 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.18 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	8877.00	910.57	1031.15	1022.83	988.18	800.43	9.02	12140.00	858.00	928.00	898.00	894.67	724.68	5.97
B	2.00	8886.00	578.81	658.30	644.03	627.05	507.91	5.72	12120.00	538.00	616.00	597.00	583.67	472.77	3.90
C	3.00	8894.00	370.58	428.67	418.66	405.97	328.84	3.70	12120.00	348.00	399.00	397.00	381.33	308.88	2.55
D	4.00	8903.00	245.67	286.94	283.01	271.87	220.22	2.47	12120.00	214.00	234.00	234.00	227.33	184.14	1.52
E	5.00	8915.00	165.43	192.69	190.88	183.00	148.23	1.66	12120.00	152.00	161.00	165.50	159.50	129.20	1.07
F	6.00	8929.00	123.12	141.22	141.22	135.19	109.50	1.23	12100.00	111.10	111.90	112.20	111.73	90.50	0.75
G	7.00	8948.00	93.43	107.81	109.60	103.61	83.93	0.94	12060.00	84.80	89.70	89.70	88.07	71.33	0.59
H	8.00	8909.00	73.51	84.01	84.01	80.51	65.22	0.73	12080.00	64.00	66.80	68.10	66.30	53.70	0.44
I	9.00	8924.00	59.61	66.42	66.42	64.15	51.96	0.58	12040.00	49.40	51.00	53.30	51.23	41.50	0.34
J	10.00	8950.00	48.82	52.07	53.70	51.53	41.74	0.47	12050.00	41.10	41.80	44.00	42.30	34.26	0.28
K	11.00	8955.00	41.95	45.18	46.79	44.64	36.16	0.40	12060.00	35.60	36.10	38.10	36.60	29.65	0.25
L	12.00	8965.00	38.08	39.67	41.25	39.67	32.13	0.36	12070.00	32.30	32.50	34.40	33.07	26.78	0.22
M	13.00	8986.00	35.27	36.80	36.80	36.29	29.40	0.33	12040.00	31.10	30.70	32.30	31.37	25.41	0.21
N	14.00	9008.00	35.56	37.04	38.52	37.04	30.00	0.33	12070.00	33.60	32.90	34.00	33.50	27.14	0.22
O	15.00	9026.00	37.49	38.93	40.37	38.93	31.53	0.35	12060.00	41.10	39.90	40.00	40.33	32.67	0.27

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.41-ค.42

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 12.51 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.58 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	76000.00	4130.20	3940.00	3493.49	3854.56	3122.20	4.11	66100.00	3300.30	3110.00	2522.52	2977.61	2411.86	3.65
B	2.00	76500.00	3323.79	3145.36	854.76	2441.30	1977.45	2.58	66600.00	2151.95	1990.00	1754.75	1965.57	1592.11	2.39
C	3.00	76300.00	2234.66	2211.03	1080.69	1842.12	1492.12	1.96	66600.00	1621.20	1539.00	1388.39	1516.20	1228.12	1.84
D	4.00	77300.00	1952.31	1160.96	1095.14	1402.80	1136.27	1.47	67000.00	1071.15	1168.00	1049.05	1096.07	887.81	1.33
E	5.00	76700.00	1009.68	1101.31	853.52	988.16	800.41	1.04	67100.00	849.20	918.00	821.82	863.01	699.04	1.04
F	6.00	76600.00	703.49	738.00	714.71	718.73	582.17	0.76	67100.00	661.99	710.00	651.65	674.55	546.38	0.81
G	7.00	76900.00	510.49	518.00	514.51	514.33	416.61	0.54	67300.00	525.93	548.00	520.52	531.48	430.50	0.64
H	8.00	76600.00	398.55	413.00	411.41	407.65	330.20	0.43	67300.00	425.57	437.00	417.42	426.66	345.60	0.51
I	9.00	76400.00	317.49	321.00	333.33	323.94	262.39	0.34	67400.00	350.30	365.00	351.35	355.55	287.99	0.43
J	10.00	76600.00	217.94	630.89	231.80	360.21	291.77	0.38	67600.00	310.73	322.00	306.31	313.01	253.54	0.38
K	11.00	76500.00	227.74	235.00	240.24	234.33	189.80	0.25	67700.00	273.10	285.00	274.27	277.46	224.74	0.33
L	12.00	76400.00	198.79	203.00	204.20	202.00	163.62	0.21	67800.00	248.01	258.00	251.25	252.42	204.46	0.30
M	13.00	76500.00	185.28	189.00	190.19	188.16	152.41	0.20	67800.00	244.15	254.00	249.25	249.13	201.80	0.30
N	14.00	76800.00	186.25	189.00	190.19	188.48	152.67	0.20	67900.00	251.87	261.00	256.26	256.37	207.66	0.31
O	15.00	77000.00	196.86	200.00	200.20	199.02	161.21	0.21	68100.00	263.45	274.00	267.27	268.24	217.27	0.32

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 3.00m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.27 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.20 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	8911.00	822.71	942.81	992.06	919.20	744.55	8.36	9000.00	630.07	616.30	637.64	628.00	508.68	5.65
B	2.00	8930.00	538.42	623.25	639.75	600.47	486.38	5.45	9020.00	390.82	413.83	424.64	409.76	331.91	3.68
C	3.00	8962.00	376.12	436.90	449.57	420.86	340.90	3.80	9030.00	268.50	286.64	303.01	286.05	231.70	2.57
D	4.00	8980.00	270.86	310.69	321.32	300.96	243.78	2.71	9040.00	178.40	185.42	197.98	187.27	151.69	1.68
E	5.00	9008.00	180.72	206.71	216.62	201.35	163.09	1.81	9060.00	134.17	134.17	142.25	136.86	110.86	1.22
F	6.00	9060.00	144.73	165.41	177.04	162.39	131.54	1.45	9070.00	96.39	95.30	98.95	96.88	78.47	0.87
G	7.00	9098.00	100.09	112.46	120.34	110.96	89.88	0.99	9080.00	78.04	75.41	78.41	77.28	62.60	0.69
H	8.00	9136.00	81.33	90.12	96.71	89.39	72.41	0.79	9090.00	57.48	55.34	58.55	57.13	46.28	0.51
I	9.00	9166.00	63.48	68.59	72.69	68.26	55.29	0.60	9100.00	41.60	40.63	43.23	41.82	33.87	0.37
J	10.00	9188.00	52.94	58.24	61.41	57.53	46.60	0.51	9110.00	33.07	32.42	34.69	33.39	27.05	0.30
K	11.00	9219.00	38.90	42.52	45.24	42.22	34.20	0.37	9140.00	30.25	29.61	31.54	30.47	24.68	0.27
L	12.00	9251.00	35.35	37.21	39.07	37.21	30.14	0.33	9150.00	27.29	26.65	28.57	27.50	22.28	0.24
M	13.00	9271.00	31.16	32.03	33.76	32.32	26.18	0.28	9160.00	26.26	25.94	27.54	26.58	21.53	0.24
N	14.00	9301.00	31.26	31.26	32.95	31.82	25.77	0.28	9180.00	27.73	27.73	29.01	28.16	22.81	0.25
O	15.00	9359.00	36.34	36.34	37.95	36.88	29.87	0.32	9190.00	30.21	29.89	30.85	30.32	24.56	0.27

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.43-ค.44

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 13.50 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.46 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	71200.00	3560.85	3440.00	3083.08	3361.31	2722.66	3.82	79500.00	3464.35	3320.00	2662.66	3149.00	2550.69	3.21
B	2.00	71600.00	2622.49	1461.58	2194.55	2092.87	1695.22	2.37	79800.00	2258.10	2150.00	1902.90	2103.67	1703.97	2.14
C	3.00	72000.00	1540.62	1474.81	1388.60	1468.01	1189.09	1.65	79800.00	1572.95	1490.00	1358.36	1473.77	1193.75	1.50
D	4.00	71900.00	956.32	1028.00	982.98	989.10	801.17	1.11	80400.00	960.18	1036.00	947.95	981.37	794.91	0.99
E	5.00	71300.00	646.55	701.00	695.70	681.08	551.68	0.77	80400.00	706.38	765.00	704.70	725.36	587.54	0.73
F	6.00	70700.00	463.20	506.00	509.51	492.90	399.25	0.56	80500.00	550.05	589.00	551.55	563.53	456.46	0.57
G	7.00	70700.00	353.19	384.00	390.39	375.86	304.45	0.43	80600.00	422.67	469.00	445.45	445.71	361.02	0.45
H	8.00	70900.00	268.27	295.00	303.30	288.86	233.97	0.33	80600.00	360.91	378.00	365.37	368.09	298.15	0.37
I	9.00	71000.00	212.30	231.00	241.24	228.18	184.83	0.26	80900.00	292.40	305.00	300.30	299.23	242.38	0.30
J	10.00	71000.00	177.56	191.00	200.20	189.59	153.57	0.22	81100.00	252.83	260.00	255.26	256.03	207.38	0.26
K	11.00	71300.00	133.17	161.00	178.88	157.68	127.72	0.18	81100.00	219.06	227.00	224.22	223.43	180.98	0.22
L	12.00	71600.00	128.06	141.70	158.26	142.67	115.56	0.16	81100.00	202.65	210.00	207.21	206.62	167.36	0.21
M	13.00	71700.00	127.77	135.40	149.15	137.44	111.33	0.16	80800.00	200.72	207.00	205.21	204.31	165.49	0.20
N	14.00	72100.00	132.30	141.20	153.15	142.22	115.20	0.16	80900.00	207.48	214.00	210.21	210.56	170.55	0.21
O	15.00	72000.00	161.64	174.00	180.58	172.07	139.38	0.19	80900.00	222.92	231.00	225.23	226.38	183.37	0.23

รูปแบบ เรียบระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.02 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.10 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	9750.00	841.00	853.00	870.00	854.67	692.28	7.10	12460.00	719.03	713.49	725.49	719.33	582.66	4.68
B	2.00	9780.00	538.00	573.00	581.00	564.00	456.84	4.67	12500.00	320.00	547.00	541.00	469.33	380.16	3.04
C	3.00	9800.00	349.00	375.00	384.00	369.33	299.16	3.05	12520.00	311.05	332.73	341.22	328.33	265.95	2.12
D	4.00	9810.00	239.00	255.00	263.00	252.33	204.39	2.08	12540.00	214.00	220.00	227.00	220.33	178.47	1.42
E	5.00	10000.00	170.00	179.00	185.00	178.00	144.18	1.44	12550.00	150.00	150.00	160.00	153.33	124.20	0.99
F	6.00	10080.00	128.00	134.00	146.00	136.00	110.16	1.09	12550.00	112.00	113.00	119.30	114.77	92.96	0.74
G	7.00	10140.00	99.40	102.70	111.10	104.40	84.56	0.83	12540.00	87.10	86.20	90.40	87.90	71.20	0.57
H	8.00	10190.00	77.90	79.60	86.10	81.20	65.77	0.65	12540.00	65.60	64.10	68.60	66.10	53.54	0.43
I	9.00	10240.00	63.30	64.10	69.70	65.70	53.22	0.52	12510.00	53.30	52.00	56.20	53.83	43.61	0.35
J	10.00	10380.00	54.50	54.40	58.70	55.87	45.25	0.44	12390.00	43.70	42.50	46.00	44.07	35.69	0.29
K	11.00	13900.00	47.00	47.00	50.70	48.23	39.07	0.28	12450.00	37.90	37.10	40.20	38.40	31.10	0.25
L	12.00	10460.00	43.00	42.90	46.00	43.97	35.61	0.34	12430.00	34.50	33.80	36.40	34.90	28.27	0.23
M	13.00	10500.00	41.50	41.50	44.10	42.37	34.32	0.33	12390.00	34.20	33.70	35.70	34.53	27.97	0.23
N	14.00	10560.00	42.50	42.60	45.30	43.47	35.21	0.33	12360.00	36.00	35.90	37.50	36.47	29.54	0.24
O	15.00	10640.00	45.00	44.80	47.50	45.77	37.07	0.35	12360.00	39.80	39.50	40.50	39.93	32.35	0.26

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.45-ค.46

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 11.37 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.23 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	72300.00	5302.70	4908.18	4122.72	4777.87	3870.07	5.35	51900.00	3030.10	2870.00	2322.32	2740.81	2220.05	4.28
B	2.00	72600.00	3422.24	3298.94	3281.60	3334.26	2700.75	3.72	52400.00	1939.65	1830.00	1613.61	1794.42	1453.48	2.77
C	3.00	72300.00	2209.85	2190.00	2200.20	2200.02	1782.01	2.46	52300.00	1122.30	1209.00	1075.07	1135.46	919.72	1.76
D	4.00	72300.00	1437.85	1378.00	1314.31	1376.72	1115.14	1.54	52600.00	760.42	806.00	726.73	764.38	619.15	1.18
E	5.00	73300.00	852.10	913.00	887.89	884.33	716.31	0.98	53600.00	534.61	552.00	526.53	537.71	435.55	0.81
F	6.00	73400.00	622.43	658.00	635.64	638.69	517.34	0.70	53800.00	401.44	417.00	399.40	405.95	328.82	0.61
G	7.00	73700.00	495.05	514.00	453.45	487.50	394.87	0.54	53800.00	309.77	317.00	312.31	313.03	253.55	0.47
H	8.00	73800.00	382.14	396.00	385.39	387.84	314.15	0.43	53700.00	245.11	253.00	250.25	249.45	202.06	0.38
I	9.00	73500.00	290.47	298.00	293.29	293.92	238.07	0.32	53900.00	195.90	204.00	203.20	201.03	162.84	0.30
J	10.00	74000.00	235.46	244.00	239.24	239.57	194.05	0.26	53900.00	158.26	169.00	178.18	168.48	136.47	0.25
K	11.00	74000.00	201.69	205.00	204.20	203.63	164.94	0.22	54000.00	143.79	148.70	159.36	150.61	122.00	0.23
L	12.00	73700.00	171.77	172.00	175.48	173.08	140.20	0.19	54100.00	131.24	138.00	147.15	138.80	112.42	0.21
M	13.00	73900.00	162.12	162.00	168.37	164.16	132.97	0.18	53900.00	131.82	137.70	145.95	138.49	112.18	0.21
N	14.00	74000.00	167.91	165.80	176.78	170.16	137.83	0.19	54000.00	140.41	145.60	153.15	146.39	118.57	0.22
O	15.00	74200.00	178.53	182.00	185.99	182.17	147.56	0.20	54100.00	169.65	173.00	174.17	172.27	139.54	0.26

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.32 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.51 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	9940.00	1157.14	1143.86	1128.68	1143.23	926.01	9.32	23700.00	1642.00	1810.00	1767.00	1739.67	1409.13	5.95
B	2.00	9970.00	752.95	758.63	720.79	744.12	602.74	6.05	23500.00	1066.00	1226.00	1202.00	1164.67	943.38	4.01
C	3.00	10000.00	492.45	500.00	471.70	488.05	395.32	3.95	23300.00	690.00	794.00	795.00	759.67	615.33	2.64
D	4.00	10010.00	337.44	333.67	333.86	334.99	271.34	2.71	23000.00	441.00	484.00	477.00	467.33	378.54	1.65
E	5.00	10050.00	228.05	235.38	241.01	234.81	190.20	1.89	22900.00	313.00	336.00	324.00	324.33	262.71	1.15
F	6.00	10080.00	167.88	172.00	178.18	172.68	139.87	1.39	22700.00	230.00	246.00	237.00	237.67	192.51	0.85
G	7.00	10110.00	117.55	128.01	134.55	126.70	102.63	1.02	22500.00	169.00	180.00	182.40	177.13	143.48	0.64
H	8.00	10150.00	99.82	100.20	125.15	108.39	87.80	0.86	22400.00	127.50	135.20	139.60	134.10	108.62	0.48
I	9.00	10170.00	81.06	80.32	85.90	82.43	66.77	0.66	22400.00	100.90	105.10	110.50	105.50	85.46	0.38
J	10.00	10210.00	68.19	67.08	53.55	62.94	50.98	0.50	22400.00	84.90	86.30	90.90	87.37	70.77	0.32
K	11.00	10240.00	58.41	57.48	62.11	59.33	48.06	0.47	22700.00	73.30	74.20	78.30	75.27	60.97	0.27
L	12.00	10270.00	51.44	50.34	54.21	52.00	42.12	0.41	22900.00	66.80	67.00	70.70	68.17	55.22	0.24
M	13.00	10310.00	47.97	47.23	50.91	48.70	39.45	0.38	22400.00	61.50	60.80	64.10	62.13	50.33	0.22
N	14.00	10350.00	48.18	47.63	49.64	48.48	39.27	0.38	22500.00	65.00	64.10	67.00	65.37	52.95	0.24
O	15.00	10380.00	49.52	49.16	52.08	50.26	40.71	0.39	21800.00	71.60	70.00	71.50	71.03	57.54	0.26

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.47-ค.48

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.13 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 11.15 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	37600.00	2634.45	2360.00	2012.01	2335.49	1891.74	5.03	71700	3176.46	3291.67	3011.09	3159.74	2559.39	3.57
B	2.00	37300.00	1687.64	1583.56	1548.85	1606.68	1301.41	3.49	71500	2382.45	2215.64	2299.18	2299.09	1862.26	2.60
C	3.00	37700.00	1073.08	1196.00	1192.19	1153.76	934.54	2.48	71600	1837.91	1738.05	1787.71	1787.89	1448.19	2.02
D	4.00	37900.00	758.64	795.27	768.69	774.20	627.10	1.65	71500	1196.14	1269.26	1189.45	1218.28	986.81	1.38
E	5.00	38000.00	520.38	536.19	522.44	526.33	426.33	1.12	71400	893.18	710.93	907.17	837.09	678.04	0.95
F	6.00	38000.00	397.58	397.00	382.38	392.32	317.78	0.84	71400	642.69	652.77	637.97	644.48	522.03	0.73
G	7.00	37500.00	296.26	310.00	306.31	304.19	246.39	0.66	71500	513.38	516.00	512.51	513.96	416.31	0.58
H	8.00	37200.00	219.06	221.00	226.23	222.09	179.90	0.48	71400	375.39	380.00	382.38	379.26	307.20	0.43
I	9.00	38000.00	180.46	182.00	188.49	183.65	148.75	0.39	71300	299.15	302.00	304.30	301.82	244.47	0.34
J	10.00	38700.00	149.58	146.80	154.05	150.14	121.62	0.31	71000	274.06	257.00	265.27	265.44	215.01	0.30
K	11.00	38500.00	116.57	117.30	124.62	119.50	96.79	0.25	70900	222.92	234.00	230.23	229.05	185.53	0.26
L	12.00	38100.00	109.05	109.20	111.61	109.95	89.06	0.23	71000	192.04	196.00	196.20	194.74	157.74	0.22
M	13.00	38100.00	97.75	97.50	105.41	100.22	81.18	0.21	71000	190.11	185.00	192.19	189.10	153.17	0.22
N	14.00	38400.00	92.16	94.50	97.30	94.65	76.67	0.20	71100	188.18	194.00	185.19	189.12	153.19	0.22
O	15.00	39100.00	104.51	107.70	111.31	107.84	87.35	0.22	71400	192.04	199.00	192.19	194.41	157.47	0.22

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 26/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.55 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.41 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	11410.00	1086.16	1178.96	1149.44	1138.19	921.93	8.08	10900.00	735.00	715.00	715.00	721.67	584.55	5.36
B	2.00	11350.00	738.28	814.65	778.59	777.17	629.51	5.55	10850.00	464.00	493.00	484.00	480.33	389.07	3.59
C	3.00	11390.00	527.53	566.28	521.07	538.29	436.01	3.83	10800.00	320.00	342.00	352.00	338.00	273.78	2.54
D	4.00	11390.00	330.04	423.31	432.16	395.17	320.09	2.81	10760.00	237.98	245.87	257.15	247.00	200.07	1.86
E	5.00	11350.00	250.05	279.56	296.25	275.29	222.98	1.96	10730.00	165.72	165.72	179.85	170.43	138.05	1.29
F	6.00	11340.00	205.58	225.53	236.14	222.42	180.16	1.59	10680.00	115.80	116.40	124.10	118.77	96.20	0.90
G	7.00	11330.00	157.15	173.38	184.20	171.57	138.97	1.23	10640.00	91.00	90.50	96.30	92.60	75.01	0.70
H	8.00	11330.00	119.30	128.12	134.42	127.28	103.10	0.91	10600.00	73.90	72.30	77.70	74.63	60.45	0.57
I	9.00	11330.00	93.68	98.88	103.14	98.57	79.84	0.70	10570.00	58.90	58.00	62.80	59.90	48.52	0.46
J	10.00	11320.00	70.01	73.41	78.09	73.84	59.81	0.53	10510.00	49.80	48.80	52.80	50.47	40.88	0.39
K	11.00	11310.00	57.72	60.70	64.54	60.99	49.40	0.44	10480.00	43.70	42.90	46.20	44.27	35.86	0.34
L	12.00	11310.00	51.97	54.74	58.79	55.17	44.68	0.40	10440.00	39.80	39.00	41.80	40.20	32.56	0.31
M	13.00	11320.00	48.30	49.15	52.77	50.07	40.56	0.36	10400.00	39.00	38.40	40.70	39.37	31.89	0.31
N	14.00	11310.00	45.79	46.43	46.65	46.29	37.50	0.33	10370.00	41.00	40.90	42.80	41.57	33.67	0.32
O	15.00	11300.00	46.48	46.91	48.82	47.40	38.40	0.34	10360.00	47.70	48.00	47.70	47.80	38.72	0.37

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.49-ค.50

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.45 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 13.32 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	48600.00	3020.45	2760.00	2332.33	2704.26	2190.45	4.51	72700.00	3521.71	3432.55	2973.44	3309.23	2680.48	3.69
B	2.00	48500.00	1930.00	1870.00	1770.77	1856.92	1504.11	3.10	72300.00	2451.57	2425.45	2082.40	2319.81	1879.05	2.60
C	3.00	48000.00	1126.16	1250.00	1198.20	1191.45	965.08	2.01	72800.00	1698.40	1680.00	1606.61	1661.67	1345.95	1.85
D	4.00	46600.00	747.88	781.00	742.74	757.21	613.34	1.32	72700.00	1043.17	1156.00	1117.12	1105.43	895.40	1.23
E	5.00	47100.00	524.00	542.00	522.52	529.51	428.90	0.91	72400.00	765.25	835.00	815.82	805.35	652.34	0.90
F	6.00	45800.00	397.58	405.00	393.39	398.66	322.91	0.71	72200.00	577.07	623.00	615.62	605.23	490.23	0.68
G	7.00	43000.00	299.15	302.00	292.29	297.81	241.23	0.56	72200.00	443.90	473.00	470.47	462.46	374.59	0.52
H	8.00	46900.00	227.74	236.00	227.23	230.32	186.56	0.40	72900.00	356.09	377.00	375.38	369.49	299.28	0.41
I	9.00	46600.00	113.87	185.00	180.58	159.82	129.45	0.28	72700.00	288.54	299.00	299.30	295.61	239.45	0.33
J	10.00	42800.00	132.98	135.80	138.44	135.74	109.95	0.26	72400.00	233.53	248.00	248.25	243.26	197.04	0.27
K	11.00	46000.00	114.35	116.60	124.92	118.63	96.09	0.21	72600.00	201.69	214.00	213.21	209.63	169.80	0.23
L	12.00	45000.00	106.54	107.90	113.51	109.32	88.55	0.20	72700.00	175.63	185.00	184.18	181.60	147.10	0.20
M	13.00	48900.00	100.55	102.20	107.11	103.29	83.66	0.17	72800.00	162.12	168.00	178.08	169.40	137.21	0.19
N	14.00	39300.00	106.34	109.50	115.42	110.42	89.44	0.23	71500.00	170.81	172.00	179.18	173.99	140.94	0.20
O	15.00	49300.00	119.27	123.20	126.43	122.97	99.60	0.20	72300.00	180.46	186.00	186.19	184.21	149.21	0.21

รูปแบบ เรียบระนาบเอียง ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 27/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.35 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.32 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	17040.00	1629.00	1615.00	1632.00	1625.33	1316.52	7.73	25900.00	1819.27	1568.34	1595.22	1660.95	1345.37	5.19
B	2.00	17050.00	1072.00	1108.00	1100.00	1093.33	885.60	5.19	25900.00	1069.16	1106.80	1105.90	1093.95	886.10	3.42
C	3.00	17060.00	687.00	719.00	728.00	711.33	576.18	3.38	26000.00	712.76	717.24	737.86	722.62	585.32	2.25
D	4.00	17060.00	464.00	482.00	498.00	481.33	389.88	2.29	26000.00	488.62	484.14	488.62	487.13	394.57	1.52
E	5.00	17060.00	332.00	344.00	359.00	345.00	279.45	1.64	26000.00	357.72	351.45	352.34	353.84	286.61	1.10
F	6.00	17060.00	249.00	259.00	269.00	259.00	209.79	1.23	26000.00	268.07	265.38	268.07	267.17	216.41	0.83
G	7.00	17050.00	194.00	199.00	207.00	200.00	162.00	0.95	26000.00	207.10	204.41	206.21	205.91	166.79	0.64
H	8.00	17040.00	153.00	155.00	169.90	159.30	129.03	0.76	26100.00	163.24	159.65	170.86	164.58	133.31	0.51
I	9.00	17040.00	124.30	126.80	138.70	129.93	105.25	0.62	26100.00	130.95	128.17	138.48	132.53	107.35	0.41
J	10.00	17010.00	106.80	107.70	106.20	106.90	86.59	0.51	26200.00	111.62	109.29	117.81	112.91	91.45	0.35
K	11.00	16990.00	91.70	92.50	99.90	94.70	76.71	0.45	26200.00	96.37	94.30	101.84	97.50	78.98	0.30
L	12.00	16980.00	83.20	83.60	89.80	85.53	69.28	0.41	26200.00	87.93	86.32	92.87	89.04	72.12	0.28
M	13.00	16980.00	80.50	80.50	85.80	82.27	66.64	0.39	26300.00	85.72	84.55	90.03	86.77	70.28	0.27
N	14.00	16950.00	80.80	80.50	84.70	82.00	66.42	0.39	26300.00	89.58	88.59	93.26	90.48	73.29	0.28
O	15.00	16920.00	82.20	82.20	86.40	83.60	67.72	0.40	26300.00	92.18	95.51	98.56	95.42	77.29	0.29

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.51-ค.52

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.58 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.42 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	54100.00	4168.80	3750.00	3323.32	3747.37	3035.37	5.61	65000.00	5104.85	4660.00	4014.01	4592.95	3720.29	5.72
B	2.00	53400.00	2760.22	2597.65	2181.48	2513.11	2035.62	3.81	65000.00	3116.95	3060.00	2658.66	2945.20	2385.61	3.67
C	3.00	50200.00	1776.05	1727.61	1632.01	1711.89	1386.63	2.76	64600.00	1930.00	1950.00	1939.94	1939.98	1571.38	2.43
D	4.00	50400.00	1320.79	1247.13	1231.25	1266.39	1025.78	2.04	64600.00	1064.40	1215.00	1226.23	1168.54	946.52	1.47
E	5.00	50200.00	866.63	920.80	910.34	899.26	728.40	1.45	64600.00	726.65	788.00	817.82	777.49	629.76	0.97
F	6.00	50300.00	645.65	684.88	679.04	669.85	542.58	1.08	64600.00	520.14	552.00	569.57	547.23	443.26	0.69
G	7.00	50400.00	528.93	544.45	542.25	538.54	436.22	0.87	64800.00	433.29	424.00	415.42	424.23	343.63	0.53
H	8.00	50500.00	436.18	468.00	475.48	459.89	372.51	0.74	64600.00	301.08	317.00	316.32	311.47	252.29	0.39
I	9.00	50800.00	359.95	379.00	393.39	377.45	305.73	0.60	64800.00	223.88	229.00	222.22	225.03	182.28	0.28
J	10.00	51200.00	311.70	323.00	315.32	316.67	256.50	0.50	64800.00	177.56	180.00	179.18	178.91	144.92	0.22
K	11.00	52400.00	260.55	264.00	265.27	263.27	213.25	0.41	64700.00	145.72	148.50	147.15	147.12	119.17	0.18
L	12.00	51700.00	241.25	246.00	243.24	243.50	197.23	0.38	64300.00	120.53	124.30	122.12	122.32	99.08	0.15
M	13.00	51700.00	230.64	236.00	233.23	233.29	188.96	0.37	64600.00	114.35	115.70	115.12	115.06	93.20	0.14
N	14.00	52000.00	224.85	228.00	228.23	227.02	183.89	0.35	66200.00	117.92	120.20	125.63	121.25	98.21	0.15
O	15.00	53200.00	222.92	226.00	228.23	225.71	182.83	0.34	66600.00	133.07	136.50	135.14	134.90	109.27	0.16

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Specular reflect. วันที่ 27/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.30 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.42 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	16170.00	1602.34	1761.95	1707.71	1690.67	1369.44	8.47	28000.00	2276.30	2040.26	1686.59	2001.05	1620.85	5.79
B	2.00	16360.00	1085.29	1217.25	1593.46	1298.67	1051.92	6.43	28100.00	1533.44	1472.49	1216.02	1407.32	1139.93	4.06
C	3.00	16420.00	843.00	925.00	835.00	867.67	702.81	4.28	28300.00	1058.35	1047.99	980.73	1029.02	833.51	2.95
D	4.00	16460.00	537.00	612.00	587.00	578.67	468.72	2.85	28600.00	697.61	787.28	741.68	742.19	601.17	2.10
E	5.00	16520.00	374.57	421.92	413.50	403.33	326.70	1.98	28700.00	502.85	566.09	537.47	535.47	433.73	1.51
F	6.00	16580.00	288.62	310.34	301.03	300.00	243.00	1.47	28300.00	367.49	408.50	392.29	389.43	315.44	1.11
G	7.00	16680.00	232.00	243.00	239.00	238.00	192.78	1.16	29000.00	289.44	317.94	305.83	304.40	246.57	0.85
H	8.00	16730.00	183.00	194.00	194.00	190.33	154.17	0.92	29200.00	230.71	251.53	244.93	242.39	196.34	0.67
I	9.00	16890.00	149.00	157.00	166.00	157.33	127.44	0.75	29200.00	191.06	206.08	201.30	199.48	161.58	0.55
J	10.00	16990.00	124.20	131.90	138.20	131.43	106.46	0.63	29200.00	158.61	168.72	165.78	164.37	133.14	0.46
K	11.00	17170.00	108.50	111.90	120.50	113.63	92.04	0.54	29300.00	139.57	147.12	144.77	143.82	116.50	0.40
L	12.00	17190.00	96.50	99.70	105.40	100.53	81.43	0.47	29300.00	122.12	127.80	126.68	125.53	101.68	0.35
M	13.00	17270.00	92.50	93.30	98.80	94.87	76.84	0.44	29200.00	117.16	121.41	120.91	119.82	97.06	0.33
N	14.00	17290.00	92.20	91.90	94.50	92.87	75.22	0.44	29200.00	120.16	124.52	124.64	123.11	99.72	0.34
O	15.00	17330.00	94.80	94.80	96.50	95.37	77.25	0.45	29400.00	125.29	127.34	128.09	126.91	102.79	0.35

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.53-ค.54

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.05 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.20 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	53100.00	3432.90	3226.24	2726.86	3128.67	2534.22	4.77	30400.00	1823.02	1970.57	1899.18	1897.59	1537.05	5.06
B	2.00	55173.90	2477.50	2429.82	2151.17	2352.83	1905.79	3.45	30400.00	1202.25	1359.86	1297.37	1286.49	1042.06	3.43
C	3.00	56656.50	1916.47	1795.27	1670.68	1794.14	1453.25	2.57	30400.00	876.15	981.21	986.27	947.88	767.78	2.53
D	4.00	56232.90	1425.22	1519.15	1424.72	1456.35	1179.64	2.10	30400.00	601.13	655.50	648.00	634.88	514.25	1.69
E	5.00	56656.50	1030.70	1088.44	1034.66	1051.26	851.52	1.50	30400.00	425.63	462.79	452.38	446.93	362.02	1.19
F	6.00	56444.70	762.38	803.00	781.06	782.15	633.54	1.12	30400.00	313.00	343.36	335.55	330.64	267.82	0.88
G	7.00	57080.10	668.41	690.86	673.60	677.62	548.87	0.96	30400.00	263.24	278.21	273.06	271.50	219.92	0.72
H	8.00	53797.20	495.98	508.99	499.50	501.50	406.22	0.76	30400.00	193.83	205.20	215.05	204.69	165.80	0.55
I	9.00	54962.10	388.54	395.87	389.49	391.30	316.95	0.58	30400.00	152.44	172.22	171.85	165.50	134.06	0.44
J	10.00	55809.30	343.39	346.99	343.78	334.72	271.12	0.49	30300.00	126.14	135.06	149.48	136.89	110.88	0.37
K	11.00	56656.50	270.18	270.54	282.93	274.55	222.39	0.39	30300.00	109.09	113.73	118.87	113.90	92.26	0.30
L	12.00	54220.80	241.72	239.95	241.79	241.15	195.33	0.36	30300.00	100.70	103.13	120.64	108.16	87.61	0.29
M	13.00	54856.20	230.11	230.16	239.85	233.37	189.03	0.34	30200.00	100.43	100.39	103.63	101.48	82.20	0.27
N	14.00	54538.50	221.63	224.42	233.00	226.35	183.34	0.34	30000.00	90.80	93.55	100.19	94.84	76.82	0.26
O	15.00	58245.00	199.84	207.21	214.37	207.14	167.78	0.29	30000.00	96.85	100.50	105.51	100.96	81.77	0.27

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Spread reflect. วันที่ 27/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.00 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.38 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	12600.00	1472.64	1589.03	1442.27	1501.31	1216.06	9.65	26100.00	1936.49	1713.43	1411.26	1687.06	1366.52	5.24
B	2.00	12800.00	896.12	971.48	880.81	916.14	742.07	5.80	26400.00	1383.20	1330.58	1097.54	1270.44	1029.06	3.90
C	3.00	12710.00	619.58	683.98	613.51	639.02	517.61	4.07	26300.00	938.66	938.49	868.48	915.21	741.32	2.82
D	4.00	12710.00	478.50	528.34	477.07	494.64	400.66	3.15	26300.00	682.06	822.37	654.55	719.66	582.92	2.22
E	5.00	12740.00	355.62	387.30	355.62	366.18	296.61	2.33	26900.00	544.07	612.68	581.60	579.45	469.35	1.74
F	6.00	12820.00	247.85	265.74	259.97	257.85	208.86	1.63	26700.00	401.01	441.63	425.05	422.56	342.27	1.28
G	7.00	12850.00	187.86	201.18	198.44	195.83	158.62	1.23	27100.00	305.94	332.71	322.00	320.22	259.38	0.96
H	8.00	12930.00	141.69	155.75	155.21	150.89	122.22	0.95	27200.00	235.18	255.36	245.98	245.51	198.86	0.73
I	9.00	13000.00	121.58	127.93	128.06	125.86	101.95	0.78	27200.00	180.43	200.69	195.40	192.17	155.66	0.57
J	10.00	13080.00	94.65	97.50	98.40	96.85	78.45	0.60	27200.00	151.31	163.66	158.79	157.92	127.91	0.47
K	11.00	13010.00	74.28	75.67	76.71	75.55	61.20	0.47	27100.00	148.59	108.78	157.81	138.40	112.10	0.41
L	12.00	13120.00	65.72	66.18	67.45	66.45	53.82	0.41	27800.00	127.66	134.61	131.96	131.41	106.44	0.38
M	13.00	13200.00	62.18	61.83	62.99	62.33	50.49	0.38	27800.00	120.07	125.82	122.24	122.71	99.40	0.36
N	14.00	13210.00	61.94	61.25	62.52	61.90	50.14	0.38	27800.00	118.74	122.58	120.85	120.72	97.78	0.35
O	15.00	13140.00	67.32	67.55	69.29	68.06	55.13	0.42	28200.00	114.70	117.93	117.11	116.58	94.43	0.33

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.55-ค.56

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 14/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 11.55 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.30 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	77200.00	5162.75	4840.00	4124.12	4708.96	3814.25	4.94	58400.00	3271.35	3100.00	3383.38	3251.58	2633.78	4.51
B	2.00	77300.00	3300.30	3250.00	2782.78	3111.03	2519.93	3.26	59000.00	2248.45	2110.00	2332.33	2230.26	1806.51	3.06
C	3.00	77400.00	2142.30	2180.00	1861.86	2061.39	1669.72	2.16	59100.00	1447.50	1365.00	1501.50	1438.00	1164.78	1.97
D	4.00	77400.00	1180.20	1316.00	1291.29	1262.50	1022.62	1.32	59800.00	866.57	932.00	898.90	899.16	728.32	1.22
E	5.00	77100.00	839.55	890.00	870.87	866.81	702.11	0.91	60800.00	634.01	673.00	653.65	653.55	529.38	0.87
F	6.00	77000.00	606.02	642.00	624.62	624.21	505.61	0.66	60700.00	475.75	499.00	493.49	489.41	396.42	0.65
G	7.00	77100.00	469.96	487.00	470.47	475.81	385.40	0.50	59200.00	364.77	376.00	370.37	370.38	300.01	0.51
H	8.00	76100.00	361.88	375.00	362.36	366.41	296.79	0.39	59900.00	286.61	293.00	290.29	289.97	234.87	0.39
I	9.00	76100.00	275.99	281.00	279.28	278.76	225.79	0.30	60500.00	221.95	224.00	223.22	223.06	180.68	0.30
J	10.00	76200.00	221.95	225.00	225.23	224.06	181.49	0.24	61000.00	184.32	186.00	185.19	185.17	149.99	0.25
K	11.00	76100.00	186.25	190.00	190.19	188.81	152.94	0.20	61200.00	158.26	159.00	158.16	158.47	128.36	0.21
L	12.00	75700.00	161.16	162.00	167.67	163.61	132.52	0.18	60700.00	136.64	138.50	137.14	137.43	111.32	0.18
M	13.00	75700.00	146.68	146.70	153.75	149.04	120.73	0.16	61000.00	128.44	129.80	129.13	129.12	104.59	0.17
N	14.00	75800.00	148.61	150.30	156.66	151.86	123.00	0.16	61400.00	134.52	135.20	135.14	134.95	109.31	0.18
O	15.00	75700.00	161.44	165.10	165.47	164.00	132.84	0.18	60600.00	147.65	156.20	152.15	152.00	123.12	0.20

รูปแบบ โค้งระนาบนอน ระดับ 3.00 m. สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ Diffuse reflect. วันที่ 27/03/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.28 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.48 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	26600.00	2146.03	2632.95	2389.49	2389.49	1935.49	7.28	29700.00	1892.15	1666.67	1490.46	1683.09	1363.30	4.59
B	2.00	26600.00	2056.57	1853.56	1650.55	1853.56	1501.38	5.64	29600.00	1286.24	1238.14	1184.99	1236.45	1001.53	3.38
C	3.00	26600.00	1343.53	1212.78	1225.40	1260.57	1021.06	3.84	29500.00	922.27	876.48	883.41	894.05	724.18	2.45
D	4.00	26700.00	788.37	823.55	846.10	819.34	663.67	2.49	29500.00	588.62	626.07	635.72	616.80	499.61	1.69
E	5.00	26700.00	568.28	595.34	619.69	594.44	481.49	1.80	29400.00	438.27	448.01	412.17	432.82	350.58	1.19
F	6.00	26700.00	434.78	451.01	471.76	452.52	366.54	1.37	29400.00	324.68	322.95	327.14	324.92	263.19	0.90
G	7.00	26800.00	338.38	347.41	362.75	349.51	283.11	1.06	29300.00	243.88	249.15	248.20	247.08	200.13	0.68
H	8.00	26900.00	273.51	277.12	289.76	280.13	226.91	0.84	29300.00	200.90	204.97	207.11	204.33	165.50	0.56
I	9.00	26900.00	222.96	223.87	234.70	227.18	184.01	0.68	29300.00	161.83	164.49	172.37	166.23	134.65	0.46
J	10.00	27000.00	284.45	191.44	196.86	224.25	181.64	0.67	29300.00	141.99	143.29	140.86	142.05	115.06	0.39
K	11.00	27100.00	165.31	162.60	168.02	165.31	133.90	0.49	29300.00	115.95	114.37	122.53	117.62	95.27	0.33
L	12.00	27100.00	148.15	145.44	157.45	150.34	121.78	0.45	29300.00	105.41	105.38	111.08	107.29	86.90	0.30
M	13.00	27200.00	137.36	134.92	144.77	139.01	112.60	0.41	29300.00	102.93	104.09	109.02	105.35	85.33	0.29
N	14.00	27400.00	141.07	137.90	147.40	142.12	115.12	0.42	29300.00	102.31	102.16	108.31	104.26	84.45	0.29
O	15.00	27500.00	144.74	139.40	149.08	144.41	116.97	0.43	29300.00	103.55	103.26	107.54	104.78	84.87	0.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลองและค่า daylight factor ที่วัดผลได้จากค่าความส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานของหุ่นจำลองของการศึกษาตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของ interior daylighting panel ด้วยการใช้ light shelves ลักษณะต่าง ๆ

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.57-ค.58

รูปแบบ ใช้ light shelves ปรับมุม 30 องศา อย่างเดียว สภาพท้องฟ้า Clear sky
พื้นผิววัสดุ - วันที่ 21/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 10.54 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 11.10 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	87700.00	4953.03	4581.14	3909.69	4481.29	3629.84	4.14	87200.00	4691.16	4463.84	3856.21	4337.07	3513.03	4.03
B	2.00	87700.00	3480.51	3521.63	2982.00	3328.05	2695.72	3.07	86700.00	3204.31	3105.84	2650.49	2986.88	2419.37	2.79
C	3.00	87800.00	2470.98	2658.61	2379.20	2502.93	2027.37	2.31	89000.00	2320.46	2277.32	2159.24	2252.34	1824.40	2.05
D	4.00	87700.00	1589.27	1858.75	1865.78	1771.27	1434.73	1.64	89200.00	1433.87	1639.15	1603.47	1558.83	1262.65	1.42
E	5.00	87900.00	1144.67	1282.85	1275.77	1234.43	999.89	1.14	88900.00	993.57	1121.21	1195.69	1103.49	893.83	1.01
F	6.00	88100.00	788.67	895.78	883.76	856.07	693.42	0.79	89000.00	723.13	805.03	827.01	785.06	635.90	0.71
G	7.00	88200.00	569.35	680.00	640.64	630.00	510.30	0.58	88700.00	523.03	577.00	572.57	557.53	451.60	0.51
H	8.00	88300.00	451.62	511.00	515.52	492.71	399.10	0.45	86900.00	428.46	464.00	461.46	451.31	365.56	0.42
I	9.00	88300.00	376.35	416.00	429.43	407.26	329.88	0.37	88100.00	362.84	388.00	385.39	378.74	306.78	0.35
J	10.00	88400.00	330.03	358.00	367.37	351.80	284.96	0.32	88600.00	318.45	336.00	330.33	328.26	265.89	0.30
K	11.00	88400.00	291.43	314.00	324.32	309.92	251.03	0.28	88800.00	285.64	306.00	293.29	294.98	238.93	0.27
L	12.00	88500.00	272.13	291.00	299.30	287.48	232.86	0.26	88700.00	267.31	305.00	271.27	281.19	227.77	0.26
M	13.00	88300.00	267.31	283.00	288.29	279.53	226.42	0.26	88900.00	264.41	280.00	266.27	270.23	218.88	0.25
N	14.00	88200.00	274.06	289.00	292.29	285.12	230.95	0.26	89200.00	274.06	282.00	269.27	275.11	222.84	0.25
O	15.00	88300.00	274.06	286.00	293.29	284.45	230.41	0.26	89200.00	289.50	293.00	275.28	285.93	231.60	0.26

รูปแบบ ใช้ light shelves ปรับมุม 30 องศาอย่างเดียว สภาพท้องฟ้า Overcast sky
พื้นผิววัสดุ - วันที่ 22/05/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.35 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.12 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	10160.00	972.04	940.29	959.83	957.38	775.48	7.63	14750.00	967.24	969.03	1013.73	983.33	796.50	5.40
B	2.00	10190.00	661.50	649.34	634.75	648.53	525.31	5.16	14780.00	649.75	665.81	692.59	669.38	542.20	3.67
C	3.00	10220.00	423.82	421.39	455.54	433.58	351.20	3.44	14820.00	445.31	450.66	472.03	456.00	369.36	2.49
D	4.00	10260.00	287.13	288.13	315.29	296.85	240.45	2.34	14840.00	318.51	313.17	338.08	323.25	261.84	1.76
E	5.00	10300.00	204.08	203.13	224.68	210.63	170.61	1.66	14880.00	225.15	230.48	250.90	235.51	190.76	1.28
F	6.00	10360.00	153.26	150.17	172.75	158.73	128.57	1.24	14910.00	161.86	163.81	182.78	169.49	137.29	0.92
G	7.00	10390.00	118.10	115.02	129.46	120.86	97.90	0.94	14900.00	123.81	123.46	139.24	128.84	104.36	0.70
H	8.00	10420.00	95.95	92.88	105.14	97.99	79.37	0.76	14910.00	98.57	96.98	109.56	101.70	82.38	0.55
I	9.00	10460.00	78.33	75.52	84.67	79.51	64.40	0.62	14940.00	81.43	80.72	92.22	84.79	68.68	0.46
J	10.00	10500.00	66.27	63.23	71.40	66.97	54.24	0.52	15010.00	71.26	68.96	77.78	72.67	58.86	0.39
K	11.00	10530.00	57.18	54.86	61.83	57.96	46.95	0.45	15040.00	61.82	60.41	67.63	63.28	51.26	0.34
L	12.00	10570.00	51.81	49.50	55.74	52.35	42.40	0.40	15070.00	56.80	55.39	61.72	57.97	46.96	0.31
M	13.00	10600.00	49.08	46.78	51.39	49.08	39.76	0.38	15100.00	56.89	54.61	59.35	56.95	46.13	0.31
N	14.00	10640.00	51.37	49.76	53.89	51.67	41.85	0.39	14940.00	60.54	59.12	63.02	60.89	49.32	0.33
O	15.00	10670.00	53.24	51.64	56.66	53.85	43.61	0.41	15150.00	64.10	62.18	66.73	64.34	52.11	0.34

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.59-ค.60

รูปแบบ ใช้ light shelves โค้งอย่างเดียว สภาพท้องฟ้า Clear sky
พื้นผิววัสดุ วันที่ 21/04/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 09.11 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 10.47 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	57400.00	3556.21	3537.30	3084.35	3392.62	2748.02	4.79	83500.00	4631.41	4500.31	3963.10	4364.94	3535.60	4.23
B	2.00	57400.00	2607.21	2651.27	2388.53	2549.00	2064.69	3.60	83200.00	3286.13	3265.18	2875.67	3142.33	2545.29	3.06
C	3.00	57400.00	1989.29	1963.87	1774.62	1909.26	1546.50	2.69	82900.00	2391.58	2395.25	2342.21	2376.35	1924.84	2.32
D	4.00	57600.00	1362.58	1532.10	1384.13	1426.27	1155.28	2.01	83400.00	1571.94	1801.51	1742.51	1705.32	1381.31	1.66
E	5.00	57700.00	967.93	1079.18	980.59	1009.23	817.48	1.42	83100.00	1103.14	1254.73	1208.83	1188.90	963.01	1.16
F	6.00	57600.00	691.38	756.72	696.33	714.81	579.00	1.01	83700.00	781.19	876.98	847.97	835.38	676.66	0.81
G	7.00	57700.00	486.33	523.98	486.95	499.09	404.26	0.70	83400.00	567.42	626.00	609.61	601.01	486.82	0.58
H	8.00	58000.00	392.28	409.01	395.65	398.98	323.17	0.56	83700.00	467.06	508.00	498.50	491.19	397.86	0.48
I	9.00	57600.00	288.88	308.60	292.71	296.73	240.35	0.42	83800.00	391.79	422.00	414.41	409.40	331.62	0.40
J	10.00	58000.00	270.89	278.26	265.04	271.40	219.83	0.38	83700.00	344.51	364.00	357.36	355.29	287.78	0.34
K	11.00	58000.00	229.42	240.15	230.73	233.43	189.08	0.33	83700.00	304.94	321.00	315.32	313.75	254.14	0.30
L	12.00	58000.00	210.66	217.08	222.21	216.65	175.49	0.30	83500.00	282.75	296.00	290.29	289.68	234.64	0.28
M	13.00	58000.00	202.08	206.94	212.85	207.29	167.90	0.29	83300.00	275.99	286.00	279.28	280.42	227.14	0.27
N	14.00	58200.00	198.26	201.93	207.07	202.42	163.96	0.28	83300.00	288.54	290.00	282.28	286.94	232.42	0.28
O	15.00	58100.00	211.96	216.34	209.92	212.74	172.32	0.30	83300.00	302.05	305.00	293.29	300.11	243.09	0.29

รูปแบบ ใช้ light shelves โค้งอย่างเดียว สภาพท้องฟ้า Overcast sky
พื้นผิววัสดุ วันที่ 22/05/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 07.55 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.43 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	13560.00	1379.05	1356.00	1369.44	1368.16	1108.21	8.17	11880.00	794.94	805.98	834.69	811.87	657.61	5.54
B	2.00	13630.00	940.53	946.26	913.76	933.52	756.15	5.55	11890.00	574.96	599.01	632.69	602.22	487.80	4.10
C	3.00	13660.00	623.86	625.77	614.32	621.31	503.26	3.68	11930.00	400.45	407.73	458.69	422.29	342.05	2.87
D	4.00	13690.00	443.16	431.18	425.20	433.18	350.88	2.56	11990.00	294.94	295.44	327.85	306.08	247.92	2.07
E	5.00	13730.00	314.63	305.29	311.38	310.43	251.45	1.83	12010.00	209.08	214.12	236.65	219.95	178.16	1.48
F	6.00	13770.00	221.99	217.82	237.90	225.90	182.98	1.33	12040.00	148.61	149.77	169.97	156.12	126.46	1.05
G	7.00	13790.00	174.03	169.11	185.00	176.05	142.60	1.03	12060.00	109.10	108.45	123.64	113.73	92.12	0.76
H	8.00	13840.00	140.47	135.19	149.34	141.67	114.75	0.83	12120.00	86.91	85.83	97.91	90.22	73.08	0.60
I	9.00	13950.00	117.22	111.60	123.58	117.47	95.15	0.68	12140.00	73.18	72.11	82.87	76.05	61.60	0.51
J	10.00	14000.00	97.63	92.21	102.29	97.38	78.88	0.56	12190.00	62.99	60.84	69.20	64.34	52.12	0.43
K	11.00	14050.00	83.93	80.21	88.39	84.18	68.18	0.49	12340.00	54.52	53.04	60.01	55.85	45.24	0.37
L	12.00	14110.00	74.35	78.06	79.36	77.26	62.58	0.44	12260.00	50.44	49.17	50.87	50.16	40.63	0.33
M	13.00	14160.00	70.43	66.92	74.13	70.49	57.10	0.40	12310.00	49.58	47.67	52.97	50.07	40.56	0.33
N	14.00	14190.00	72.89	70.49	76.39	73.26	59.34	0.42	12340.00	52.19	50.92	54.94	52.68	42.67	0.35
O	15.00	14280.00	75.44	72.32	72.32	73.36	59.42	0.42	12370.00	55.00	53.53	58.58	55.70	45.12	0.36

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.61-ค.62

รูปแบบ lighting panel ร่วมกับ light shelves ปรับมุม สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ วันที่ 24/05/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.24 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.20 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	38000.00	4830.26	4209.88	4023.30	4354.48	3527.13	9.28	60400	5302.34	4754.44	4060.99	4705.92	3811.80	6.31
B	2.00	39712.50	3596.49	3153.56	2582.77	3110.94	2519.86	6.35	60400	3439.77	3535.07	3302.70	3425.85	2774.94	4.59
C	3.00	40983.30	2585.40	2259.98	1933.85	2259.74	1830.39	4.47	60500	2331.68	2431.84	2683.94	2482.49	2010.82	3.32
D	4.00	42677.70	1836.30	1569.67	1509.80	1638.59	1327.26	3.11	60600	1583.77	1847.28	1957.80	1796.28	1454.99	2.40
E	5.00	43313.10	1284.29	1071.36	1056.61	1137.42	921.31	2.13	60700	1207.12	1367.06	1406.54	1326.91	1074.79	1.77
F	6.00	45007.50	954.54	906.73	909.56	923.61	748.12	1.66	60700	1028.26	1141.35	1149.18	1106.26	896.07	1.48
G	7.00	46066.50	773.93	740.00	749.75	754.56	611.19	1.33	60800	819.58	898.44	901.68	873.23	707.32	1.16
H	8.00	46384.20	589.62	572.00	588.59	583.40	472.55	1.02	60900	642.05	698.13	701.17	680.45	551.16	0.91
I	9.00	47125.50	466.10	458.00	481.48	468.53	379.51	0.81	61000	504.24	540.95	546.10	530.43	429.65	0.70
J	10.00	47337.30	397.58	384.00	401.40	394.33	319.40	0.67	61100	435.66	463.16	463.62	454.15	367.86	0.60
K	11.00	47866.80	337.75	329.00	444.44	370.40	300.02	0.63	61100	389.88	411.23	431.38	410.83	332.77	0.54
L	12.00	48078.60	299.15	291.00	305.31	298.49	241.77	0.50	61200	327.90	340.69	351.92	340.17	275.54	0.45
M	13.00	48078.60	280.82	271.00	281.28	277.70	224.94	0.47	61600	324.86	337.79	351.83	338.16	273.91	0.44
N	14.00	48078.60	279.85	272.00	277.28	276.38	223.86	0.47	61600	313.02	326.05	339.95	326.34	264.34	0.43
O	15.00	48396.30	277.92	269.00	277.28	274.73	222.53	0.46	61800	325.83	330.55	348.56	334.98	271.33	0.44

รูปแบบ lighting panel ร่วมกับ light shelves ปรับมุม สภาพท้องฟ้า Overcast sky

พื้นผิววัสดุ วันที่ 23/05/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.20 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 08.00 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	16830.00	2466.82	2099.17	2130.01	2232.00	1807.92	10.74	12800.00	1251.85	1238.12	1283.05	1257.67	1018.71	7.96
B	2.00	16880.00	1633.81	1451.40	1426.79	1504.00	1218.24	7.22	12800.00	887.91	899.02	894.08	893.67	723.87	5.66
C	3.00	16910.00	1056.80	1073.44	1081.77	1070.67	867.24	5.13	12820.00	640.46	641.69	647.84	643.33	521.10	4.06
D	4.00	16900.00	788.33	784.57	817.11	796.67	645.30	3.82	12830.00	475.54	471.73	471.73	473.00	383.13	2.99
E	5.00	16920.00	586.16	578.79	607.05	590.67	478.44	2.83	12900.00	361.75	360.37	365.89	362.67	293.76	2.28
F	6.00	16960.00	400.33	398.08	420.57	406.33	329.13	1.94	12960.00	280.64	277.54	286.84	281.67	228.15	1.76
G	7.00	17010.00	294.91	290.77	307.33	297.67	241.11	1.42	12980.00	188.61	187.60	207.98	194.73	157.73	1.22
H	8.00	17040.00	240.96	235.74	249.30	242.00	196.02	1.15	13000.00	139.43	137.49	153.98	143.63	116.34	0.89
I	9.00	17000.00	209.96	204.44	216.59	210.33	170.37	1.00	13020.00	100.23	99.49	112.97	104.23	84.43	0.65
J	10.00	17040.00	170.39	164.87	181.64	172.30	139.56	0.82	13040.00	68.60	66.60	74.80	70.00	56.70	0.43
K	11.00	17090.00	140.80	136.40	150.20	142.47	115.40	0.68	13070.00	59.50	58.10	64.90	60.83	49.28	0.38
L	12.00	17110.00	124.05	120.85	132.29	125.73	101.84	0.60	13090.00	53.90	52.70	58.10	54.90	44.47	0.34
M	13.00	17130.00	110.92	108.12	117.06	112.03	90.74	0.53	13080.00	62.80	51.00	55.80	56.53	45.79	0.35
N	14.00	17170.00	106.45	103.88	111.67	107.33	86.94	0.51	13110.00	55.00	53.90	58.00	55.63	45.06	0.34
O	15.00	17200.00	104.62	102.12	111.17	105.97	85.84	0.50	13130.00	58.00	56.60	61.60	58.73	47.57	0.36

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ ค.63-ค.64

รูปแบบ lighting panel ร่วมกับ light shelves โค้ง สภาพท้องฟ้า Clear sky

พื้นผิววัสดุ วันที่ 24/05/2553

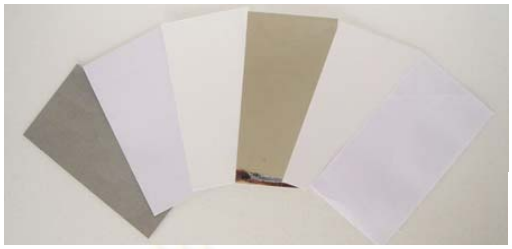
ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.40 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 09.26 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	32900.00	4867.55	4212.96	3748.60	4276.37	3463.86	10.53	63900.00	6228.17	5888.96	5284.52	5800.55	4698.45	7.35
B	2.00	32800.00	3530.83	3098.26	2353.09	2994.06	2425.19	7.39	63900.00	3995.82	4404.39	4269.08	4223.10	3420.71	5.35
C	3.00	44300.00	3233.04	2729.54	2211.40	2724.66	2206.97	4.98	64000.00	2745.49	3102.25	3282.34	3043.36	2465.12	3.85
D	4.00	41900.00	2053.84	1718.69	1595.61	1789.38	1449.40	3.46	64000.00	1756.58	2205.75	2605.69	2189.34	1773.37	2.77
E	5.00	39000.00	1252.09	1049.10	1022.81	1108.00	897.48	2.30	64000.00	1282.93	1575.53	1856.49	1571.65	1273.04	1.99
F	6.00	39400.00	898.89	876.88	887.88	887.88	719.18	1.83	64100.00	1084.85	1304.94	1505.26	1298.35	1051.66	1.64
G	7.00	39300.00	751.02	736.83	755.50	747.78	605.70	1.54	64100.00	918.97	1078.63	1215.88	1071.16	867.64	1.35
H	8.00	39000.00	557.55	547.02	569.55	558.04	452.01	1.16	64100.00	761.02	876.25	954.64	863.97	699.82	1.09
I	9.00	39200.00	417.38	411.52	436.10	421.67	341.55	0.87	64100.00	610.21	685.03	718.18	671.14	543.62	0.85
J	10.00	39200.00	335.82	326.00	339.34	333.72	270.31	0.69	64100.00	512.34	562.51	567.02	547.29	443.30	0.69
K	11.00	39000.00	281.78	276.00	288.29	282.02	228.44	0.59	64200.00	445.55	479.47	474.03	466.35	377.74	0.59
L	12.00	38700.00	247.04	241.00	252.25	246.76	199.88	0.52	64200.00	395.34	417.52	412.05	408.30	330.72	0.52
M	13.00	38700.00	230.64	224.00	232.23	228.96	185.45	0.48	64300.00	363.50	374.83	367.77	368.70	298.65	0.46
N	14.00	38300.00	230.64	226.00	230.23	228.96	185.45	0.48	64400.00	367.60	377.25	372.10	372.32	301.58	0.47
O	15.00	38000.00	229.67	224.00	231.23	228.30	184.92	0.49	64500.00	379.09	387.20	387.59	384.63	311.55	0.48

รูปแบบ lighting panel ร่วมกับ light shelves โค้ง สภาพท้องฟ้า Overcast sky

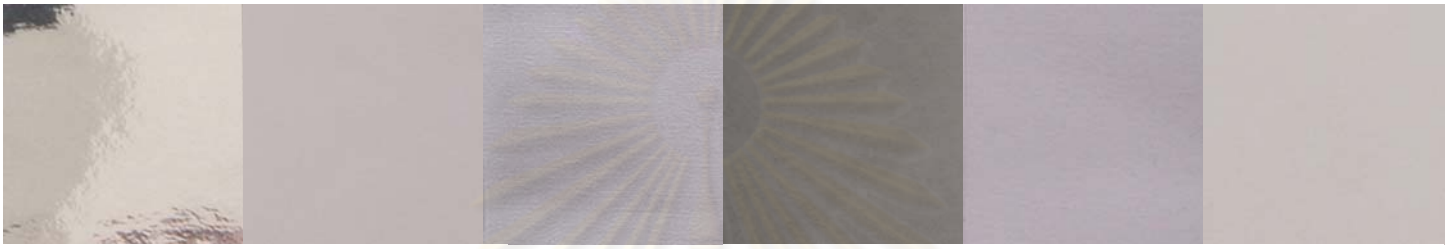
พื้นผิววัสดุ วันที่ 23/05/2553

ตำแหน่ง	ระยะ	ช่องเปิดทิศเหนือ เวลา 08.25 น.							ช่องเปิดทิศใต้ เวลา 07.44 น.						
		E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF	E ex	E in 1	E in 2	E in 3	E in เฉลี่ย	E in เฉลี่ยx Dirt x Trans	% DF
A	1.00	19400.00	2949.85	2540.48	2299.68	2596.67	2103.30	10.84	10780.00	902.00	892.00	907.00	1290.33	1045.17	9.70
B	2.00	19400.00	2076.00	1837.38	1832.61	1915.33	1551.42	8.00	10800.00	892.33	913.34	920.34	908.67	736.02	6.82
C	3.00	19500.00	1365.39	1386.54	1438.09	1396.67	1131.30	5.80	10820.00	659.25	666.54	678.21	668.00	541.08	5.00
D	4.00	19500.00	1000.09	1016.18	1053.72	1023.33	828.90	4.25	10870.00	505.00	501.89	508.11	505.00	409.05	3.76
E	5.00	19500.00	743.56	751.56	788.87	761.33	616.68	3.16	10860.00	354.03	355.62	376.35	362.00	293.22	2.70
F	6.00	19600.00	526.23	522.65	544.13	531.00	430.11	2.19	10890.00	252.16	252.16	276.29	260.20	210.76	1.94
G	7.00	19600.00	375.91	370.59	385.49	377.33	305.64	1.56	10900.00	197.36	196.87	218.89	204.37	165.54	1.52
H	8.00	19700.00	312.06	304.40	317.53	311.33	252.18	1.28	10910.00	141.49	139.81	156.40	145.90	118.18	1.08
I	9.00	19700.00	252.14	243.59	254.27	250.00	202.50	1.03	10940.00	104.44	102.91	116.35	107.90	87.40	0.80
J	10.00	19800.00	219.34	209.42	218.24	215.67	174.69	0.88	10980.00	73.04	70.73	79.05	74.27	60.16	0.55
K	11.00	19800.00	183.98	175.52	193.70	184.40	149.36	0.75	11010.00	54.50	53.10	59.20	65.60	53.14	0.48
L	12.00	19800.00	155.00	147.64	162.26	154.97	125.53	0.63	11050.00	49.70	48.20	53.50	60.47	48.98	0.44
M	13.00	19900.00	143.00	137.13	148.87	143.00	115.83	0.58	11080.00	48.10	46.40	51.20	58.57	47.44	0.43
N	14.00	19900.00	137.98	132.59	142.73	137.77	111.59	0.56	11130.00	49.80	48.70	52.50	50.33	40.77	0.37
O	15.00	19900.00	133.98	127.97	139.54	133.83	108.40	0.54	11160.00	52.50	51.20	56.10	53.27	43.15	0.39

ภาคผนวก ง.
ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ง.1 แสดงลักษณะวัสดุที่ใช้ในการทดลอง



1.สติกเกอร์สีเงินมันวาว 2. สติกเกอร์ PVC สีขาว 3. ผ้า LININ 4. กระดาษโปสเตอร์เทา 5. กระดาษเทา - ขาว 6. กระดาษอาร์ตขาว

ตารางที่ ง.1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของสติกเกอร์สีเงินมันวาว

รูปแบบการสะท้อนแสง	การสะท้อนแสงแบบกระจกเงา (Specular reflect)									
แทนค่าด้วยวัสดุ	สติกเกอร์สีเงินมันวาว									
การทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แสงตกกระทบ(lux)	3420	3430	3420	3430	3430	3420	3440	3420	3430	3420
แสงสะท้อน(lux)	3350	3330	3330	3340	3330	3330	3340	3320	3340	3330
ค่าการสะท้อน(%)	97.95	97.08	97.37	97.38	97.08	97.37	97.09	97.08	97.38	97.37
ค่าเฉลี่ยการสะท้อน(%)	97.31%									
หมายเหตุ	เลือกใช้เป็นวัดุสำหรับ interior daylighting panel และ light shelves									

ตารางที่ ง.2 แสดงค่าการสะท้อนแสงของสติกเกอร์ PVC สีขาวกึ่งมัน

รูปแบบการสะท้อนแสง	การสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน(Spread reflect)									
แทนค่าด้วยวัสดุ	สติกเกอร์ PVC สีขาวกึ่งมัน									
การทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แสงตกกระทบ(lux)	3410	3400	3410	3410	3420	3410	3410	3400	3390	3400
แสงสะท้อน(lux)	2940	2940	2940	2940	2950	2940	2940	2930	2900	2940
ค่าการสะท้อน(%)	86.22	86.47	86.22	86.22	86.26	86.22	86.22	86.18	85.55	86.47
ค่าเฉลี่ยการสะท้อน(%)	86.20%									
หมายเหตุ	เลือกใช้เป็นวัดุสำหรับ interior daylighting panel									

ตารางที่ ง.3 แสดงค่าการสะท้อนแสงของผ้า Linin สีขาว

รูปแบบการสะท้อนแสง	การสะท้อนแสงแบบกระจาย(Diffuse reflect)									
แทนค่าด้วยวัสดุ	ผ้า Linin สีขาว									
การทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แสงตกกระทบ(lux)	3400	3380	3390	3380	3390	3430	3420	3410	3410	3400
แสงสะท้อน(lux)	2240	2230	2240	2240	2230	2260	2250	2240	2250	2240
ค่าการสะท้อน(%)	65.88	65.98	66.08	66.27	65.78	65.89	65.79	65.69	65.98	65.88
ค่าเฉลี่ยการสะท้อน(%)	65.92%									
หมายเหตุ	เลือกใช้เป็นวัสดุสำหรับ interior daylighting panel									

ตารางที่ ง.4 แสดงค่าการสะท้อนแสงของกระดาษโปสเตอร์บางสีเทา

รูปแบบการสะท้อนแสง										
แทนค่าด้วยวัสดุ	กระดาษโปสเตอร์บางสีเทา									
การทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แสงตกกระทบ(lux)	3200	3180	3170	3220	3190	3180	3190	3200	3220	3220
แสงสะท้อน(lux)	1100	1090	1090	1110	1100	1100	1100	1110	1110	1120
ค่าการสะท้อน(%)	34.38	34.28	34.38	34.47	34.48	34.59	34.48	34.69	34.47	34.78
ค่าเฉลี่ยการสะท้อน(%)	34.50%									
หมายเหตุ	เลือกใช้เป็นวัสดุสำหรับทำพื้นอาคารในหุ่นจำลอง									

ตารางที่ ง.5 แสดงค่าการสะท้อนแสงของกระดาษเทา-ขาว

รูปแบบการสะท้อนแสง										
แทนค่าด้วยวัสดุ	กระดาษเทา-ขาว									
การทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แสงตกกระทบ(lux)	3310	3300	3290	3310	3300	3290	3290	3310	3320	3330
แสงสะท้อน(lux)	1880	1870	1870	1890	1880	1870	1860	1880	1900	1910
ค่าการสะท้อน(%)	56.80	56.67	56.84	57.10	56.97	56.84	56.53	56.80	57.23	57.36
ค่าเฉลี่ยการสะท้อน(%)	56.91%									
หมายเหตุ	เลือกใช้เป็นวัสดุสำหรับทำผนังภายในอาคารในหุ่นจำลอง									

ตารางที่ ง.6 แสดงค่าการสะท้อนแสงของกระดาษอาร์ตสีขาว

รูปแบบการสะท้อนแสง										
แทนค่าด้วยวัสดุ	กระดาษอาร์ตสีขาว									
การทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แสงตกกระทบ(lux)	3380	3390	3380	3370	3380	3390	3380	3380	3390	3380
แสงสะท้อน(lux)	2480	2490	2480	2480	2480	2490	2480	2480	2490	2480
ค่าการสะท้อน(%)	73.37	73.45	73.37	73.59	73.37	73.45	73.37	73.37	73.45	73.37
ค่าเฉลี่ยการสะท้อน(%)	73.42%									
หมายเหตุ	เลือกใช้เป็นวัสดุสำหรับทำฝ้าเพดานภายในอาคารในหุ่นจำลอง									

ภาคผนวก จ.
แสดงคุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ จ.1 แสดงค่า Transmittance ที่แตกต่างกันของวัสดุกระจก

	วัสดุ	ค่า Transmittance
1.	กระจกใสหนา 4 มม.	0.90
2.	กระจกใสหนา 6 มม.	0.89
3.	กระจกสี	0.27-0.61
4.	กระจกกันไฟ	0.85

ที่มา : ธาริณี รามสูต, “การอบรมระยะสั้นการใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบแสงสว่าง”, เอกสารอบรมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร,20-22 สิงหาคม 2546.

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลคุณสมบัติกระจก 6 มม. ของบริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด(มหาชน)

Glass Type	Visible Rays		Solar Energy			Relative Heat Gain		U-Value		SC
	R	T	R	T	A	W/m2	Btu/ft2hr	W/m2C	Btu/ft2hrF	
1.กระจกโฟลตใส	7	88	7	88	13	650	206	5.83	1.03	0.96
2.กระจกโฟลตสีเขียว	7	72	7	42	42	460	146	6.23	1.10	0.65

หมายเหตุ R = Reflective (ค่าการสะท้อน)

T = Transmittance (ค่าการส่องผ่าน)

A = Absorption (ค่าการดูดกลืน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.

การตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลองที่ใช้ในงานวิจัย(Calibration)

ตรวจสอบลำดับประสิทธิภาพเครื่องมือจากจากสมการ

Standard Error of the mean (SE) = Data – Mean

ทำให้พบว่า

- เครื่องมือ lux meter เครื่องที่ 2 มีมาตรฐานในการอ่านค่าสูงสุด
- เครื่องมือ lux meter เครื่องที่ 1 มีมาตรฐานในการอ่านค่าเป็นลำดับที่ 2
- เครื่องมือ lux meter เครื่องที่ 4 มีมาตรฐานในการอ่านค่าเป็นลำดับที่ 3
- เครื่องมือ lux meter เครื่องที่ 3 มีมาตรฐานในการอ่านค่าเป็นลำดับที่ 4

จากสมการเชิงเส้น $Y = aX+b$

โดย Y = ค่าที่อ่านได้จาก Lux meter เครื่องมาตรฐาน 2

a = ความชัน (slope)

X = ค่าที่อ่านได้จาก Lux meter เครื่องที่ 1,3,4

b = จุดตัดแกน Y(intercept) ที่ X มีค่า = 0

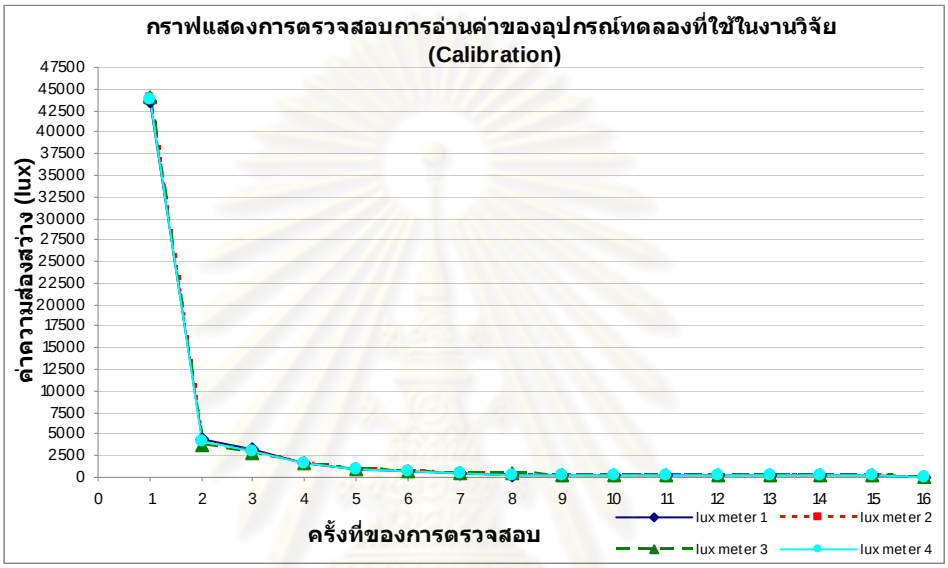
ตารางที่ ฉ.1 แสดงการตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลองที่ใช้ในงานวิจัย (Calibration)

การตรวจสอบครั้งที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ				ค่าเฉลี่ย
	Lux meter 1	Lux meter 2	Lux meter 3	Lux meter 4	
1.	43587.00	44100.00	43930.00	43810.20	43856.80
2.	4403.76	4190.00	3731.00	4092.20	4104.24
3.	3280.40	3075.00	2771.60	2980.67	3026.92
4.	1670.88	1555.00	1603.80	1546.74	1594.10
5.	891.61	935.00	981.25	944.52	938.10
6.	612.66	638.00	670.51	644.25	641.35
7.	427.63	449.00	471.17	454.57	450.59
8.	318.13	331.50	351.25	341.20	335.52
9.	272.37	269.50	258.88	261.63	265.60
10.	226.90	224.50	214.70	216.66	220.69
11.	186.31	185.00	177.65	179.87	182.21
12.	148.07	146.90	149.91	149.83	148.68
13.	140.88	142.10	146.30	143.49	143.19
14.	128.70	130.15	134.14	132.20	131.30
15.	122.64	124.10	126.59	125.81	124.78
16.	111.44	111.95	115.09	115.79	113.57

ค่าที่มากที่สุด	43587.00	44100.00	43930.00	43810.20	
ค่าที่น้อยที่สุด	111.44	111.95	115.09	115.79	
ค่าเฉลี่ย	3533.09	3537.98	3489.61	3508.73	

หมายเหตุ : การตรวจสอบครั้งที่ 1 เป็นการวัดแสงภายนอก ส่วนการตรวจสอบครั้งที่ 2 - 16 เป็นการวัดแสงภายในอาคารในทุกระยะ 1 เมตรจากช่องเปิดอาคาร

แผนภูมิที่ ฉ.1 กราฟแสดงการตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลองที่ใช้ในงานวิจัย (calibration)



ภาพที่ ฉ.1แสดงการตรวจสอบการอ่านค่าของอุปกรณ์ทดลอง (Calibration) ที่ใช้ในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช.

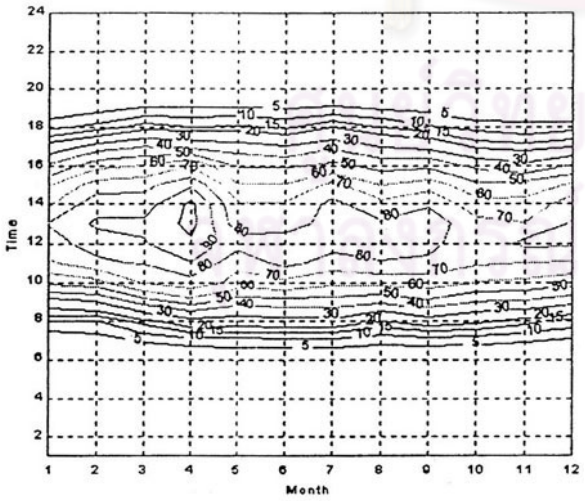
แสดงการพิจารณาค่า Daylight factor (%DF) กับข้อมูลปริมาณแสงในท้องฟ้า ปี พ.ศ. 2541

ตารางที่ ช.1 แสดงค่า Hourly mean values of global illuminance (klux) by calendar month (local time)

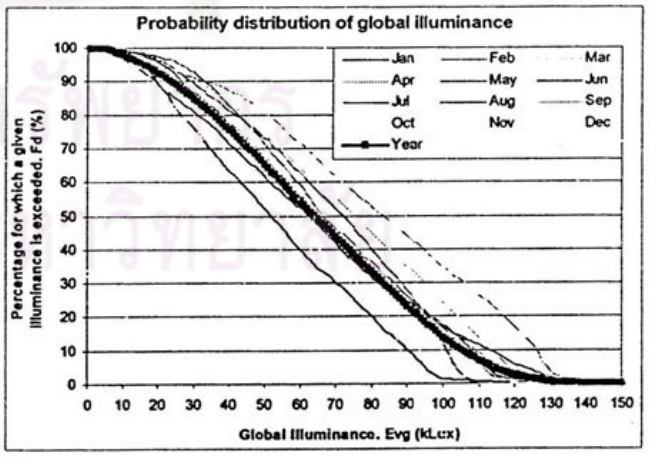
BANGKOK กรุงเทพฯ

Latitude: 13 องศา 41’ 37” Longtitude: 100 องศา 36’ 38”

MONTH	Hourly mean values of global illuminance (klux) by calendar month (local time)											
/TIME	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
6.00	0.00	0.00	0.00	4.22	4.22	4.27	4.03	3.53	3.23	0.00	0.00	0.00
7.00	5.88	5.97	9.84	14.05	14.82	15.60	14.98	11.21	13.32	11.90	9.22	7.96
8.00	17.04	18.66	31.33	40.12	34.59	35.51	36.42	30.59	36.47	32.28	27.66	23.70
9.00	38.78	44.14	59.53	67.26	57.59	57.25	55.47	53.05	56.57	49.93	50.23	44.28
10.00	62.64	67.49	78.01	85.34	69.04	77.10	69.27	74.49	72.97	67.18	63.75	63.49
11.00	72.35	82.81	84.91	95.03	79.72	86.33	86.65	81.41	79.92	71.90	77.29	76.76
12.00	79.75	88.75	91.47	99.74	82.00	80.20	84.04	83.47	84.70	75.44	77.73	81.76
13.00	74.75	90.28	89.92	104.34	71.59	72.29	83.98	78.24	84.29	68.78	66.78	79.46
14.00	63.97	82.22	79.86	95.16	66.92	68.91	78.37	68.21	73.04	59.32	61.03	69.47
15.00	51.24	67.03	71.55	81.90	55.83	53.77	63.57	52.28	56.95	45.36	42.12	51.76
16.00	32.56	47.00	51.21	52.88	42.61	39.54	43.51	38.88	37.03	28.05	25.16	30.39
17.00	14.94	20.94	29.30	25.56	25.74	22.89	30.46	21.94	18.98	11.54	10.20	11.16
18.00	5.75	6.87	9.92	9.38	9.64	8.01	10.16	8.87	6.22	4.84	0.00	3.98



ภาพที่ ช.1 Iso-contour plot of diffuse illuminance(klux) local time



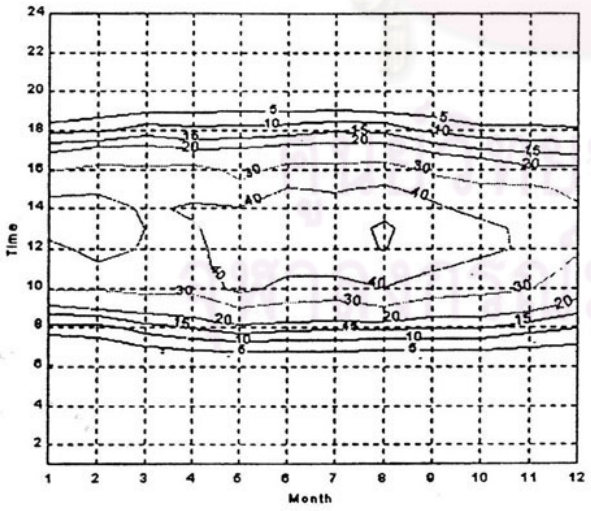
แผนภูมิที่ ช.1 Cumulative frequency distribution of global illuminance values of each month and of a year (working hour 8.00-17.00 น.)

ตารางที่ ช.2 แสดงค่า Hourly mean values of diffuse illuminance (klux) by calendar month (local time)

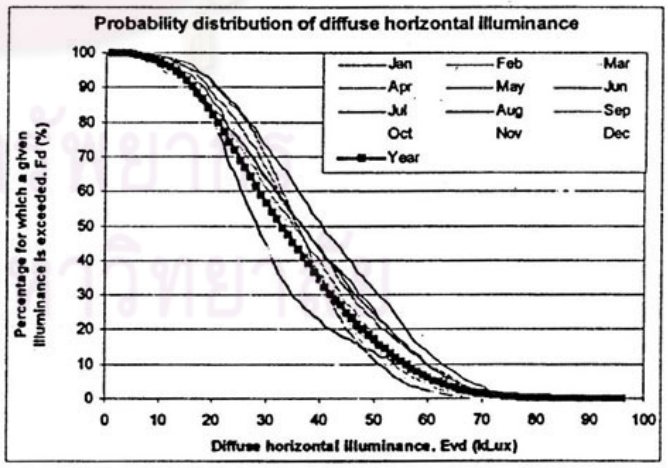
BANGKOK กรุงเทพฯ

Latitude: 13 องศา 41’ 37” Longtitude: 100 องศา 36’ 38”

MONTH /TIME	Hourly mean values of diffuse illuminance (klux) by calendar month (local time)											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
6.00	0.00	0.00	0.00	3.65	4.03	4.20	3.97	3.60	3.27	0.00	0.00	0.00
7.00	5.54	5.13	7.61	9.87	11.93	11.48	10.72	9.52	9.69	9.35	8.21	7.59
8.00	13.43	14.28	18.88	20.27	24.78	22.27	21.37	22.97	20.58	20.99	17.08	14.96
9.00	25.63	26.74	28.66	29.26	37.31	33.49	32.15	35.21	29.77	29.08	26.56	20.01
10.00	33.81	34.95	36.00	33.37	45.92	39.48	40.00	44.32	38.68	35.87	34.46	25.19
11.00	35.17	41.05	38.39	36.28	49.17	43.97	44.53	49.34	41.79	39.30	38.21	29.79
12.00	41.06	43.68	39.49	36.49	44.53	43.38	45.13	50.87	44.62	44.97	37.01	31.68
13.00	44.53	45.31	39.83	41.72	41.79	42.04	44.78	50.80	42.90	39.62	36.01	31.28
14.00	39.96	41.55	38.54	39.01	36.68	43.46	42.50	45.24	38.55	34.14	34.72	30.04
15.00	34.63	35.78	36.43	37.19	30.22	37.08	36.42	37.48	33.16	29.32	26.55	24.51
16.00	24.06	28.13	26.73	26.72	24.56	28.28	28.04	29.00	23.77	21.26	17.84	17.63
17.00	12.83	15.02	18.13	16.21	17.12	18.02	20.45	19.14	13.88	10.13	9.66	8.36
18.00	5.58	5.76	7.83	7.70	7.92	7.59	8.14	8.35	5.56	4.58	0.00	3.78



ภาพที่ ช.1 Iso-contour plot of diffuse illuminance (klux) local time

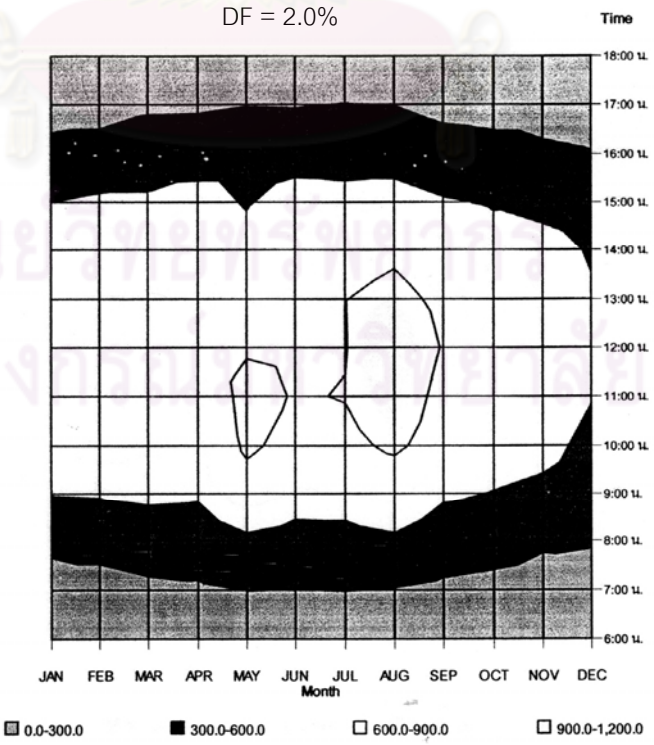


แผนภูมิที่ ช.2 Cumulative frequency distribution of diffuse illuminance values of each month and of a year (working hour 8.00-17.00 น.)

ตารางที่ ช.3 พิจารณาค่า Daylight factor ที่ DF = 2.0 % ของ hourly mean values of diffuse illuminance (lux)

MONTH /TIME	Hourly mean values of diffuse illuminance (lux) by calendar month (Local time)											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
6.00	0.0	0.0	0.0	73.0	80.6	84.0	79.4	72.0	65.4	0.0	0.0	0.0
7.00	110.8	102.6	152.2	197.4	238.6	229.6	214.4	190.4	193.8	187.0	164.2	151.8
8.00	268.6	285.6	377.6	405.4	495.6	445.4	427.4	459.4	411.6	419.8	341.6	299.2
9.00	512.6	534.8	573.2	585.2	746.2	669.8	643.0	704.2	595.4	581.6	531.2	400.2
10.00	676.2	699.0	720.0	667.4	918.4	789.6	800.0	886.4	773.6	717.4	689.2	503.8
11.00	703.4	821.0	767.8	725.6	983.4	879.4	890.6	986.8	835.8	786.0	764.2	595.8
12.00	821.2	873.6	789.8	729.8	890.6	867.6	902.6	1017.4	892.4	899.4	740.2	633.6
13.00	890.6	906.2	796.6	834.4	835.8	840.8	895.6	1016.0	858.0	792.4	720.2	625.6
14.00	799.2	831.0	770.8	780.2	733.6	869.2	850.0	904.8	771.0	682.8	694.4	600.8
15.00	692.6	715.6	728.6	743.8	604.4	741.6	728.4	749.6	663.2	586.4	531.0	490.2
16.00	481.2	562.6	534.6	534.4	491.2	565.6	560.8	580.0	475.4	425.2	356.8	352.6
17.00	256.6	300.4	362.6	324.2	342.4	360.4	409.0	382.8	277.6	202.6	193.2	167.2
18.00	111.6	115.2	156.6	154.0	158.4	151.8	162.8	167.0	111.2	91.6	0.0	75.6

Hourly mean values of diffuse illuminance (lux) by calendar month (Local time)



ภาพที่ ช.3 Hourly mean values of diffuse illuminance (lux) by calendar month (local time) **ที่** DF=2%

ภาคผนวก ซ.

ตารางและแผนภูมิประกอบการหาค่า coefficient of utilization (CU)

ตารางที่ ซ.1 Percent effective ceiling or floor cavity reflectance for various reflectance combinations

Per Cent Base* Reflectance	90										80										70										60										50									
Per Cent Wall Reflectance	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Cavity Ratio																																																	
0.2	89	88	88	87	86	85	85	84	84	82	79	78	78	77	77	76	76	75	74	72	70	69	68	68	67	67	66	66	65	64	60	59	59	59	58	57	56	56	55	53	50	50	49	49	48	48	47	46	46	44
0.4	88	87	86	85	84	83	81	80	79	76	79	77	76	75	74	73	72	71	70	68	69	68	67	66	65	64	63	62	61	58	60	59	59	58	57	55	54	53	52	50	50	49	48	48	47	46	45	45	44	42
0.6	87	86	84	82	80	79	77	76	74	73	78	76	75	73	71	70	68	66	65	63	69	67	65	64	63	61	59	58	57	54	60	58	57	56	55	53	51	51	50	46	50	48	47	46	45	44	43	42	41	38
0.8	87	85	82	80	77	75	73	71	69	67	78	75	73	71	69	67	65	63	61	57	68	66	64	62	60	58	56	55	53	50	59	57	56	55	54	51	48	47	46	43	50	48	47	45	44	42	40	39	38	36
1.0	86	83	80	77	75	72	69	66	64	62	77	74	72	69	67	65	62	60	57	55	68	65	62	60	58	55	53	52	50	47	59	57	55	53	51	48	45	44	43	41	50	48	46	44	43	41	38	37	36	34
1.2	85	82	78	75	72	69	66	63	60	57	76	73	70	67	64	61	58	55	53	51	67	64	61	59	57	54	50	48	46	44	59	56	54	51	49	46	44	42	40	38	50	47	45	43	41	39	36	35	34	29
1.4	85	80	77	73	69	65	62	59	57	52	76	72	68	65	62	59	55	53	50	48	67	63	60	58	55	51	47	45	44	41	59	56	53	49	47	44	41	39	38	36	50	47	45	42	40	38	35	34	32	27
1.6	84	79	75	71	67	63	59	56	53	50	75	71	67	63	60	57	53	50	47	44	67	62	59	56	53	47	45	43	41	38	59	55	52	48	45	42	39	37	35	33	50	47	44	41	39	36	33	32	30	26
1.8	83	78	73	69	64	60	56	53	50	48	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41	66	61	58	54	51	46	42	40	38	35	58	55	51	47	44	40	37	35	33	31	50	46	43	40	38	35	31	30	28	25
2.0	83	77	72	67	62	58	53	50	47	43	74	69	64	60	56	52	48	45	41	38	66	60	56	52	49	45	40	38	36	33	58	54	50	46	43	39	35	33	31	29	50	46	43	40	37	34	30	28	26	24
2.2	82	76	70	65	59	54	50	47	44	40	74	68	63	58	54	49	45	42	38	35	66	60	55	51	48	43	38	36	34	32	58	53	49	45	42	37	34	31	29	28	50	46	42	38	36	33	29	27	24	22
2.4	82	75	69	64	58	53	48	45	41	37	73	67	61	56	52	47	43	40	36	33	65	60	54	50	46	41	37	35	32	30	58	53	48	44	41	36	32	30	27	26	50	46	42	37	35	31	27	25	23	21
2.6	81	74	67	62	56	51	46	42	38	35	73	66	60	55	50	45	41	38	34	31	65	59	54	49	45	40	35	33	30	28	58	53	48	43	39	35	31	28	26	24	50	46	41	37	34	30	26	23	21	20
2.8	81	73	66	60	54	49	44	40	36	34	73	65	59	53	48	43	39	36	32	29	65	59	53	48	43	38	33	30	28	26	58	53	47	43	38	34	29	27	24	22	50	46	41	36	33	29	25	22	20	19
3.0	80	72	64	58	52	47	42	38	34	30	72	65	58	52	47	42	37	34	30	27	64	58	52	47	42	37	32	29	27	24	57	52	46	42	37	32	28	25	23	20	50	45	40	36	32	28	24	21	19	17
3.2	79	71	63	56	50	45	40	36	32	28	72	65	57	51	45	40	35	33	28	25	64	58	51	46	40	36	31	28	25	23	57	51	45	41	36	31	27	23	22	18	50	44	39	35	31	27	23	20	18	16
3.4	79	70	62	54	48	43	38	34	30	27	71	64	56	49	44	39	34	32	27	24	64	57	50	45	39	35	29	27	24	22	57	51	45	40	35	30	26	23	20	17	50	44	39	35	30	26	22	19	17	15
3.6	78	69	61	53	47	42	36	32	28	25	71	63	54	48	43	38	32	30	25	23	63	56	49	44	38	33	28	25	22	20	57	50	44	39	34	29	25	22	19	16	50	44	39	34	29	25	21	18	16	14
3.8	78	69	60	51	45	40	35	31	27	23	70	62	53	47	41	36	31	28	24	22	63	56	49	43	37	32	27	24	21	19	57	50	43	38	33	29	24	21	19	15	50	44	38	34	29	25	21	17	15	13
4.0	77	69	58	51	44	39	33	29	25	22	70	61	53	46	40	35	30	26	22	20	63	55	48	42	36	31	26	23	20	17	57	49	42	37	32	28	23	20	18	14	50	44	38	33	28	24	20	17	15	12
4.2	77	62	57	50	43	37	32	28	24	21	69	60	52	45	39	34	29	25	21	18	62	55	47	41	35	30	25	22	19	16	56	49	42	37	32	27	22	19	17	14	50	43	37	32	28	24	20	17	14	12
4.4	76	61	56	49	42	36	31	27	23	20	69	60	51	44	38	33	28	24	20	17	62	54	46	40	34	29	24	21	18	15	56	49	42	36	31	27	22	19	16	13	50	43	37	32	27	23	19	16	13	11
4.6	76	60	55	47	40	35	30	26	22	19	69	59	50	43	37	32	27	23	19	15	62	53	45	39	33	28	24	21	17	14	56	49	41	35	30	26	21	18	16	13	50	43	36	31	26	22	18	15	13	10
4.8	75	59	54	46	39	34	28	25	21	18	68	58	49	42	36	31	26	22	18	14	62	53	45	38	32	27	23	20	16	13	56	48	41	34	29	25	21	18	15	12	50	43	36	31	26	22	18	15	12	09
5.0	75	59	53	45	38	33	28	24	20	16	68	58	48	41	35	30	25	21	18	14	61	52	44	38	31	26	22	19	16	12	56	48	40	34	28	24	20	17	14	11	50	42	35	30	25	21	17	14	12	09
6.0	73	61	49	41	34	29	24	20	16	11	66	55	44	38	31	27	22	19	15	10	60	51	41	35	28	24	19	16	13	09	55	45	37	31	25	21	17	14	11	07	50	42	34	29	23	19	15	13	10	06
7.0	70	58	45	38	30	27	21	18	14	08	64	53	41	35	28	24	19	16	12	07	58	48	38	32	26	22	17	14	11	06	54	43	35	30	24	20	15	12	09	05	49	41	32	27	21	18	14	11	08	05
8.0	68	55	42	35	27	23	18	15	12	06	62	50	38	32	25	21	17	14	11	05	57	46	35	29	23	19	15	13	10	05	53	42	33	28	22	18	14	11	08	04	49	40	30	25	19	16	12	10	07	03
9.0	66	52	38	31	25	21	16	14	11	05	61	49	36	30	23	19	15	13	10	04	56	45	33	27	21	18	14	12	09	04	52	40	31	26	20	16	12	10	07	03	48	39	29	24	18	15	11	09	07	03
10.0	65	51	36	29	22	19	15	11	09	04	59	46	33	27	21	18	14	11	08	03	55	43	31	25	19	16	12	10	08	03	51	39	29	24	18	15	11	09	07	02	47	37	27	22	17	14	10	08	06	02

* Ceiling, floor or floor of cavity.

ตารางที่ ซ.2 Percent effective ceiling or floor cavity reflectance for various reflectance combinations (ต่อ)

Per Cent Base* Reflectance	40										30										20										10										0									
Per Cent Wall Reflectance	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Cavity Ratio																																																	
0.2	40	40	39	39	39	38	38	37	36	36	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	21	20	20	20	20	20	19	19	19	17	11	11	11	10	10	10	10	09	09	09	02	02	02	01	01	01	01	00	00	0
0.4	41	40	39	39	38	37	36	35	34	34	31	31	30	30	29	28	28	27	26	25	22	21	20	20	20	19	19	18	18	16	12	11	11	11	11	10	10	09	09	08	04	03	03	02	02	02	01	01	00	0
0.6	41	40	39	38	37	36	34	33	32	31	32	31	30	29	28	27	26	26	25	23	23	21	21	20	19	19	18	18	17	15	13	13	12	11	11	10	10	09	08	08	05	05	04	03	03	02	02	01	01	0
0.8	41	40	38	37	36	35	33	32	31	29	32	31	30	29	28	26	25	25	23	22	24	22	21	20	19	19	18	17	16	14	15	14	13	12	11	10	10	09	08	07	07	06	05	04	04	03	02	02	01	0
1.0	42	40	38	37	35	33	32	31	29	27	33	32	30	29	27	25	24	23	22	20	25	23	22	20	19	18	17	16	15	13	16	14	13	12	12	11	10	09	08	07	08	07	06	05	04	03	02	02	01	0
1.2	42	40	38	36	34	32	30	29	27	25	33	32	30	28	27	25	23	22	21	19	25	23	22	20	19	17	17	16	14	12	17	15	14	13	12	11	10	09	07	06	10	08	07	06	05	04	03	02	01	0
1.4	42	39	37	35	33	31	29	27	25	23	34	32	30	28	26	24	22	21	19	18	26	24	22	20	18	17	16	15	13	12	18	16	14	13	12	11	10	09	07	06	11	09	08	07	06	04	03	02	01	0
1.6	42	39	37	35	32	30	27	25	23	22	34	33	29	27	25	23	22	20	18	17	26	24	22	20	18	17	16	15	13	11	19	17	15	14	12	11	09	08	07	06	12	10	09	07	06	05	03	02	01	0
1.8	42	39	36	34	31	29	26	24	22	21	35	33	29	27	25	23	21	19	17	16	27	25	23	20	18	17	15	14	12	10	19	17	15	14	13	11	09	08	06	05	13	11	09	08	07	05	04	03	01	0
2.0	42	39	36	34	31	28	25	23	21	19	35	33	29	26	24	22	20	18	16	14	28	25	23	20	18	16	15	13	11	09	20	18	16	14	13	11	09	08	06	05	14	12	10	09	07	05	04	03	01	0
2.2	42	39	36	33	30	27	24	22	19	18	36	32	29	26	24	22	19	17	15	13	28	25	23	20	18	16	14	12	10	09	21	19	16	14	13	11	09	07	06	05	15	13	11	09	07	06	04	03	01	0
2.4	43	39	35	33	29	27	24	21	18	17	36	32	29	26	24	22	19	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	12	10	08	22	19	17	15	13	11	09	07	06	05	16	13	11	09	08	06	04	03	01	0
2.6	43	39	35	32	29	26	23	20	17	15	36	32	29	25	23	21	18	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	11	09	08	23	20	17	15	13	11	09	07	06	04	17	14	12	10	08	06	05	03	02	0
2.8	43	39	35	32	28	25	22	19	16	14	37	33	29	25	23	21	17	15	13	11	30	27	23	20	18	15	13	11	09	07	23	20	18	16	13	11	09	07	05	03	17	15	13	10	08	07	05	03	02	0
3.0	43	39	35	31	27	24	21	18	16	13	37	33	29	25	22	20	17	15	12	10	30	27	23	20	17	15	13	11	09	07	24	21	18	16	13	11	09	07	05	03	18	16	13	11	09	07	05	03	02	0
3.2	43	39	35	31	27	23	20	71	15	13	37	33	29	25	22	19	16	14	12	10	31	27	23	20	17	15	12	11	09	06	25	21	18	16	13	11	09	07	05	03	19	16	14	11	09	07	05	03	02	0
3.4	43	39	34	30	26	23	20	17	14	12	37	33	29	25	22	19	16	14	11	09	31	27	23	20	17	15	12	10	08	06	26	22	18	16	13	11	09	07	05	03	20	17	14	12	09	07	05	03	02	0
3.6	44	39	34	30	26	22	19	16	14	11	38	33	29	24	21	18	15	13	10	09	32	27	23	20	17	15	12	10	08	05	26	22	19	16	13	11	09	06	04	03	20	17	15	12	10	08	05	04	02	0
3.8	44	38	33	29	25	22	18	16	13	10	38	33	28	24	21	18	15	13	10	08	32	28	23	20	17	15	12	10	07	05	27	23	19	17	14	11	09	06	04	02	21	18	15	12	10	08	05	04	02	0
4.0	44	38	33	29	25	21	18	15	12	10	38	33	28	24	21	18	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	05	27	23	20	17	14	11	09	06	04	02	22	18	15	13	10	08	05	04	02	0
4.2	44	38	33	29	24	21	17	15	12	10	38	33	28	24	20	17	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	09	06	04	02	22	19	16	13	10	08	06	04	02	0
4.4	44	38	33	28	24	20	17	14	11	09	39	33	28	24	20	17	14	11	09	06	34	28	24	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	08	06	04	02	23	19	16	13	10	08	06	04	02	0
4.6	44	38	32	28	23	19	16	14	11	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	06	34	29	24	20	17	14	11	09	07	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	23	20	17	13	11	08	06	04	02	0
4.8	44	38	32	27	22	19	16	13	10	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	05	35	29	24	20	17	13	10	08	06	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	24	20	17	14	11	08	06	04	02	0
5.0	45	38	31	27	22	19	15	13	10	07	39	33	28	24	19	16	13	10	08	05	35	29	24	20	16	13	10	08	06	04	30	25	20	17	14	11	08	06	04	02	25	21	17	14	11	08	06	04	02	0
6.0	44	37	30	25	20	17	13	11	08	05	39	33	27	23	18	15	11	09	06	04	36	30	24	20	16	13	10	08	05	02	31	26	21	18	14	11	08	06	03	01	27	23	18	15	12	09	06	04	02	0
7.0	44	36	29	24	19	16	12	10	07	04	40	33	26	22	17	14	10	08	05	03	36	30	24	20	15	12	09	07	04	02	32	27	21	17	13	11	08	06	03	01	28	24	19	15	12	09	06	04	02	0
8.0	44	35	28	23	18	15	11	09	06	03	40	33	26	21	16	13	09	07	04	02	37	30	23	19	15	12	08	06	03	01	33	27	21	17	13	10	07	05	03	01	30	25	20	15	12	09	06	04	02	0
9.0	44	35	26	21	16	13	10	08	05	02	40	33	25	20	15	12	09	07	04	02	37	29	23	19	14	11	08	06	03	01	34	28	21	17	13	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	0
10.0	43	34	25	20	15	12	08	07	05	02	40	32	24	19	14	11	08	06	03	01	37	29	22	18	13	10	07	05	03	01	34	28	21	17	12	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	0

* Ceiling, floor or floor of cavity.

ที่มา : IES, Illuminating Engineering Society : Reference Volume,1981 : 9-11 - 9-12

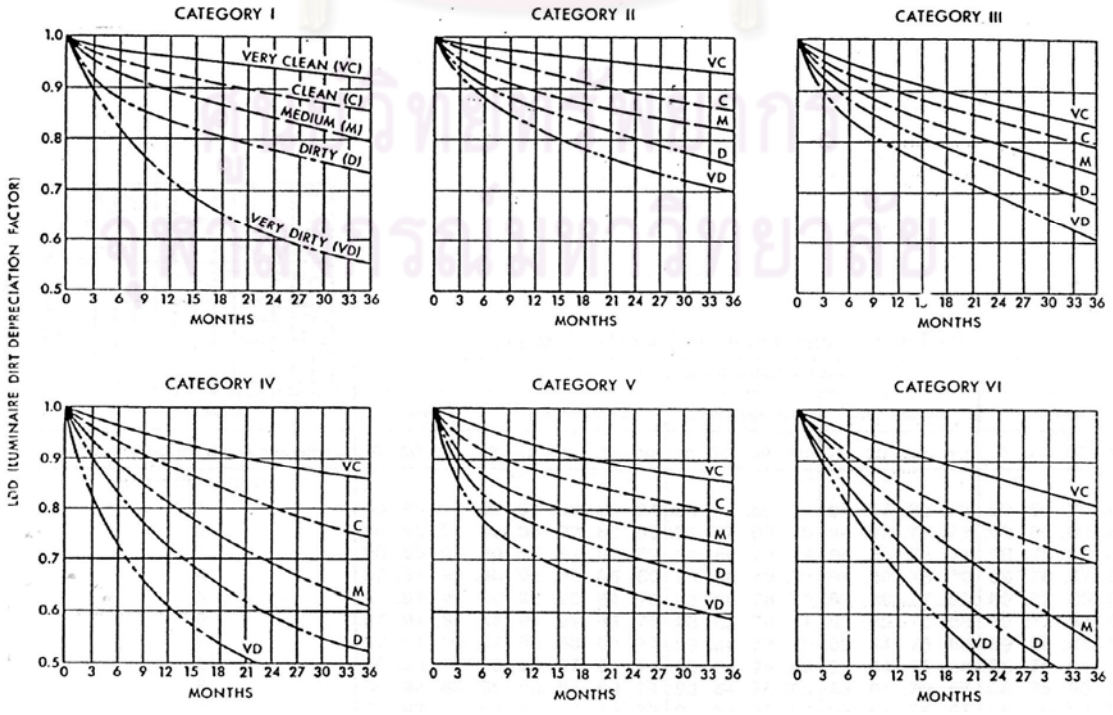
ตารางที่ ซ.3 Multiplying factors for other than 20 percent effective floor cavity reflectance

% Effective Ceiling Cavity Reflectance, ρ_{cc}	80				70				50			30			10		
% Wall Reflectance, ρ_w	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
For 30 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (20 Per Cent = 1.00)																	
Room Cavity Ratio																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002
For 10 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (20 Per Cent = 1.00)																	
Room Cavity Ratio																	
1	.923	.929	.935	.940	.933	.939	.943	.948	.956	.960	.963	.973	.976	.979	.989	.991	.993
2	.931	.942	.950	.958	.940	.949	.957	.963	.962	.968	.974	.976	.980	.985	.988	.991	.995
3	.939	.951	.961	.969	.945	.957	.966	.973	.967	.975	.981	.978	.983	.988	.988	.992	.996
4	.944	.958	.969	.978	.950	.963	.973	.980	.972	.980	.986	.980	.986	.991	.987	.992	.996
5	.949	.964	.976	.983	.954	.968	.978	.985	.975	.983	.989	.981	.988	.993	.987	.992	.997
6	.953	.969	.980	.986	.958	.972	.982	.989	.977	.985	.992	.982	.989	.995	.987	.993	.997
7	.957	.973	.983	.991	.961	.975	.985	.991	.979	.987	.994	.983	.990	.996	.987	.993	.998
8	.960	.976	.986	.993	.963	.977	.987	.993	.981	.988	.995	.984	.991	.997	.987	.994	.998
9	.963	.978	.987	.994	.965	.979	.989	.994	.983	.990	.996	.985	.992	.998	.988	.994	.999
10	.965	.980	.989	.995	.967	.981	.990	.995	.984	.991	.997	.986	.993	.998	.988	.994	.999
For 0 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (20 Per Cent = 1.00)																	
Room Cavity Ratio																	
1	.859	.870	.879	.886	.873	.884	.893	.901	.916	.923	.929	.948	.954	.960	.979	.983	.987
2	.871	.887	.903	.919	.886	.902	.916	.928	.926	.938	.949	.954	.963	.971	.978	.983	.991
3	.882	.904	.915	.942	.898	.918	.934	.947	.936	.950	.964	.958	.969	.979	.976	.984	.993
4	.893	.919	.941	.958	.908	.930	.948	.961	.945	.961	.974	.961	.974	.984	.975	.985	.994
5	.903	.931	.953	.969	.914	.939	.958	.970	.951	.967	.980	.964	.977	.988	.975	.985	.995
6	.911	.940	.961	.976	.920	.945	.965	.977	.955	.972	.985	.966	.979	.991	.975	.986	.996
7	.917	.947	.967	.981	.924	.950	.970	.982	.959	.975	.988	.968	.981	.993	.975	.987	.997
8	.922	.953	.971	.985	.929	.955	.975	.986	.963	.978	.991	.970	.983	.995	.976	.988	.998
9	.928	.958	.975	.988	.933	.959	.980	.989	.966	.980	.993	.971	.985	.996	.976	.988	.998
10	.933	.962	.979	.991	.937	.963	.983	.992	.969	.982	.995	.973	.987	.997	.977	.989	.999

ตารางที่ ซ.4 Procedure for determining luminaire maintenance categories

Maintenance Category	Top Enclosure	Bottom Enclosure
I	1. None.	1. None
II	1. None 2. Transparent with 15 per cent or more uplight through apertures. 3. Translucent with 15 per cent or more uplight through apertures. 4. Opaque with 15 per cent or more uplight through apertures.	1. None 2. Louvers or baffles
III	1. Transparent with less than 15 per cent upward light through apertures. 2. Translucent with less than 15 per cent upward light through apertures. 3. Opaque with less than 15 per cent uplight through apertures.	1. None 2. Louvers or baffles
IV	1. Transparent unapertured. 2. Translucent unapertured. 3. Opaque unapertured.	1. None 2. Louvers
V	1. Transparent unapertured. 2. Translucent unapertured. 3. Opaque unapertured.	1. Transparent unapertured 2. Translucent unapertured
VI	1. None 2. Transparent unapertured. 3. Translucent unapertured. 4. Opaque unapertured.	1. Transparent unapertured 2. Translucent unapertured 3. Opaque unapertured

แผนภูมิที่ ซ.5 Luminaire dirt depreciation factors (LDD) for six luminaire categories (I to VI)



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 จังหวัดพิษณุโลก มีข้อมูลทางด้านประวัติการศึกษาดังนี้

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ.2547-2551	ศึกษาและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมหลัก จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปี พ.ศ.2551-2553	ศึกษาและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิต หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาออกแบบสถาปัตยกรรมเน้นเทคโนโลยี จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการที่เข้าร่วมอบรมขณะศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิต

ปี พ.ศ.2552	โครงการ Higher Education couse on light and lighting Technologies 2009 (Energy efficient lighting management and Lighting system design and simulation) during February 6 – March 28, 2009

วิทยานิพนธ์

ระดับปริญญาบัณฑิต	โครงการจัดตั้งคณะสัตวแพทยศาสตร์และโรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ส่วนบึงราชนก อ.วังทอง จังหวัดพิษณุโลก (Faculty of veterinary medicine , Naresuan University Phitsanuloke)
ระดับปริญญามหาบัณฑิต	โครงการศึกษาประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร (The efficiency of interior daylighting panels)

ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ระดับปริญญามหาบัณฑิต	บทความเรื่องประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร (The efficiency of interior daylighting panels) ในวารสารวิจัยพลังงาน ของสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุคคลรับรอง

ระดับปริญญาบัณฑิต	รองศาสตราจารย์ธิติ เฮงรัศมี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
ระดับปริญญามหาบัณฑิต	รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย