ประสิทธิภาพทางด้านแสงธรรมชาติของ Skylight Shutter สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น

นางสาวประไพพักตร์ เทียงดาห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DAYLIGHTING PERFORMANCE OF SKYLIGHT SHUTTER FOR BUILDING IN TROPICAL CLIMATE

Miss Prapaipak Thingdah

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพทางด้านแสงธรรมชาติของ Skylight Shutter สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น
โดย	นางสาวประไพพักตร์ เทียงดาห์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาริณี รามสูต)

ประไพพักตร์ เทียงดาห์ : ประสิทธิภาพทางด้านแสงธรรมชาติของ Skylight Shutter สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น (Daylighting Performance of Skylight Shutter for Buildings in Tropical Climate) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 140 หน้า.

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางด้านแสงธรรมชาติของ Skylight Shutter สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น โดยวิเคราะห์ถึงผลกระทบของ ประเภทของช่องเปิด จำนวนช่องเปิด ทิศทางการติดตั้งช่องเปิด และองศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter Blade ที่มีต่อประสิทธิภาพทางด้านแสงสว่าง โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Dialux 4.10 ของห้องขนาด 6 x 6 เมตร ที่ความสูง 3 ,6,และ 9 เมตร โดยทำการจำลองในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมากในวันที่ 21 มิ.ย. 21 ก.ย. และ 21 ธ.ค. ระหว่างช่วงเวลา 8.00-16.00 น. และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปี และค่าความสม่ำเสมอ

จากการจำลองสถานการณ์พบว่าจำนวนช่องเปิดที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณแสงที่เข้ามาภายในอาคารมีมากขึ้น โดยพบว่าช่องเปิดขนาด 1 x 1 เมตรที่มีการติดตั้ง Skylight Shutter Blade ที่มุมเอียง 30 องศา จะเพิ่มปริมาณแสงสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 25 ลักซ์ และหากมีการเพิ่มองศาของ Skylight Shutter Blade ให้มีมุมเอียงที่น้อยลง จะทำให้ปริมาณแสงสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีเพิ่มมากขึ้นหากแต่การกระจายตัวของภายในห้องจำลองจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ข้อมูลยังพบว่า การวางช่องเปิดของ Skylight Shutter ในแนวเหนือใต้จะให้ปริมาณแสงสว่างเฉลี่ยตลอดปีมากกว่าหากแต่แสงที่เข้ามาภายในห้องจะมีความสม่ำเสมอน้อยกว่าการวางช่องเปิดในแนวตะวันออกและตะวันตก

งานวิจัยชิ้นนี้สรุปว่า Skylight Shutter มีความเหมาะสมกับอาคารในเขตร้อนชื้น เนื่องจากผู้ใช้อาคาร สามารถควบคุมปริมาณแสงสว่างและปริมาณรังสีอาทิตย์ตรง ที่เข้ามาภายในอาคารได้ หากแต่สถาปนิกและผู้ออกแบบ จะต้องมีความเข้าใจถึงประสิทธิภาพของ Skylight Shutter ที่มีการติดตั้งในรูปแบบต่างๆ มากขึ้น ทั้งนี้งานวิจัยชิ้นนี้ได้สรุปข้อมูลการทดลองและนำเสนอเป็นแนวทางในการออกแบบ Skylight Shutter สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้นสำหรับสถาปนิกและผู้ออกแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2554

527 42882 25 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : DAYLIGHTING REFLECTOR/ LIGHTING PERFORMANCE/ BUILDING INTROPICAL CLIMATE

PRAPAIPAK THINGDAH : DAYLIGHTING PERFORMANCE OF SKYLIGHT SHUTTER FOR BUILDING. MAJOR THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. VORAPAT INKAROJRIT, 140 pp.

The purpose of this research is to examine daylighting performance of skylight shutters for buildings in tropical climates through an analysis of the impact of various types of openings and number of openings, installation of openings and angle of the installed skylight shutter blades. In this the research, simulations were created using the Dialux 4.10 program with 6 x 6 meter rooms of 3, 6, and 9 meters in height. The simulated conditions were made on cloudy days on June 21, September 21, and December 21 from 8.00 to 16.00 hrs. The data was analyzed and comparisons were made of the average amount of light for the whole year and the uniformity value.

With the simulations, it was found that the higher number of openings led to a higher amount of light entering the building. It was found that an opening of 1x1 meters in size with skylight shutter blades installed at a slanted angle of 30 degrees would increase the average illuminance throughout the year by about 25 lux. Also, installed at a less slanted angle, the blades would increase the average illuminance for the year but the dissipation of the light in the simulated rooms would be were uniform. In addition, installing the skylight shutter blades in the north-south direction would provide a higher average amount of light for the year but the constant value of the light entering the room would be lower than when they were installed in the east-west direction.

According to this research, it can be concluded that skylight shutters are suitable for buildings in tropical climates as building users can control the amount of sunlight and the solar radiation that come directly into the building. However, architects and designers need to have more understanding of the efficiency of skylight shutters installed in different patterns.This research has made recommendations as approaches in designing skylight shutters for buildings in tropical climates for further application by architects and designers.

Department : Architecture Student's Signature .....
Field of Study : Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคคลท่านเหล่านี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ชี้แนะแนวทาง และให้คำแนะนำ อันเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ที่คำปรึกษาและความช่วยเหลือระหว่างการทำงาน

ขอขอบคุณ รศ.ดร.เพ็ญสุข เต่าทอง ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำชี้แนะอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการทำงาน

ขอขอบคุณ คุณนศมา เพี้ยนภักตร์ และคุณ ชนิดา ประชาศิลป์ชัย ที่กรุณาให้เอื้อเฟื้อ ข้อมูลวิทยานิพนธ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท Conspec (Thailand) จำกัด ที่ให้คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้

คุณ ถิรวดี จันทะรัง ที่ช่วยเอื้อเฟื้อในการช่วยเหลือ สละเวลา รวบรวมวิทยานิพนธ์ในเล่มฉบับสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และกำลังทรัพย์ ในการทำวิทยานิพนธ์ จนสามารถสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูปภาพ..... ฑ

สารบัญแผนภูมิ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 ทฤษฎีแสง..... 6

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง..... 7

2.2.1 ปริมาณแสง (Luminous flux)..... 7

2.2.2 ประสิทธิผลของแสง (luminous efficacy, η)..... 7

2.2.3 Solid Angle (ω)..... 7

2.2.4 ความเข้มแสง (luminous intensity, I)..... 8

2.2.5 ความส่องสว่าง (illuminance, E)..... 8

2.2.6 ความสว่าง (luminance, L)..... 8

2.2.7 ความสม่ำเสมอของแสง(Uniformity)..... 10

หน้า

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ..... 10
2.3.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ..... 11
2.3.2 การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน..... 12
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์..... 13
2.4.1 ตำแหน่งของที่ตั้ง ตำแหน่งและที่ตั้งของบริเวณที่จะศึกษา..... 13
2.4.2 การบอกเวลา..... 14
2.4.3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar Position) 14
2.5 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition) 14
2.5.1 สภาพท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุม (Clear Sky) 14
2.5.2 สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) 15
2.5.3 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนไม่สามารถ
มองเห็นแสงจากดวงอาทิตย์ (Overcast Sky หรือ CIE Sky) 15
2.6 การให้แสงธรรมชาติ (The Utilize of Daylighting) 16
2.6.1 การให้แสงธรรมชาติกับอาคาร..... 16
2.6.2 ปัญหาในการนำแสงธรรมชาติมาใช้สำหรับภูมิอากาศเขตร้อน 19
2.7 มาตรฐานระดับความส่องสว่าง..... 20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21
2.8.1 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 1 “Daylighting design with light scoop
skylights: Towards an optimization of proportion and
spacing under overcast sky
conditions”..... 22
2.8.2 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 2 “ A modified model for estimation of
daylight factor for skylight integrated with dome roof
structure of mud-house in New Delhi (India)” 23

หน้า

2.8.3 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 3 “การศึกษาเปรียบเทียบรูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของแสงกรณีศึกษาห้องแสดงภาพศิลปะในกรุงเทพมหานคร''..... 25
2.8.4 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 4 “รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงหลังคา เพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์”..... 26
2.9 การใช้ Skylight Shutter ร่วมกับการให้แสงธรรมชาติภายใน อาคารผ่าช่องเปิดด้านบน..... 29
2.10 กรณีศึกษาอาคารที่มีการใช้ Skylight Shutter..... 30
2.10.1 J. Paul Getty Art Center 30
2.10.2 Museum of Fine Arts, Houston..... 32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 34
3.1 สมมติฐานงานวิจัย..... 34
3.2 การกำหนดตัวแปรในการศึกษา..... 35
3.3 การกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 35
3.3.1 หุ่นจำลองและชุดการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย..... 35
3.3.2 เครื่องมือวัดแสง..... 41
3.4 การกำหนดวิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล..... 41
3.5 การประมวลผลการทดลอง..... 42
3.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง..... 42
3.7 สรุปผลการวิจัย..... 44
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 44
4.1 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 44
4.1.1 กลุ่มที่ 1 ชุดการทดลอง 1 – 17 ที่มีห้องความสูง 3 เมตร..... 46
4.1.2 วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงทางด้าน ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้นของกลุ่มที่ 1 ชุดการทดลองที่ 1 – 17 ที่มีห้องความสูง 3 เมตร..... 81

หน้า

4.1.3 กลุ่มที่ 1 ชุดการทดลอง 18 – 35 ที่มีห้องความสูง 6 เมตร..... 92
4.1.4 วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงทางด้าน ปริมาณแสง ประสิทธิภาพ การกระจายแสง และความสม่ำเสมอ ของแสงที่เกิดขึ้นของ กลุ่มที่ 2 ชุดการทดลองที่ 18 - 34 ที่มีห้องความสูง 3 เมตร..... 97
4.1.5 กลุ่มที่ 1 ชุดการทดลอง 35 – 51 ที่มีห้องความสูง 9 เมตร..... 100
4.1.6 วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงทางด้าน ปริมาณแสง ประสิทธิภาพ การกระจายแสง และความสม่ำเสมอ ของแสงที่เกิดขึ้นของ กลุ่มที่ 3 ชุดการทดลองที่ 35 - 51 ที่มีห้องความสูง 9 เมตร..... 94
.บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 106
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 101
5.1.1 ปริมาณแสง (Illuminance) ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง ที่เข้ามาภายในอาคาร โดยผ่าน Skylight Shutter ในแต่ละจำนวนช่องเปิด รูปแบบช่องเปิด ที่ต่างกัน องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter รวมถึง ความสูงของอาคารที่แตกต่างกัน 110
5.1.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการนำ Skylight Shutter ที่ติดตั้ง สำหรับอาคาร เขตร้อนชื้น..... 126
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 137
รายการอ้างอิง..... 138
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 140

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสว่างมาตรฐานเฉลี่ยของ สมาคมไฟฟ้าสงสว่างแห่งประเทศ..... 21

ตารางที่ 2.2 แสดงสัดส่วนของห้อง เมื่อเทียบกับขนาดช่องเปิด ของอาคาร J. Paul Getty Art Center..... 31

ตารางที่ 2.3 แสดงสัดส่วนของห้อง เมื่อเทียบกับขนาดช่องเปิดของอาคาร Museum of Fine Arts, Houston..... 33

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศาแสดงค่า Daylight factor ที่ระนาบพื้น base case..... 47

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา..... 50

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา 53

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 1 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา 56

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 1 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 59

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 2 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา..... 62

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา..... 65

หน้า

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิด แนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา..... 68

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิด แนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 71

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิด แนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45องศา..... 77

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิด แนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา..... 80

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 93

ตารางที่ 4.13 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 96

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 102

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 105

หน้า

ตารางที่ 5.1 แสดงตัวแปรที่ทำการศึกษา และสมมุติฐานในงานวิจัย..... 111
ตารางที่ 5.2 ตารางที่ 5.8 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของการนำ Skylight Shutter ไปใช้งานทั้ง 3 ประเภทอาคาร…….. 126
ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 3 เมตร..... 128
ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 6 เมตร..... 131
ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 9 เมตร..... 135

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงสว่างที่ตอบสนองต่อการมองเห็น..... 6

รูปที่ 2.2 แสดงกฎกำลังสองผกผัน..... 9

รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อัลติจูด (at, Altitude) และมุมอะซิมุท (as, Azimuth)..... 13

รูปที่ 2.4 แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky..... 15

รูปที่ 2.5 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky..... 16

รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบช่องเปิดแบบ Saw - tooth Roof..... 17

รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบช่องเปิดแบบ Monitors Roof..... 18

รูปที่ 2.8 แสดง รูปแบบช่องเปิดแบบ Skylight..... 12

รูปที่ 2.9 แสดง รูปแบบช่องเปิดแบบ Light Well..... 15

รูปที่ 2.10 แสดงการทดลองโดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน..... 22

รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบสัดส่วนของช่องเปิดที่รับแสงธรรมชาติ..... 23

รูปที่ 2.12 แสดง อัตราส่วนความสูง : ความกว้าง คือ 4 : 3 ของ light scoop model..... 23

รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบหลังคา Skylight ที่เปิดรับแสงธรรมชาติ..... 24

รูปที่ 2.14 แสดงสัดส่วน และขนาดของ รูปแบบหลังคา Skylight ที่เปิดรับแสงธรรมชาติ.. 24

รูปที่ 2.15 แสดงทิศทางการสะท้อนของแสงที่เกิดจากโคมแต่ละลักษณะ..... 26

รูปที่ 2.16 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร เวลา 14.00 น..... 27

รูปที่ 2.17 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 12.00 น.

รูปที่ 2.18 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 14.00 น..... 28

... หน้า

รูปที่ 2.19 แสดงแสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขต ของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 12.00 น.การเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของแสงที่ได้จากช่องแสงแต่ละแบบ..... 28
รูปที่ 2.20 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขต ของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 14.00 น..... 29
รูปที่ 2.21 แสดงรูปแบบ ใบ (Blade) ของ Skylight Shutter..... 30
รูปที่ 2.22 แสดงรูปตัดภายใน J. Paul Getty Art Center..... 31
รูปที่ 2.23 แสดงรูปแบบ Skylight Shutter..... 31
รูปที่ 2.24 แสดงภาพแนวคิดในการออกแบบแสงสว่างภายใน Museum of Fine Arts, Houston 32
รูปที่ 2.25 แสดง ภาพแนวคิดการออกแบบแสงสว่างภายนอก Museum of Fine Arts, Houston..... 33
รูปที่ 3.1 แสดงความสูงของห้องจำลองแต่ละขนาด..... 36
รูปที่ 3.2 แสดงการกำหนดจุดวัดปริมาณแสงทั้ง 11จุด ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก..... 36
รูปที่ 3.3 แสดงการกำหนดจุดวัดปริมาณแสงทั้ง 11จุด ในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้..... 37
รูปที่ 3.4 แสดงช่องเปิดด้านบนแบบจุดที่ขนาด 1 เมตร x 1 เมตร..... 38
รูปที่ 3.5 แสดงช่องเปิดด้านบนแบบแนวยาวที่ขนาด 1 เมตร x 6 เมตร..... 38
รูปที่ 3.6 แสดงรูปด้านองศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ทั้ง 4 ขนาด..... 39
รูปที่ 3.7 แสดงรูปตัดลักษณะการวาง Skylight Shutter ที่หันด้านของใบ Skylight Shutter ไปทางด้านทิศตะวันตก 40 40
รูปที่ 3.8 แสดงรูปตัดลักษณะการวาง Skylight Shutter ที่หันด้านของใบ Skylight Shutter ไปทางด้านทิศตะวันตก 40
รูปที่ 3.9 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 43
รูปที่ 4.1 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา.... 47

หน้า

รูปที่ 4.2 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 50
รูปที่ 4.3 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา.. 49
รูปที่ 4.4 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา..... 51
รูปที่ 4.5 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา... 52
รูปที่ 4.6 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 54
รูปที่ 4.7 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 55
รูปที่ 4.8 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 57
รูปที่ 4.9 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 58
รูปที่ 4.10 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 60
รูปที่ 4.11 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 2 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 61
รูปที่ 4.12 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 2 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 63
รูปที่ 4.13 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 64
รูปที่ 4.14 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 66

หน้า

รูปที่ 4.15 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา……. 67

รูปที่ 4.16 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอ ของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา……. 69

รูปที่ 4.17 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา……. 70

รูปที่ 4.18 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา…… 72

รูปที่ 4.19 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา……. 73

รูปที่ 4.20 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของ แสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา…… 75

รูปที่ 4.21 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศ เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา……. 76

รูปที่ 4.22 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของ แสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา…… 78

รูปที่ 4.23 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา…….. 81

รูปที่ 4.24 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของ แสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา…… 81

รูปที่ 4.25 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 9 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา 82

หน้า

รูปที่ 4.26 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 83
รูปที่ 4.27 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 2 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 84
รูปที่ 4.28 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศ เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 85
รูปที่ 4.29 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา 87
รูปที่ 4.30 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศ เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 87
รูปที่ 4.31 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 60 องศา และ90 องศา..... 89
รูปที่ 4.32 แสดง ลักษณะทิศทางของปริมาณแสงสูงสุดที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 60 และ 90 องศา จำนวน 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว ช่องเปิดวางในแนว ทิศ ตะวันออก ไปยัง ทิศตะวันตก..... 93
รูปที่ 4.33 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 93
รูปที่ 4.34 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของ แสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศ ตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 94
รูปที่ 4.35 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศ เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 97
รูปที่ 4.36 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอ ของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 97
รูปที่ 4.37 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 98

หน้า

รูปที่ 4.38 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 99

รูปที่ 4.39 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 101

รูปที่ 4.40 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 103

รูปที่ 4.41 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 104

รูปที่ 4.42 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอ ของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 106

รูปที่ 4.43 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 107

รูปที่ 4.44 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 108

รูปที่ 4.45 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 109

รูปที่ 5.1 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 9ช่องเปิด และ13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 116

รูปที่ 5.2 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1ช่องเปิด แบบจุด และ1 ช่องเปิด แบบยาว ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 118

หน้า

รูปที่ 5.3 แสดง การเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1ช่องเปิด แบบแนวยาว ในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ1 ช่องเปิด แบบยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา 119

รูปที่ 5.4 แสดง การเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1ช่องเปิด แบบแนวยาว ในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ 90 องศา..... 123

รูปที่ 5.5 แสดง การเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 3 เมตร 6 เมตร และ9 เมตร ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 125

รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะการกำหนดจุดเพื่อหาปริมาณของแสงโดยใช้โปรแกรม Dialux 4.10..... 138

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา..... 48

แผนภูมิที่ 4.2 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา..... 50

แผนภูมิที่ 4.3 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 53

แผนภูมิที่ 4.4 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 1 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90องศา..... 56

แผนภูมิที่ 4.5 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแบบยาว 1 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 59

แผนภูมิที่ 4.6 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 2 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา..... 62

แผนภูมิที่ 4.7 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา..... 65

แผนภูมิที่ 4.8 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา..... 68

หน้า

แผนภูมิที่ 4.9 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 71

แผนภูมิที่ 4.10 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45องศา..... 74

แผนภูมิที่ 4.11 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา..... 77

แผนภูมิที่ 4.12 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 80

แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 9 ช่องเปิด และ 13 ช่องเปิด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 83

แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 9 ช่องเปิด และ 13 ช่องเปิด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 83

แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 2 ช่องเปิดแบบแนวยาว และ 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 85

แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 2 ช่องเปิด แนวยาว และ 3 ช่องเปิดแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา…….. 86

แผนภูมิที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา……. 88

หน้า

แผนภูมิที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 88

แผนภูมิที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบ ปริมาณแสง จำนวน 3 ช่องเปิด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 60 องศา และ90 องศา..... 90

แผนภูมิที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง จำนวน 3 ช่องเปิด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 60 องศา และ90 องศา 90

แผนภูมิที่ 4.21 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 94

แผนภูมิที่ 4.22 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 96

แผนภูมิที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 99

แผนภูมิที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง จำนวน 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 100

แผนภูมิที่ 4.25 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา..... 102

หน้า

แผนภูมิที่ 4.26 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา..... 105

แผนภูมิที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ที่ 13 ช่องเปิดแบบจุด ติดตั้งSkylight Shutter 90 องศาที่ความสูง 3 เมตร..... 116

แผนภูมิที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ที่ 9 ช่องเปิดแบบจุด ติดตั้งSkylight Shutter 90 องศาที่ความสูง 3 เมตร..... 117

แผนภูมิที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ของ 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้งSkylight Shutter 90 องศา ที่ความสูง 3 เมตร..... 120

แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ของ 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้งSkylight Shutter 90 องศา ที่ความสูง 3 เมตร..... 120

แผนภูมิที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของแสง ของ 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว ติดตั้งSkylight Shutter 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ90 องศา ที่ความสูง เมตร..... 122

แผนภูมิที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของแสง ของ 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ90 องศาที่ ความสูง 3 เมตร..... 122

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมในปัจจุบัน มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารต่างรูปแบบกันไป ทั้งนี้ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารยังคงเป็นปัญหาสำหรับการนำมาใช้งาน เนื่องจากแสงธรรมชาติยากที่จะควบคุมปริมาณแสง ทิศทาง ตลอดจนผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์

ในการออกแบบอาคาร ที่นำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร หากแต่ยังมีความเข้าใจทางด้านประสิทธิภาพของระบบนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารค่อนข้างน้อย ผู้ออกแบบควรที่จะศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแสง เพื่อนำมาคิด และออกแบบ ควบคู่กับการนำไปใช้งานให้ได้เหมาะสมกับความต้องการ และการใช้งาน ให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแต่ละพื้นที่ เพราะหากผู้ออกแบบเองคำนึงถึงความสวยงามด้านภายนอกเพียงอย่างเดียวแต่ไม่คำนึงข้อมูลที่กล่าวมาข้างมาข้างต้น อาจจะทำให้เกิดปัญหาตามมา โดยปัญหาที่เกิดขึ้นอาจจะทำให้ผู้ที่อาศัยอยู่ภายในอาคารนั้น มีความไม่สบายทางสภาวะสายตา ในการทำกิจกรรมนั้นๆ เนื่องจากบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณแสงที่น้อย หรือ มากจนเกินไป

การติดตั้ง Skylight Shutter ก็เป็นอีกทางเลือก ในการนำมาใช้ เพื่อเพิ่มปริมาณแสงในบริเวณพื้นที่ ที่แสงไม่เพียงพอ หรือ ลดปริมาณแสง ในบริเวณที่มีปริมาณแสงที่จ้าจนเกินไป แต่ในขณะเดียวกันผู้ออกแบบเองนั้นยังขาดความรู้ความเข้าใจในการเลือกใช้ Skylight Shutter รวมไปถึง จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องแล้วพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มักจะเน้นทำวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบช่องเปิดเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร เพื่อเน้นการประหยัดพลังงาน เช่น อวิรุทธ์ อุรุพงศา หัวข้อวิจัย “การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียนชนบท” ปี พ.ศ. 2544 ศึกษาด้วยการออกแบบช่องเปิดหลังคาโปร่งแสงในรูปแบบต่างๆเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร , กนกวรรณ อุสันโน หัวข้อวิจัย “รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน : การใช้แสงธรรมชาติ และการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร” ปี พ.ศ. 2539 การศึกษาด้วยการออกแบบอุปกณ์บังแดด เพื่อให้ปริมาณแสงธรรมชาติเข้าสูภายในอาคาร แต่ในขณะเดียวกันก็ลดความลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารด้วย , คมกฤษ ชูเกียรติมั่น หัวข้อวิจัยเรื่อง “การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย “ ปี พ.ศ. 2540 ผลของงานวิจัยที่ได้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาเทคนิคการใช้แสงธรรมชาติในการออกแบบช่องแสงของอาคารที่ศึกษา จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยส่วนมากเน้นที่จะนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร แต่ยังไม่ได้

คำนึงถึงประสิทธิภาพของปริมาณแสง และการกระจายแสงที่เข้ามาภายในอาคาร ว่ามีความจ้ามากน้อยเพียงใด

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่า งานวิจัยส่วนมากจะเน้น การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน รวมถึงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาการนำ Skylight Shutter มาใช้ควบคู่กับช่องเปิดด้านบน

ทั้งนี้ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การนำ Skylight Shutter มาใช้กับอาคารเพื่อ เพิ่มปริมาณแสง เพิ่มประสิทธิภาพการกระจายแสง เพื่อให้ได้ปริมาณแสง และประสิทธิภาพการกระจายของแสง ที่เพียงพอ รวมถึงเป็นการลดปริมาณแสงในบริเวณพื้นที่ ที่มีปัญหาแสงจ้า ทั้งนี้ เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกที่จะนำไปใช้งานและนำไปพัฒนาเพื่อใช้กับอาคารประเภทต่างๆได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษา ปริมาณแสง (Illuminance) ประสิทธิภาพกระจาย และความสม่ำเสมอของ แสงธรรมชาติ (Daylight distribution) ที่เข้ามาภายในอาคาร โดยผ่าน Skylight Shutter
2. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการนำ Skylight Shutter ที่ติดตั้ง สำหรับอาคารเขตร้อนชื้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาครั้งศึกษาเฉพาะ ปริมาณความส่องสว่าง และการกระจายแสงโดยผ่าน Skylight Shutter เท่านั้น ไม่พิจารณาในด้านความร้อนและการทำความเย็นของอาคาร
2. ทำการศึกษาปริมาณความส่องสว่าง การกระจายตัวของแสงภายในที่ตกกระทบในระนาบพื้น โดยพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในชุดทดลอง และกำหนดให้ใบของ Skylight Shutter หันไปในทางทิศตะวันตก และทิศใต้ ทั้งนี้ทิศทางดังกล่าวเป็นทิศที่สามารถรับอิทธิพลของแสงจากดวงอาทิตย์ผ่านทางช่องแสงด้านบนได้ตลอดทั้งวัน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. กำหนดขนาดพื้นที่ทดลองและตัวแปรที่ทำการศึกษา

1.1 การทดลองครั้งนี้จะทำการทดลองจาก ห้องจำลอง ที่มีขนาด กว้าง 6.00 เมตร ยาว 6.00 เมตร ที่มีความสูงต่างกันที่ 3 ระดับคือ สูง 3.00 เมตร สูง 6.00 เมตร และสูง 9.00 เมตร โดยที่ ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในที่ พื้น 20% ผนัง 50% และเพดาน 70%

1.2 ลักษณะการวาง Skylight Shutter บริเวณช่องเปิดหลังคาทั้ง 2 แบบ ได้แก่

- แบบที่ 1 ขนาดช่องเปิด Skylight Shutter มีขนาด กว้าง 1เมตร ยาว 1 เมตร (แบบจุด) โดยจะมี 11 แบบ ได้แก่ แบบ 1 จุด, 2 จุด ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 2 จุด ในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 3 จุด ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 3 จุด ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 4 จุด, 5 จุด, 6 จุด ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 6 จุด ในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 9 จุด และ 13 จุด ในแนวระนาบขนานกับพื้นห้อง
- แบบที่ 2 ขนาดช่องเปิด Skylight Shutter มีขนาด กว้าง 1เมตร ยาว 6 เมตร (แบบยาว) โดยจะมี 6 แบบ ได้แก่ แบบ 1 แนวยาว ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 1 แนวยาว ในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 2 แนวยาว ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 2 แนวยาว ในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 3 แนวยาว ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 3 แนวยาว ในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ในแนวระนาบขนานกับพื้นห้อง

1.3รูปแบบของ Skylight Shutter ที่จะนำมาทดลองมีลักษณะเป็น วงรี ขนาดหน้ากว้าง 6 นิ้ว ระยะห่างของใบ หัวละท้ายจะวางชนกันพอดี องศาที่ใช้ในการติดตั้งจะอยู่ที่ 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ 90 องศา โดย Skylight Shutter ที่จะนำมาทดลองมีลักษณะ มีพื้นผิวเรียบแบบโลหะพื้นผิวหยาบด้าน (matte surface) สีขาว ซึ่งมีค่าการสะท้อนแสง 90%

2. ศึกษาปริมาณแสงและประสิทธิภาพการกระจายแสงภายในอาคารโดยทำการ คำนวณด้วยโปรแกรม Dialux 4.10 ของวันที่ 21 มิถุนายน วันที่ 21 กันยายน และวันที่ 21 ธันวาคม เนื่องจาก

- วันที่ 21 มิถุนายน (Summer solstice)เป็นวันที่บริเวณขั้วโลกเหนือจะเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด และเป็นวันที่กลางวันยาวนานที่สุด
- วันที่ 21 กันยายน (Equinox) เป็นวันที่มีระยะเวลาของกลางวันและกลางคืนที่เท่ากัน
- วันที่ 21 ธันวาคม (Winter solstice) เป็นวันที่ซีกโลกเหนืออยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด และมีช่วงเวลากลางวันสั้นที่สุด

เวลาที่ใช้ทำการทดลอง ได้แก่ช่วงเวลา 8.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น. แสดงข้อมูล ปริมาณแสงและประสิทธิภาพการกระจายโดยกำหนดจุด ที่ระนาบแนวนอน และระนาบแนวตั้ง ในระนาบพื้นงาน ที่สูงจากพื้น 0.75 เมตร จำนวน 11 จุด จากนั้นนำค่าที่ได้มาคิดปริมาณแสงและประสิทธิภาพการกระจายแสงจะ โดย ระยะห่างของจุดจะแบ่งได้ดังนี้

- จุดจาก ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ขนานกับพื้นห้อง เริ่มกำหนดจุดในการวัด จากทิศตะวันออก มายังทิศตะวันตก โดยการกำหนดจุดมีระยะที่เท่ากัน คือที่ระยะ 0.275, 0.825, 1.375, 1.925, 2.475, 3.025, 3.575, 4.125, 4.675, 5.225 และ5.775 เมตร ในระนาบพื้นงาน ที่สูงจากพื้น 0.75 เมตร ทั้งนี้ระยะห่างของจุดแรกที่กำหนดจะห่างจากผนัง 0.225 เมตร (ใช้เฉพาะแนวในการวางช่องเปิดจาก ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก)
- จุดจาก ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ขนานกับพื้นห้อง เริ่มกำหนดจุดในการวัด จาก ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ โดยการกำหนดจุดมีระยะที่เท่ากัน คือที่ระยะ 0.275, 0.825, 1.375, 1.925, 2.475, 3.025, 3.575, 4.125, 4.675, 5.225 และ 5.775 เมตร ในระนาบพื้นงาน ที่สูงจากพื้น 0.75 เมตร ทั้งนี้ระยะห่างของจุดแรกที่กำหนดจะห่างจากผนัง 0.225 เมตร (ใช้เฉพาะแนวในการวางช่องเปิดจาก ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้)

จากนั้น นำมาเทียบค่า ปริมาณของแสง หน่วยเป็นลักซ์ ที่เหมาะสมกับอาคารประเภทอาคารสำนักงาน อาคารประเภทห้างสรรพสินค้า และอาคารประเภทโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ปริมาณแสง ตามเกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้กำหนดไว้

3. เก็บข้อมูล และประมวลผลการทดลอง

3.1 เก็บบันทึกปริมาณความส่องสว่างภายในหุ่นจำลองทุกชุดการทดลอง คำนวณด้วยโปรแกรม Dialux 4.10

3.2 ประมวลผลการทดลองด้วยค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงสว่างในชุดทดลองและประสิทธิภาพการกระจายแสง โดยจัดแบ่งเนื้อหาดังต่อไปนี้

- ปริมาณแสง (Illuminance) ที่ระนาบทำงาน
- ประสิทธิภาพการกระจายแสง(Daylight Distribution) และระดับความสม่ำเสมอของแสง(Uniformity ratio)ที่ระนาบพื้นงาน

4. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแสงที่เกิดจาก องศาที่ใช้ติด Skyligh Shutter ในแต่ละองศา ซึ่งได้แก่ 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ 90 องศา

4.1 การประเมินประสิทธิภาพของแสงด้านปริมาณแสงสว่าง ในพื้นที่ระนาบทำงาน

4.2 การประเมินประสิทธิภาพของแสงการกระจายแสง ในพื้นที่ระนาบพื้นงาน

5. สรุปผลการวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการนำ Skyligh Shutter ไปใช้ให้เหมาะสมกับ ขนาด และประเภทของอาคาร เพื่อให้ได้ความส่องสว่างตามเกณฑ์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างได้กำหนดไว้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบถึง แนวทางในการนำปริมาณแสง และประสิทธิภาพกระจายแสงของแสงธรรมชาติ (Daylight Distribution) ที่เข้ามาภายในอาคาร ผ่าน Skylight Shutter

2. เพื่อทราบถึง แนวทางในการนำ Skylight Shutter ที่ติดตั้ง สำหรับอาคารเขตร้อนชื้น

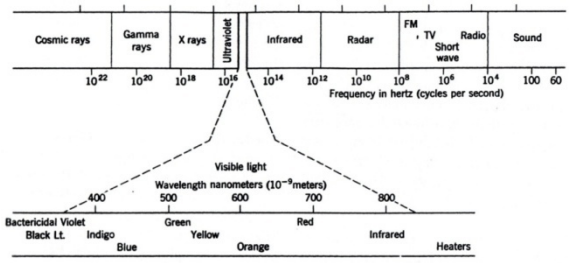
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่น ๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือความถี่หรือความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม, 2521) ในคุณสมบัติของคลื่นแสง จะมีคุณสมบัติของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (Micron) หรือ 380-760 นาโนเมตร (Nanomaters) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าว เมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา จะมีการกระตุ้นของพลังงานกับประสาทตาปกติ ทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา

แสงที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380-760 นาโนเมตร (Nanomaters) ประกอบด้วยสเปกตรัม (Spectrum) ของสีหลาย ๆ สีจากความถี่ และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน พลังงานในช่วงดังกล่าวนี้ช่วยในการมองเห็น หรือเรียกว่า Visible Light ซึ่งความเข้มแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีการหักเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสง จะเป็นตัวแสดงว่าแสงสีไหนมีมากกว่ากัน แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มหมด เมื่อนำไปส่องวัตถุใด วัตถุนั้นก็จะเด่นทั้งหมด สีม่วงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด และสีแดงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด ช่วงความยาวคลื่นที่ยาวกว่าสีแดง คือรังสีอินฟราเรด (Infrared) และคลื่นที่สั้นกว่าสีม่วง คือ รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์ (X-ray)



รูปที่ 2.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงสว่างที่ตอบสนองต่อการมองเห็น

ที่มา : Ander (2002: 27)

แสงมีแหล่งกำเนิดที่ใหญ่ที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงทางตรง ได้แก่ แสงแดด หรือ Sunlight และแสงที่เกิดจากการส่องกระทบอนุภาคในชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้สะท้อน หักเห และให้แสงในลักษณะกระจายทั่วพื้นที่หรือ Diffuse Light และเมื่อแสงส่องกระทบวัตถุใด ๆ จะสะท้อนแสง ทำให้วัตถุนั้นเกิดความส่องสว่าง ซึ่งถือเป็นรูปแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (Secondary Source) ซึ่งอาจให้แสงในลักษณะที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการสะท้อนหรือการยอมให้แสงส่องผ่าน ตลอดจนลักษณะของพื้นผิวของวัตถุที่แสงตกกระทบ (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม, 2521)

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง (Illuminance Theory)

แหล่งกำเนิดแสงส่องแสงออกมา และตกกระทบกับวัตถุหรือพื้นที่ใด ๆ จะส่งผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา จะทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นที่แสงสะท้อนออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่มีการสะท้อนของแสง ก็จะไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้น ๆ ได้ ซึ่งปริมาณแสงที่ตกกระทบกับวัตถุ หรือตกกระทบพื้นที่นั้น ๆ เรียกว่า การส่องสว่าง หรือความสว่าง (Illuminance) ของแสง

2.2.1 ปริมาณแสง (Luminous flux) เป็นการบอกค่า พลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่าง หรือกำลังการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Power of Light Source) ในรูปของเส้นตรงปริมาณแสงที่เปล่งแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ มีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen)

2.2.2 ประสิทธิผลของแสง (Luminous efficacy, η) ประสิทธิผลของแสงคือ อัตราส่วนของปริมาณแสง (φ) ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด ต่อพลังงานที่ใช้ (watt, W) เพื่อให้ได้ปริมาณแสงนั้นออกมา มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (lumen/watt, lm/W) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการวัดแสงดังสมการที่ 2.2

$$\eta = \varphi / W \quad \text{.....(2.2)}$$

2.2.3 Solid Angle (ω) เป็นการวัดพื้นที่ผิวของทรงกลม ที่ถูกครอบคลุมด้วยพื้นที่หนึ่งหน่วยที่สมมติเป็นทรงกรวย โดยมีส่วนแหลมสุด หรือโคนของกรวยที่จุดกำเนิดแสงหรือศูนย์กลางของวงกลมนั้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้น ๆ ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\text{Solid angle } (\omega) = A / R^2 \text{ steradian} \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ A = พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

R = รัศมีของทรงกลม

2.2.4 ความเข้มแสง (Luminous intensity, I) การที่แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยแสง (Luminous Flux) ออกมาทุกทิศทาง ปริมาณของแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดวัดใน Solid Angle ใด ๆ ในทิศทางโดทิศทางหนึ่ง นั่นคือความเข้มแห่งการส่องสว่าง หรือกำลังส่องสว่าง (Candlepower) มีหน่วยเป็น ลูเมน ต่อ สเตอเรเดียน (Lumen per Steradian) หรือแคนเดลา (Candela, cd) ค่านี้ เป็นการบอกความมากน้อยของปริมาณแสงในทิศทางต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ

เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมากจนถือว่าเป็นเสมือนจุด (Point Source) และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งออกมาและตกกระทบบนทุก ๆ หนึ่งตารางหน่วยของพื้นที่ทรงกลมนั้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน พื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งแสงออกมาไว้เป็นปริมาณเท่ากับ 12.57 ลูเมน

แคนเดลา (Candela) ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้ม ของการส่องสว่างบนพื้นผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลตินัม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุม ที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

2.2.5 ความส่องสว่าง (E) หมายถึง ความสว่างของปริมาณแสง 1 หน่วย ที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใด ๆ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Lumen per Unit of Area) หรือ ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร (หรือ ต่อ 1 ลักซ์) ซึ่งเป็นการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงภายในวงกลม คือทรงกลมนั้น มีรัศมี 1 ฟุตหรือ 1 เมตร ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งตกกระทบลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่ได้ จะเท่ากับหนึ่งลูเมนต่อตารางฟุต (1 foot-candle) หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (foot-candle) ในทำนองเดียวกัน หากทรงกลมนั้น มีขนาดรัศมีจะเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ 1 ลักซ์ โดยที่

1 Lux = 10.76 footcandle (หรือประมาณ 10 ฟุตแคนเดิล)

หากแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กมากจนถือว่ามีลักษณะเป็นจุด ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิว จะขึ้นอยู่กับระยะห่างและมุมของแสงที่ตกกระทบ จึงเกิดเป็นสมการในการหาค่าความส่องสว่างดังนี้

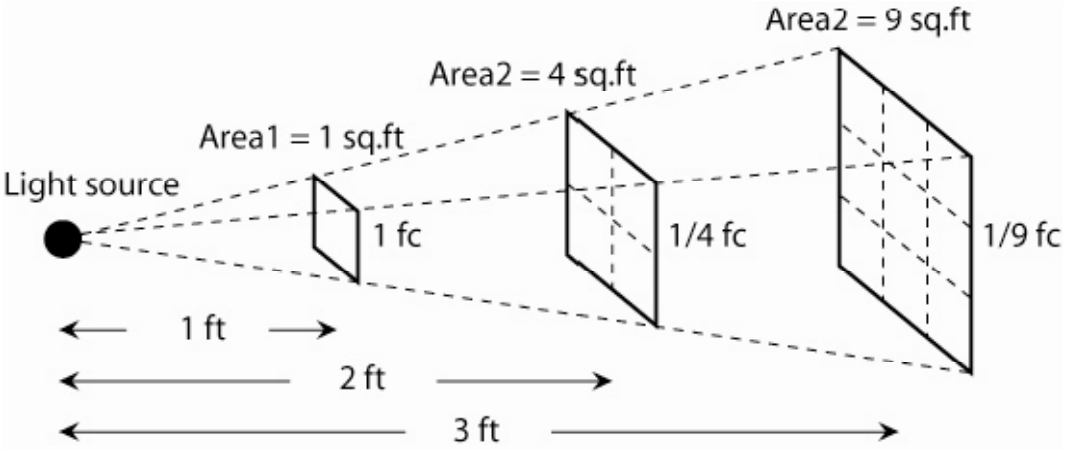
$$E = I\cos\theta / d^2 \quad \text{.....(2.4)}$$

เมื่อ E = ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น (lux) หรือฟุตแคนเดิล (fc)

I = ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิว ที่พิจารณา มีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)

d = เป็นระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณา กับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร หรือ ฟุต

โดยความสัมพันธ์นี้เรียกว่า “กฎกำลังสองผกผัน” (Inverse square law) และ “กฎของแลมเบิร์ต” (Lambert’s law) กฎกำลังสองผกผันกล่าวว่า “ค่าความส่องสว่าง (E) จะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและพื้นที่รับแสง” ส่วนกฎของแลมเบิร์ตกล่าวว่า “ปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิวของวัตถุจะแปรผันตามค่า cos ของมุมตกกระทบ (θ)



รูปที่ 2.2 แสดงกฎกำลังสองผกผัน

ที่มา : พรรณชลัท สุริโยธิน, 2548: 18.

2.2.5 ความสว่าง (Luminance,L) ความสว่างของแสงที่สะท้อนจากวัตถุเข้าสู่ตา ทำให้มองเห็นวัตถุนั้นมีความส่องสว่าง ที่สะท้อนหรือ ทะลุผ่านออกมาจากวัตถุ เรียกว่า ความสว่าง มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือ ฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert)เมื่อวัตถุที่แสงตกกระทบมีพื้นผิวที่ช่วยกระจายแสง (Diffuse) ค่าความสว่างจะแปรผันตรงกับค่าความส่องสว่าง และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงหรือสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงค่าความสว่างขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง (I) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสง (τ) ของวัตถุ และพื้นที่ของวัตถุที่มองเห็น (Area viewed) หรือค่าระดับความส่องสว่างบนวัตถุ (E) กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสง (τ) ของวัตถุ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ ที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแตกต่างกัน ส่งผลต่อการมองเห็นวัสดุนั้นต่างกันด้วยเมื่อให้แสงในปริมาณที่เท่ากัน โดยการหา *สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ*นั้น สามารถใช้ลักซ์มิเตอร์วัดความส่องสว่างที่วัสดุ เพื่อวัดค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบวัสดุ จากนั้นหันลักซ์มิเตอร์เข้าหาวัสดุโดยเอียงทำมุม 45 องศาห่างจากพื้นผิวประมาณ 6 นิ้ว เพื่อวัดความส่องสว่างที่สะท้อนออกจากวัสดุ โดยต้องระวังไม่ให้มีเงามาบังส่วนรับแสงของลักซ์มิเตอร์

$$\text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง} = \frac{\text{ปริมาณแสงที่สะท้อนจากวัสดุ}}{\text{ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัสดุ}}$$

2.2.6 ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) การสะท้อนของแสงธรรมชาติ ที่ส่งผลให้แสงภายในมีความสม่ำเสมอสูงสุด โดยระดับความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 0-1 ซึ่งค่ามากจะหมายถึงการมีระดับความสม่ำเสมอของแสงที่ดี โดยระดับความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.5 ดังนี้

$$\text{Uniformity ratio} = \frac{E_{min}}{E_{av}} \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ Emin คือ ค่าความสว่างของปริมาณแสงต่ำสุด

Eav คือ ค่าความสว่างของปริมาณแสงโดยเฉลี่ย

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติเป็นรูปแบบของพลังงานชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทางและตำแหน่งต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ โดยปริมาณแสงธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปตามวันและฤดูกาลที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้น ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทาง และปริมาณของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและคงที่ แต่ยังมีลักษณะของรูปแบบที่ไม่แน่นอนของแสง

ธรรมชาติ ซึ่งจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และมลภาวะปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก เมื่อแสงธรรมชาติตกกระทบพื้นผิวต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศเขตร้อน แบบร้อนชื้น โดยทั่วไปอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 28-29°C เฉพาะในเวลากลางวันมีค่าประมาณ 30-31°C สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก มีแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี จะเห็นว่าดัชนีเมฆของประเทศไทยมีค่าตั้งแต่ 5.9 ถึง 9.0 (ค่าสูงสุดคือ 10) และค่าระดับความสว่างสำหรับกรุงเทพมีค่าความสว่างในระดับ 10.000 lux ขึ้นไป มีความถี่ถึงกว่า 99% ของเวลากลางวัน (ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย, 2542)

2.3.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ จากการที่องค์ประกอบของท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม มีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ดังนั้น CIE (Commission International de l'Eclairage) ได้มีการแบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติ ออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดแสงได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

- แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์

แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาติ และ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สำคัญที่สุดของโลก ความแตกต่างของความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์โดยขึ้นอยู่กับมุมองศาของรังสีที่กระทำกับพื้นผิวของโลก โดยที่แกนของโลกที่เอียงทำมุม 23.50 องศานั้น ทำให้ความเข้มของรังสีตกกระทบพื้นผิวโลก มีค่าเท่ากับความเข้มของรังสีปกติ คูณด้วยค่า Cosine ของมุมที่รังสีตกกระทบตามกฎ Cosine Law ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มของรังสี ต่อหน่วยพื้นที่บนผิวโลกมีความเข้มมากที่สุด เมื่อทิศทางของรังสีทำมุม 90 องศากับผิวที่กระทบ และค่าจะลดลง เมื่อมุมตกกระทบเบี่ยงเบนออกจากแนวตั้งฉากกับพื้นผิวในส่วนของชั้นบรรยากาศที่ปกคลุมโลกก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าลดลงก่อนที่จะเดินทางมาถึงพื้นผิวโลก โดยรังสีบางส่วนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะถูกดูดกลืนของชั้นโอโซน ฝุ่นและอองและไอน้ำ บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับโดยเมฆ และบางส่วนถูกกระจายออกโดยไม่โมเลกุลในบรรยากาศ รังสีที่ตกกระทบผิวโลกแล้วก็จะสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ และมีส่วนหนึ่งที่ตกลงสู่ผิวโลกแล้วถูกดูดกลืนไว้ รังสีในส่วนนี้จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมบนโลกสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของชั้นบรรยากาศในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่มีปริมาณความแตกต่างของไอน้ำ หมอก ควัน และองค์ประกอบอื่น ๆในบรรยากาศด้วยปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้ปริมาณของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคของโลกมีความแตกต่างกันไปตามวันเวลาและฤดูกาล ซึ่งไม่เท่ากันและมีลักษณะเฉพาะในแต่ละฤดูกาล

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และการหมุนของโลกนั้น จะมีความสำคัญต่อปริมาณของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งต่าง ๆ บนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้นโลก เราจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากพื้นโลกได้จาก

1. มุมอัลติจูล (Solar Altitude) at เป็นมุมในแนวตั้ง ที่จะบอกมุมเงยของดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับระดับพื้นราบ

2. มุมอะซิมุท (Solar Azimuth) as เป็นมุมในแนวนอน ที่จะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เมื่อวัดจากแกนในแนวทิศใต้ เป็นทิศเริ่มต้นที่ 0 องศา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือที่ 180 องศา และ -180 องศา

- แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า

การส่องผ่านของแสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศในชั้นต่าง ๆ จะเกิดการกระจายตัว ของแสงไปทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่น ละอองไอน้ำ และสารแขวนลอยต่าง ๆ ในแต่ละชั้นบรรยากาศ การกระจายตัวของแสงในท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ทำให้เกิดเป็นลักษณะต่าง ๆ ของท้องฟ้าได้ดังนี้

1. ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)
2. ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบาส่วน (Partly and Cloudy Sky)
3. ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky)

- แสงธรรมชาติจากพื้นดิน

การสะท้อนของแสงจากพื้นดิน นับว่ามีความสำคัญ สำหรับการออกแบบอาคารด้วยแสงธรรมชาติ เนื่องจากแสงที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นดินและเข้าสู่ช่องเปิดของอาคารนั้น จะมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10-15 ของปริมาณแสงทั้งหมด ที่ผ่านสู่ช่องเปิดของอาคาร ซึ่งปริมาณแสงสะท้อนจากพื้นดิน เข้าสู่ช่องเปิดอาคาร จะมากหรือน้อยตามลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนเสง

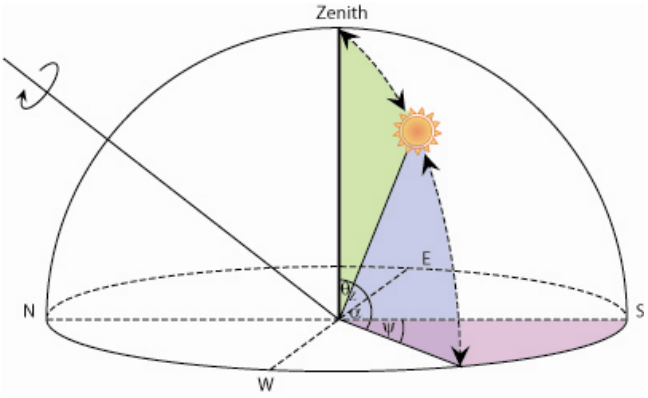
2.5.2 การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน กับอาคาร นอกจากจะต้องคำนึงถึงเรื่องปริมาณความร้อนที่จะมากับแสงธรรมชาติแล้ว สิ่งหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ เรื่องของความแปรปรวนของปริมาณแสงธรรมชาติ เนื่องจากสภาพท้องฟ้าซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาตินั้น มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงยากต่อการคาดคะเนปริมาณแสงที่จะเกิดขึ้นจริง

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

การคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งานในแต่ละบริเวณนั้น จะเริ่มต้นจากทิศทางตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนี้

- ที่ตั้งตามตำแหน่งเส้นรุ้งและเส้นแวง (Lattitude and Longtitude of the Site)
- วันตามปีปฏิทิน (Day of the year, Julian Date)
- เวลาท้องถิ่น (Local Time)

โดยที่ เวลาท้องถิ่น (Local Time) จะแปรเปลี่ยนมาจากเวลาที่แท้จริงของดวงอาทิตย์ (Solar Time) และมุมต่าง ๆ ที่ได้ในการคำนวณ จะเป็นมุมเรเดียน (Radian) ที่อธิบายถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อัลติจูด (at, Altitude) และมุมอะซิมุท (as, Azimuth)
ที่มา: เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2547

2.4.1 ตำแหน่งของที่ตั้ง ตำแหน่งและที่ตั้งของบริเวณที่จะศึกษานั้น จะถูกกำหนดขึ้นจากเส้นรุ้ง (Longtitude, l) และเส้นแวง (Latitude, L) ที่มีอยู่ และตำแหน่งของเส้นรุ้งและเส้นแวงของจังหวัดกรุงเทพตั้งอยู่ที่ละติจูด $13^{\circ}\ 44'$ และลองติจูด $100^{\circ}\ 30'$ โดยมีหน่วยเป็นองศา-พิลิปดา

เส้นแวง หรือ เส้นละติจูด (Latitude) จะกำหนดให้ด้านเหนือของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นบวก และด้านใต้ของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นลบ

เส้นรุ้ง หรือ เส้นลองติจูด (Longtitude) จะกำหนดให้ด้านตะวันตกของเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน (Meridian, Greenwich, U.K.) เป็นลบ และด้านตะวันออกของเส้นแบ่งเวลา (Latitude) เป็นบวก

2.4.2 การบอกเวลา ในปัจจุบันนี้การบอกเวลาจะแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง จึงเป็นการบอกเวลาแบบปกติตามแต่ละท้องถิ่น แต่การบอกเวลาตามดวงอาทิตย์ (Solar Time) จะสามารถคำนวณได้จากเวลามาตราฐาน โดยเริ่มจากการกำหนดจากเส้นแวง (Longtitude) ของเส้นแบ่งเวลาในช่วงต่าง ๆ และจากสมการของเส้นบอกเวลา (Equation of Time) โดยเวลาเทียบเท่า (Equation of Time) จะมีความแตกต่างจากเวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และเวลานาฬิกา (Clock Time) เนื่องจาก

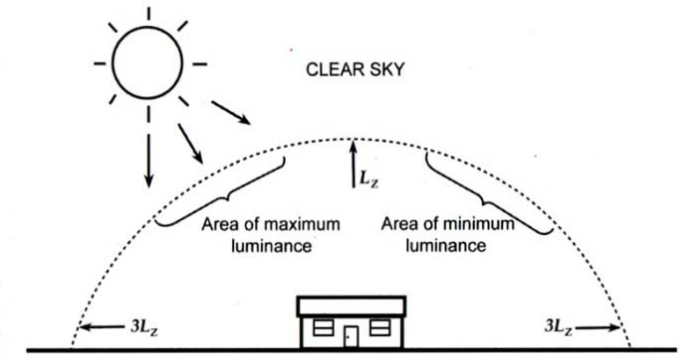
- ตำแหน่งการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (Elliptical Orbit of the Earth)
- ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามแนวแกนที่พิจารณา (Solar Declination of the Axis)

2.4.3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar Position) ตำแหน่งและทิศทางต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์จะถูกกำหนดโดยมุมอัลติจูล และมุมอะซิมุสของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude and Solar Azimuth) ซึ่งจากลักษณะของมุมทั้งสองอิงกับ เส้นแวง ณ บริเวณนั้น, เวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar Declination)

2.5 **สภาพท้องฟ้า** (Sky Condition)

ความสว่างของท้องฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่ง โดยทั่วไป ประเทศไทยตั้งในสภาพพื้นที่อากาศร้อนชื้น สภาพท้องฟ้าจะมีเมฆปกคลุม รวมถึงปริมาณฝุ่น ควัน และไอน้ำ ซึ่งส่งผลต่อความสว่างของท้องฟ้า โดยทั่วไปสามารถแบ่งสภาพของท้องฟ้าได้เป็น 3 แบบคือ (พิรัส เหล่าไพศาลศักดิ์, 2541)

2.5.1 สภาพท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุม (Clear Sky) ความสว่างของท้องฟ้า จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ความสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง (Direct Sun) และความสว่างของแสงจากการกระจายแสงของท้องฟ้า ซึ่งสภาพท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุมนี้จะเป็นสภาวะที่มีเมฆปกคลุมไม่เกิน 30% โดยมีค่าความสว่างสูงสุดบริเวณใกล้เคียงดวงอาทิตย์และค่อยๆลดความสว่างลงจนกระทั่งมีค่าความสว่างต่ำสุดเมื่อวัดที่มุมห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะ 90 องศา โดยค่าความสว่างของท้องฟ้าจะมีความสว่างบริเวณฐานในแนวระนาบมากกว่าบริเวณด้านบน (รูปที่ 2.4)



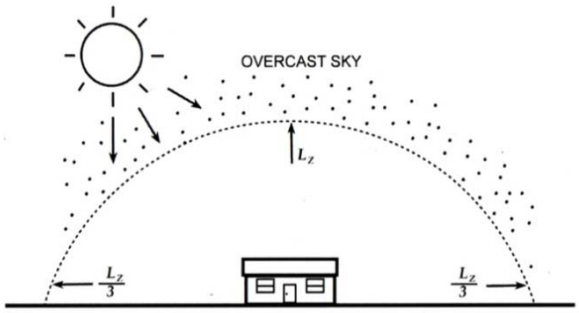
รูปที่ 2.4 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky

ที่มา: Stein and Reynolds, 1992 : 974

2.5.2 สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) การพิจารณาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้ จะทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และจากข้อมูลสถิติที่ได้มีการรวบรวมไว้ จะพบว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จะมีความส่องสว่างของท้องฟ้ามากกว่าท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear Sky) ประมาณ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณแสงที่ส่องกระทบก้อนเมฆ

ถึงแม้ว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนจะให้ปริมาณของแสงมากกว่าท้องฟ้าโปร่ง แต่ในบางกรณีหากกลุ่มเมฆที่เกิดขึ้นเป็นเมฆฝน หรือ มีสีดำทึบ ก็อาจทำให้แสงถูกกั้น หรือถูกดูดซึมมากกว่า ที่จะสะท้อนหรือเกิดการกระจายของแสง ทำให้ค่าความสว่าง ของท้องฟ้ามีค่าลดลง

2.5.3 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ (Overcast Sky หรือ CIE Sky) ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้า ในแถบสแกนดิเนเวียน (Scandinavia) และตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก โดยท้องฟ้าลักษณะนี้จะมีปริมาณเมฆปกคลุม 70% ขึ้นไป ความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก (Non-uniform Brightness Distribution) โดยความสว่าง จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากระนาบพื้น (Horizon-brightness) ความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับสูงสุดของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith-brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าความสว่างที่ระนาบพื้นประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้า ที่เกิดขึ้นที่จุดใด ๆ จะพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณาจากมุมอัลซิมุทของดวงอาทิตย์ (รูปที่2.5)



รูปที่ 2.5 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky
ที่มา: Stein and Reynolds, 1992 : 974

2.6 การให้แสงธรรมชาติ (The Utilize of Daylighting)

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ให้แสงสว่างภายในอาคาร นับว่าเป็นการนำแสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาใช้งาน เพราะแสงธรรมชาติได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ การใช้แสงธรรมชาติจึงเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และภาระการทำความเย็นในอาคารได้อีกส่วนหนึ่งด้วย แต่ถ้าไม่สามารถควบคุมแสงธรรมชาติที่จะนำมาใช้กับอาคารได้ ก็อาจจะทำให้แสงที่เข้ามามีความจ้ามากเกินไปจนเกิดเป็นแสงบาดตา (Glare) ได้ นอกจากนี้ยังนำมาซึ่งความร้อนเข้าสู่อาคารอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างเหมาะสม จึงเป็นเรื่องที่สถาปนิกควรให้ความสำคัญควบคู่ไปกับความงามทางสถาปัตยกรรม

2.6.1 การให้แสงธรรมชาติกับอาคาร แสงธรรมชาติสามารถนำเข้ามาภายในสถาปัตยกรรมได้ 2 วิธีหลัก ๆ คือ แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side Lighting) และทั้งที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top Lighting) โดยแสงที่มาจากทางด้านบนนั้น ถือได้ว่าเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับแสงที่มาจากทางด้านข้าง สิ่งที่ควรระวัง คือ แสงธรรมชาติของประเทศไทยจะมีความเข้มของการส่องสว่างสูง ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ก็จะมีความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคารด้วย จึงไม่ควรนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้โดยตรง แต่นำเข้ามาในทางอ้อม หรือที่เรียกว่า Indirect Light เท่านั้น คือ ให้แสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนหรือหักเหก่อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร(ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย, 2542)

- แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side Lighting) ใช้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร คือ ความลึกของห้องที่ค่อย ๆ ออกห่างจากหน้าต่าง และความสูงของของหน้าต่าง ซึ่งความสูงของหน้าต่างยิ่งมากแสงที่ส่องเข้าไปภายในอาคารก็ยิ่งลึก และมีการกระจายแสงได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ

- แสงที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top Lighting) การให้แสงทางด้านทิศเหนือ จะทำให้ได้แสงที่สม่ำเสมอ และการให้แสงทางด้านทิศใต้ จะทำให้ได้ความร้อน (Heat Gain) และความจ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศ และ การจัดวางอาคาร ควบคู่กัน เป็นต้น

รูปแบบของช่องเปิดสามารถตามแบ่งประเภทได้ได้นี้

- Saw - tooth Roof เป็นรูปแบบการเปิดช่องเปิดด้านบนในแนวตั้ง ในทางด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร โดยส่วนใหญ่มักจะหันด้านช่องเปิดไปในทิศที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุด ดังนั้น การออกแบบจึงมักหันช่องเปิด Sawtooth Roof ไปทางด้านทิศเหนือเพื่อป้องกันความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์เข้ามา และง่ายต่อการควบคุมความจ้า (Fuller Moore, 1984)

รูปที่ 2.6 รูปแบบช่องเปิดแบบ Saw - tooth Roof

ที่มา: http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Daylight_Strategies

[10/05/2011]

- Clearstories หรือ Monitors Roof รูปแบบของหลังคาที่ให้แสงเข้ามาได้ 2 ด้าน ขึ้นไป ถ้ามีการใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมในบริเวณที่เปิดรับแสงทางด้านทิศต่าง ๆ จะทำให้การกระจายของแสงภายในอาคารเกิดความสม่ำเสมอ (Hopkinson, 1972)

รูปที่ 2.7 รูปแบบช่องเปิดแบบ Monitors Roof

ที่มา: http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Daylight_Strategies

[10/05/2011]

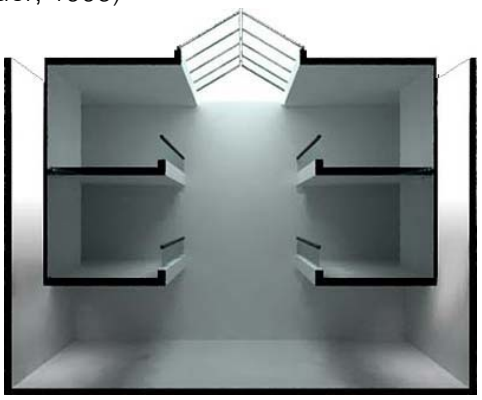
- Skylight การเปิดรับแสงในแนวราบ (Horizontal Plane) จึงต่างจากรูปแบบของการให้แสงจากทางด้านบนแบบอื่น ๆ เนื่องจาก วิธีนี้ มีผลกระทบเมื่อ พิจารณาในด้านคุณสมบัติทางด้านความร้อน ซึ่งเกิดจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์และปริมาณแสงที่จ้าเกินความจำเป็น ทั้งนี้หากจะควบคุมความจ้า (Glare Control) และความต้องการการกระจายแสง อาจนำ Diffusing Glazingมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว แต่จะทำให้ทัศนียภาพของท้องฟ้าเสียไปรวมถึงราคาของวัสดุที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม Skylight ก็เป็นที่นิยมใช้ในประเทศหนาว เพราะสภาพอากาศที่เย็น ทำให้ผู้ใช้อาคารต้องการนำความอบอุ่นจากดวงอาทิตย์มาใช้ภายในอาคาร (Ander, 1995)

รูปที่ 2.8 รูปแบบช่องเปิดแบบ Skyligh

ที่มา: http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Daylight_Strategies

[10/05/2011]

- Light Well การเปิดรับแสงในแนวราบ (Horizontal) คล้ายกับ Sky Light แต่มีผนังด้านข้าง Penetration เรียกว่า Light Well ซึ่งความลึกจะมีผลต่อการสะท้อนแสงที่มาจากพื้นผิวของ Light Well รูปร่างของ Well มีความสำคัญต่อการกระจายแสงและมีแสงจ้า เมื่อมองจากข้างล่างขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องมีการคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจาก Diffuseing Glass และพื้นที่กว้างระหว่าง Skylight (Ander, 1995)



รูปที่ 2.9 รูปแบบช่องเปิดแบบ Light Well

ที่มา: http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Daylight_Strategies

[10/05/2011]

การให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบน สามารถมาจากทิศทางใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทางตั้ง (Vertical) และทิศทางนอน (Horizontal) ผ่านทางหลังคา (Roof Lighting) ซึ่งมีหลายรูปแบบ เช่น Skylight, Sawtooth และ Monitor Roof เป็นต้น ทั้งนี้ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารควรมีเกณฑ์พิจารณาดังนี้

เมื่อพิจารณาลักษณะเฉพาะในแต่ละรูปแบบ เพื่อหารูปแบบที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารในประเทศไทย ที่อยู่ในภูมิอากาศเขตร้อน ซึ่งเป็นเขตที่มีสภาพอากาศภายนอกร้อนเกือบตลอดทั้งปี และมีความส่องสว่างภายนอกสูงเกือบตลอดทั้งปีเช่นกัน ซึ่งผลกระทบดังกล่าวทำให้ เกิดสภาวะไม่น่าสบาย (Discomfort Zone) ดังนั้นความเย็นสบายและปริมาณแสงที่พอดีกับการใช้งาน จึงเป็นสิ่งที่ผู้ใช้อาคารต้องการมากที่สุด รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่มีความเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารในเขตร้อน จึงควรจะเป็นรูปแบบที่สามารถลดอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นที่มาของความร้อนและความจ้า ที่จะเข้าสู่ภายในอาคารได้

2.6.2 ปัญหาในการนำแสงธรรมชาติมาใช้สำหรับภูมิอากาศเขตร้อน (Daylight and Problem of Utilization in Hot Humid Climate)

แสงจากดวงอาทิตย์จะมีทิศทางกระจายไปทั่วท้องฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณและสภาพการกระจายตัวของเมฆเป็นหลัก (Cloudiness Factor) สำหรับในเขตหนาว ปริมาณเมฆบนท้องฟ้ามาก เรียกว่าท้องฟ้ามืด (Overcast Sky) มีปริมาณแสงที่ค่อนข้างคงที่ สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้น มีปริมาณเมฆบนท้องฟ้าปานกลางจนถึงน้อยมาก เรียกว่าท้องฟ้ามีเมฆ (Party Cloudy Sky) ซึ่งมีปริมาณแสงสว่างที่ไม่ค่อยคงที่และท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งมีปริมาณแสงที่คงที่และความเข้มสูง ในกรณีของท้องฟ้ามีเมฆความคงที่ของแสงจะไม่แน่นอนสลับกันไปมา เมื่อถูกแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sun) ดังนั้น ในการออกแบบแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร จึงต้องคำนึงถึงความคงที่สม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้น เพราะมีผลต่อการใช้งานภายในอาคาร ในบางครั้งตำแหน่งของแสงอาทิตย์ (Direct Sunlight) ก็สามารถที่จะส่องตรงไปยังบริเวณพื้นที่ใช้งานได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะที่ไม่สบายต่อสายตา (Visual Uncomfort) ขึ้นได้ และยังทำให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นลดลง

การให้แสงสว่างธรรมชาติเข้าไปในอาคารนั้นควรจะมีการออกแบบที่เหมาะสม เช่น การออกแบบช่องเปิดเพื่อให้ได้รับแสงนั้น จำเป็นคำนึงถึงขนาดของช่องเปิดด้วย หากว่าช่องเปิดมีขนาดใหญ่มาก ปริมาณแสงที่เข้ามาก็มาก แต่ก็มีความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคาร ดังนั้นการออกแบบช่องเปิดควรมีขนาดที่เหมาะสม กับพื้นที่ภายในอาคารเพื่อให้ได้ปริมารแสงที่เพียงพอ

รวมถึง การให้แสงสว่างในทิศเหนือ-ใต้ (North Lighting-South Lighting) จะไม่ก่อให้เกิด Direct Sunlihgt ตลอดปี ยกเว้นแต่ในตอนเช้า และเย็นของเดือนในฤดูร้อน (ปัทมาพร ศิริผลวุฒิ, 2542)

ปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติสาหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทยนั้น จะมีฤดูร้อน และฤดูฝน รวมทั้งองค์ประกอบของท้องฟ้า เช่น ปริมาณเมฆ เป็นต้น ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นมาใช้ จึงจะต้องมีความระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของปริมาณความสว่าง ของท้องฟ้าจะมีปริมาณที่สูง เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเหนือศีรษะ หรือตั้งฉากกับพื้นโลกมากกว่าในเขตภูมิอากาศหนาว ดังนั้นการกำหนดปริมาณแสงที่จะเข้ามาภายในอาคาร ต้องเป็นไปตามความต้องการที่จะใช้งานท่านนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร ในกรณีที่แสงธรรมาติเข้ามาสู่ภายในอาคารเกินความจำเป็นในการใช้งาน

ดังนั้นสำหรับประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (Hot-Humid Climate) การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ ควรต้องมีหลักการสำคัญ ดังนี้

- หลีกเลี่ยงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ โดยเน้นการใช้แสงสว่างที่ได้จากการสะท้อนจากดวงอาทิตย์ (Diffuse Light)
- ขนาดของช่องเปิด ไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น คือมีขนาดพอดีต่อการรับแสงธรรมชาติเข้ามาส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน

2.7 มาตรฐานระดับความส่องสว่าง

2.9.1 หน่วยงานที่รับผิดชอบด้านเกณฑ์, มาตรฐานและข้อกำหนดหน่วยงานที่มีส่วนรับผิดชอบมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าแสงสว่างนั้นมีอยู่หลายหน่วยงานทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ อาทิเช่น International Standard Organization (ISO), International Commission on IIlumination (CIE), British Standard Institution (BSI), Deutshes Institute for Normung (DIN), IIlumination Engineering Society of North American (IESNA), Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), IIluminatig Engineering Association of Thailand (TIEA), Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), IIluminating Engineering Society (IES), South African National Standards (SANS), New Zealand Standard (NZS), Australian Standard (AS) เป็นต้น โดยหน่วยงานเหล่านี้ได้มีการจัดทำเกณฑ์, มาตรฐาน และข้อกำหนดในการออกแบบระบบแสงสว่าง โดยอาจแบ่งค่าการส่องสว่าง (IIluminace) ซึ่งวัดได้ในหน่วย ลักซ์ (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (Footcandle) ออกตาม

ลักษณะพื้นที่การใช้งานและประเภทกิจกรรม ทั้งค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (Average Illuminance) ซึ่งใช้เพียงค่าเดียว ยกตัวอย่างเช่น ค่าการส่องสว่าง 200 ลักซ์ สำหรับการเดิน และค่าการส่องสว่างแบบช่วง (Range Illuminance) ซึ่งต้องอาศัยปัจจัยถ่วง (Weighting Factor) ในการพิจารณาเพิ่มเติม เช่น เพศ, วัย เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น ค่าการส่องสว่าง 200-300-500 ลักซ์ สำหรับพื้นที่สาธารณะที่มีสภาพแวดล้อมโดยรอบที่มืดกว่า ในงานวิจัยนี้จะใช้มาตรฐานด้านความส่องสว่างของ Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ฉบับตีพิมพ์ปี 2000 และ Illuminating Engineering Association of Thailand (TIEA)

2.9.2 ค่าการส่องสว่างที่แนะนำโดย TIEA สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้จัดทำเกณฑ์การส่องสว่างมาตรฐานสำหรับประเทศไทยขึ้น เพื่อเป็นมาตรฐานที่ใช้ควบคุมคุณภาพของการส่องสว่างในบริเวณต่างๆ รวมทั้งพื้นที่ทำงานให้มีมาตรฐานโดยทางสมาคมจะมุ่งเน้นจัดเกณฑ์ความสว่างของภาคอุตสาหกรรม เพื่อคุณภาพงานและคุณภาพชีวิตของผู้ทำงานหรือลูกจ้าง ให้ได้รับสวัสดิการพื้นฐานของพื้นที่ทำงานที่ทางนายจ้างควรจัดให้อย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตามทางสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้แนะนำระดับความสว่างที่ใช้ในสำนักงานทั่วไปที่ 500 ลักซ์ สำหรับพื้นที่ส่วนอื่นๆมีการแนะนำระดับการส่องสว่างดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสว่างมาตรฐานเฉลี่ยของ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (TIEA)

พื้นที่ก่ารใช้งานต่าง ๆ	**ค่าการส่องสว่าง(Lux)**
ห้องทำงานทั่วไป	500
ห้างสรรพสินค้า	500-800
โรงงานอุตสาหกรรม	500-1000

2.8 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

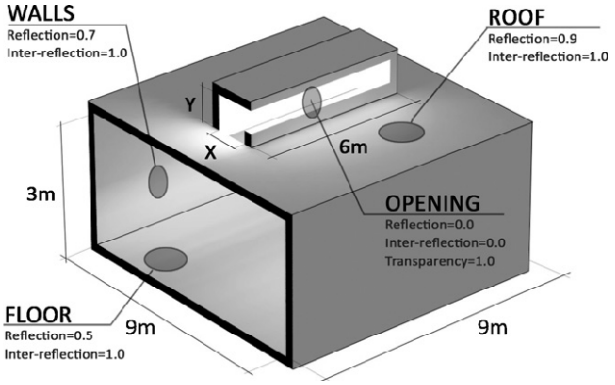
การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้น ต้องคำถึงถึง ปริมาณแสงที่เข้ามาภายในอาคารโดยตรง เนื่องจาก หากปริมาณแสงที่มาจากดวงอาทิตย์เข้ามาภายในอาคารมากเกินไป อาจทำให้แสงที่เข้ามาภายในอาคารมีความจ้ามากเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ เกิดความไม่สบายทางภาวะสายตา ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารควรหลีกเลี่ยงการนำสงเข้ามาใช้โดยตรง ควรที่จะออกแบบช่อง

แสงด้านบนหรือองค์ประกอบอาคารที่ช่วยปิดกั้นหรือควบคุมแสงตรงจากดวงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยจะเห็นได้จากตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

2.8.1 <u>ตัวอย่างงานวิจัยที่ 1</u> “Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of proportion and spacing under overcast sky conditions” โดย Ignacio Acosta, Jaime Navarro, Juan José Sendra และ Paula Esquivias Courret Paule (ARTICLE IN PRESS 2012)

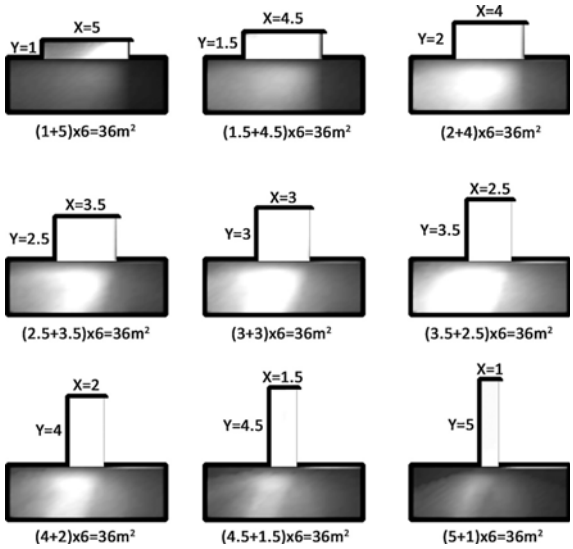
จุดมุ่งหมายของบทความนี้คือ เพื่อกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับ lightscoop skylights ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือมีช่องเปิดรับแสงในแนวตั้งและอยู่ในทิศตรงข้ามกับทางโคจรของแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับแสงมากที่สุดในพื้นที่ศึกษาในห้อง การทดลองใช้ software Lightscape 3.2 เป็นตัวแทนเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้ Day Sim 3.1 ผลสรุปว่า สัดส่วนของความสูง : ความกว้าง ประมาณ 4 : 3 (รูปที่ 2.15)เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการได้รับแสงมากที่สุดในห้องที่มีอากาศมืดครึ้ม

จากผลการทดลองที่สังเกตได้ในสภาพอากาศที่มืดครึ้มพบว่า lightscoop skylights จะให้แสงถึงพื้นห้องได้มากกว่า ถ้ามีอัตราส่วนของความสูง / ความกว้างของ skylights เป็น 4:3 โดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาดของห้องที่รับแสงอัตราส่วน 4 : 3 สำหรับ lightscoops เหมาะสำหรับท้องฟ้าที่มีแสงมากกว่าสภาพที่มีเมฆครึ้ม ตัวอย่างเช่นในวันที่มีฟ้าสว่างและต้องการแสงโดยไม่ให้แดดส่องตรงเข้าในห้อง หากพิจารณาตำแหน่งของ skylights ที่เพดานโดยนำอัตราส่วนความสูง : ความกว้าง คือ 4 : 3 ของ lightscoop model มาพิจารณา ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างความสูงของบริเวณที่ใช้ศึกษาถึงเพดาน กับการแบ่งช่องเปิดรับแสงของ skylights จะต้องเท่ากันหรือน้อยกว่า 4 : 3(รูปที่ 2.14) เพื่อให้ได้รับแสงที่สม่ำเสมอแบบเดียวกันในห้อง skylight surface ที่จำเป็นต่อการให้แสงในห้อง สามารถมีขนาดเล็กได้ (ซึ่งตรงกับข้อมูลของ Treado และคณะ)



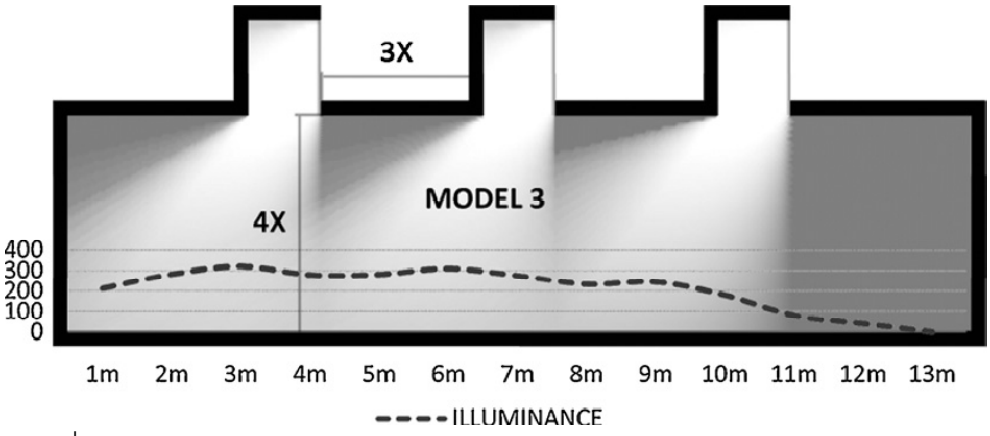
รูปที่ 2.10 แสดงการทดลองโดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน

ที่มา : Energy and Buildings (2012:2), doi:10.1016/j.enbuild.2012.02.038



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบสัดส่วนของช่องเปิดที่รับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Energy and Buildings (2012:3), doi:10.1016/j.enbuild.2012.02.03



รูปที่ 2.12 แสดง อัตราส่วนความสูง : ความกว้าง คือ 4 : 3 ของ lightscoop model

ที่มา : Energy and Buildings (2012:7), doi:10.1016/j.enbuild.2012.02.038

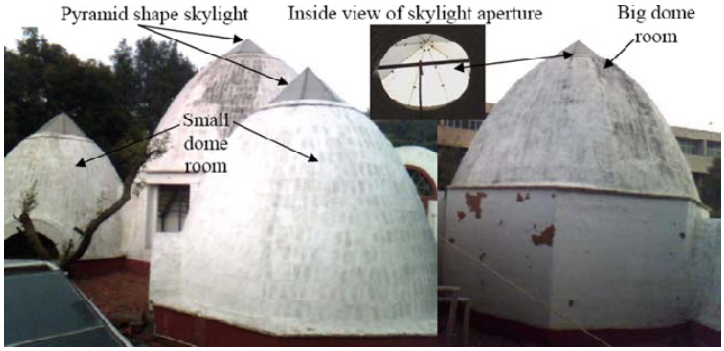
2.8.2 <u>ตัวอย่างงานวิจัยที่ 2</u> “ A modified model for estimation of daylight factor for skylight integrated with dome roof structure of mud-house in New Delhi (India)” โดย Arvind Chel *, G.N. Tiwari, H.N. Singh (Applied Energy 87, 2010 : 3037–3050)

จุดมุ่งหมายของบทความนี้คือ การเสนอรูปแบบเพื่อพิจารณา Daylight factor และปริมาณแสงภายในอาคารที่สอดคล้องกัน และเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลอง Skylight building ที่ทดลองในระดับความสูงของแนวตั้ง (vertical height) ต่างๆ กัน เช่นระดับพื้นดิน = 0 และเหนือพื้นดิน 0.75 ม. และ 1.5 ม. ทั้งห้องเล็กและห้องใหญ่ โดยมีการแนะนำให้ใช้

model ที่นำเสนอได้ ซึ่งมีผลให้ใช้อย่างเป็นทางการ และมีการกำหนดแก่ผู้เกี่ยวข้องให้เห็นสอดคล้องกัน สำหรับที่จะใช้ในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันได้ทั่วโลก ทั้งนี้จะช่วยให้เกิดการยอมรับ model ซึ่งออกแบบสำหรับ skylights เพื่อสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันในโลก

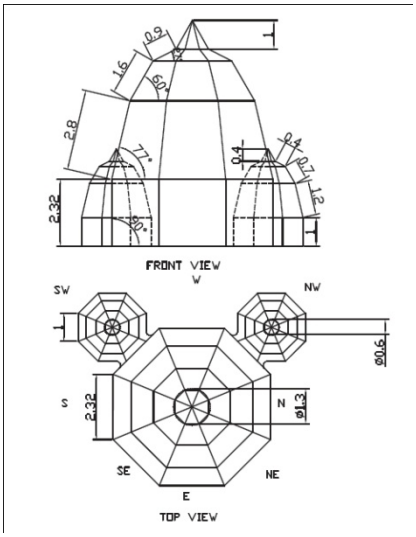
การประหยัดพลังงานของห้องที่ใช้ Skylight เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบการให้แสง (daylighting designs) ในอนาคต งานวิจัยควรทำเพื่อให้ model ที่สร้างขึ้นใช้ได้ผลสำหรับสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันทั่วโลก โดยอาศัยข้อมูลปริมาณแสงที่วัดได้เพื่อกำหนด daylight factor ตามศักยภาพในการประหยัดพลังงานของ skylight rooms (รูปที่2.16)

อาคารที่ใช้แสงธรรมชาติ กำลังอยู่ในความนิยม และได้รับการแนะนำสำหรับอาคารศูนย์กลางการค้าในอินเดีย และเมื่อเร็วๆ นี้ก็ได้มีการประเมินการจัดระบบอาคารขึ้นโดย Green Rating for Integrated Habitat Assessment (GRIHA)



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบหลังคา Skylight ที่เปิดรับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Applied Energy 87 (2010: 3039)



รูปที่ 2.14 แสดง สัดส่วน และขนาดของ รูปแบบหลังคา Skylight ที่เปิดรับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Applied Energy 87 (2010: 3039)

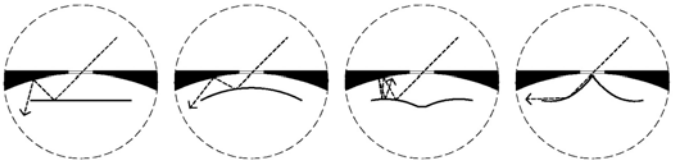
2.8.3 <u>ตัวอย่างงานวิจัยที่ 3</u> “การศึกษาเปรียบเทียบรูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของแสงกรณีศึกษาห้องแสดงภาพศิลปะในกรุงเทพมหานคร” โดย ชนิดา ประชาศิลป์ชัย (2552)

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งทำการศึกษารูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติ ที่มีการใช้โคมสะท้อนแสงธรรมชาติร่วมกับการให้แสงภายในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน ซึ่งสามารถกำหนดรูปลักษณะของโคมสะท้อนแสงธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทั้งสิ้น 4 ลักษณะ

- ลักษณะตรง
- ลักษณะโค้งคว่ำสอดคล้องกับรูปทรงของฝ้าเพดาน
- ลักษณะโค้งคว่ำแบบปีกนก (gull wings)
- ลักษณะโค้งหงายแบบปีกคู่ (a pair of upward-curving wings)

การทดลอง จำลองจากการสร้างหุ่นจำลองเพื่อทำการวัดค่าความส่องสว่างภายใน ห้องจัดแสดงภาพศิลปะ การกำหนดขนาดพื้นที่ดังกล่าวพิจารณาจากตำแหน่งการติดตั้งและองศาการมองภาพศิลปะที่จัดแสดงบนผนัง ซึ่งองศาการมองโดยทั่วไปของมนุษย์จะอยู่ที่ 54 องศาหรือ 27 องศาจากระดับสายตา โดยพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งภาพจัดแสดงมากที่สุด ได้แก่ ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 0.95 ม.จนถึง 3.60 ม.จากระดับพื้น ซึ่งการติดตั้งภาพจัดแสดงในพื้นที่ดังกล่าวจะทำให้ผู้ชมสามารถมองเห็นภาพจัดแสดงได้ทั่วทั้งภาพ การทดลองใช้หุ่นจำลองจำลองพื้นที่ทดลองขนาดกว้าง 10.00 ม. ยาว 12.00 ม.สูง7.00 ม พื้นที่ทดลองมีความสูงผนังสำหรับจัดแสดงภาพสูง 6.55 ม. ซึ่งเป็นความสูงที่ได้จากองศาการมองและความกว้างของพื้นที่ทดลอง โดยให้มีระยะเหนือพื้นที่ติดตั้งภาพจัดแสดง 0.45 ม.. วัดระดับความส่องสว่างของแสงภายในที่ตำแหน่ง work plane ทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง ที่ระนาบนอนที่ระดับพื้น (floor plane) และระนาบตั้งที่ผนัง (wall plane)ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ ภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงแบบ clear sky และแบบ partly cloudy sky ภายในเดือนมิถุนายน กันยายน และธันวาคมตุลาคม ในเวลา 9.00 น. 10.00 น. 11.00 น. และ 12.00 น.

ผลงานวิจัยสรุปว่า ผลกระทบของรูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของแสง โคมลักษณะโค้งหงาย ซึ่งสามารถรับแสงและสะท้อนออกได้ดีในทุกทิศทาง ส่วนโคมสะท้อนแสงที่ส่งผลให้ประสิทธิของแสงด้อยลง ได้แก่ โคมที่มีลักษณะทำให้แสงที่ตกกระทบตัวโคมไม่สามารถสะท้อนขึ้นสู่เพดานและกระจายตัวลงสู่พื้นที่ด้านล่างได้ ดังเช่น โคมลักษณะโค้งปีกนก



รูปที่ 2.15 แสดงทิศทางการสะท้อนของแสงที่เกิดจากโคมแต่ละลักษณะ
ที่มา : ชนิดา ประชาศิลป์ชัย (2552: 165)

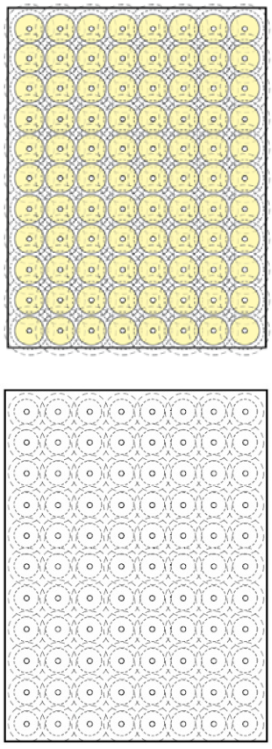
คุณสมบัติทางพื้นผิววัสดุโคมสะท้อนแสงนั้นสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงระดับความสามารถในการนำพาแสงเข้าสู่ภายในของโคมแต่ละลักษณะได้ ทั้งนี้พื้นผิวของวัสดุโคมนั้น ไม่สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) แต่อย่างใด เนื่องจากระดับความสม่ำเสมอของแสงนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของโคมและอิทธิพลของแสงจากดวงอาทิตย์เป็นสำคัญ รวมถึง การต่าง ๆ ที่ทำการทดลองก็มีผลต่อประสิทธิภาพของแสงนั้นสืบเนื่องมาจากอิทธิพลการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ด้วยองศาและทิศทางที่แตกต่างกัน ทั้งนี้แม้วันต่าง ๆ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของแสงภายในที่ได้ แต่ประสิทธิภาพของแสงดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของโคมเป็นสำคัญ เนื่องจากรูปลักษณะของโคมสามารถช่วยลดปัญหาด้านปริมาณของแสงที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ได้ เช่น โคมลักษณะโค้งหงายที่ทำจากวัสดุพื้นผิวเรียบแบบโลหะเงา (polished surface) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพแสงสูงสุดที่ระนาบพื้นและผนังทิศเหนือในวันที่ 21 มิถุนายน ระนาบผนังทิศใต้ในวันที่ 21 กันยายน ซึ่งเป็นทางตรงกันข้ามกับโคมรูปลักษณะอื่น ๆ เป็นต้น

2.8.4 <u>ตัวอย่างงานวิจัยที่ 4</u> “รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงที่หลังคาเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์” โดย นศมา เพี้ยนภักตร์ (2552) งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งทำการศึกษาความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งสำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยเน้นศึกษาความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงซึ่งมีรูปแบบต่างๆกันในขอบเขตเพียง 1 ท่อนำแสง จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่อนำแสงแนวดิ่งสำหรับอาคาร ทั้งในด้านขนาดและรูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่ง รวมถึงระยะห่างของท่อนำแสงแนวดิ่ง

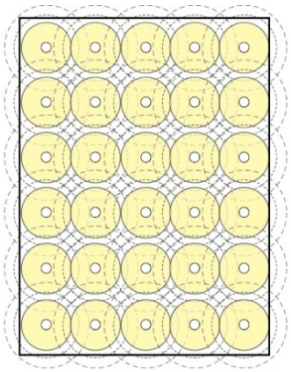
การทดลอง งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาตัวแปร 3 ประเภทคือ 1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งประกอบด้วย ขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร 2) อัตราส่วนระหว่างความยาวของท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect Ratio) ซึ่งประกอบด้วย 2, 4, 6, 8 และ 10 และ 3) ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง โดยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 21

มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ เครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์ และ Heliodon โดยศึกษาในห้องกรณีศึกษาขนาด 16 x 16 เมตร โดยเป็นการศึกษาผ่านหุ่นจำลอง ที่มาตราส่วน 1:20

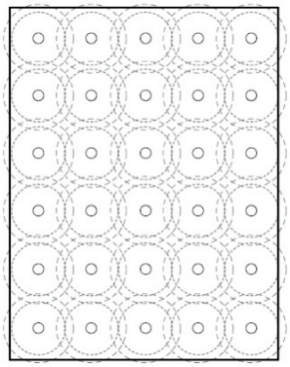
ผลงานวิจัยสรุปว่า ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร จะให้ระดับความส่องสว่างที่พอเพียงแก่อาคารในช่วงเวลา 12.00 น. และระดับความสว่างจะลดลงในช่วงเวลา 14.00 น. และ 16.00 น. แต่จะใช้พื้นที่ช่องเปิดที่น้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ความร้อนเข้ามาในอาคารได้น้อยกว่าส่วนท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร จะให้ระดับความส่องสว่างที่พอเพียงแก่อาคารในช่วงเวลา 12.00 น. และระดับความสว่างจะลดลงในช่วงเวลา 14.00 น. และ 16.00 น. และใช้พื้นที่ช่องเปิดรองลงมา และท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร จะให้ระดับความส่องสว่างที่พอเพียงแก่อาคารในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ซึ่งครอบคลุมช่วงเวลาการใช้งานได้มากกว่าแต่จะใช้พื้นที่ช่องเปิดมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ความร้อนเข้ามาในอาคารได้มากกว่า



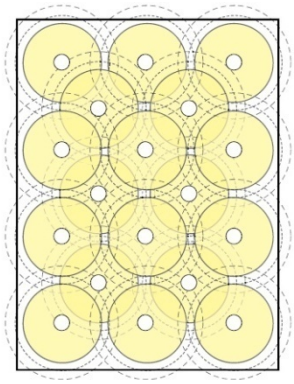
รูปที่ 2.16 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร เวลา 14.00 น.
ที่มา : นศมา เพี้ยนภักตร์ (2552: 147)



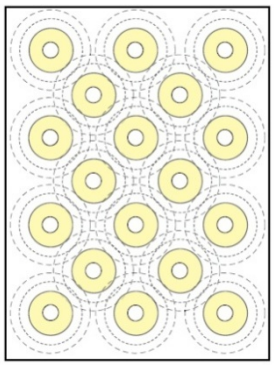
รูปที่ 2.17 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 12.00 น.
ที่มา : นศมา เพี้ยนภักตร์ (2552: 148)



รูปที่ 2.18 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 14.00 น.
ที่มา : นศมา เพี้ยนภักตร์ (2552: 148)



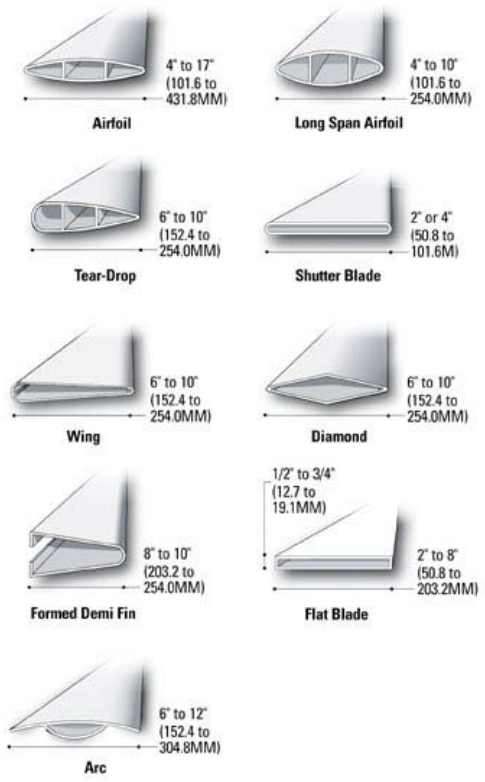
รูปที่ 2.19 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 12.00 น.
ที่มา : นศมา เพี้ยนภักตร์ (2552: 149)



รูปที่ 2.20 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบของท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 14.00 น.
ที่มา : นศมา เพี้ยนภักตร์ (2552: 149)

2.9 การใช้ Skylight Shutter ร่วมกับการให้แสงธรรมชาติภายในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน (Top lighting) มีแนวคิดที่ต้องการป้องกันแสงส่วนที่เป็นแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct sunlight) และเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแสงภายใน ได้สะท้อนให้เห็นจากองค์ประกอบอาคารรูปแบบต่าง ๆ ที่ถูกออกแบบเพื่อทำหน้าที่การควบคุมแสงอาทิตย์ที่อยู่ภายนอกอาคาร การนำเอาแสงธรรมชาติผ่านเข้าในตัวอาคารตอนกลางวันไม่เพียงแต่จะทำให้อาคารได้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังให้ผลประโยชน์อันเชื่อถือได้ ต่อผู้ที่พักอาศัยอยู่ในอาคาร ทั้งนี้วัสดุที่นำมาใช้ในการสะท้อนแสงและควบคุมแสง ซึ่งไม่ทำให้เกิดแสงจ้าในเวลากลางวัน ได้แก่ Skylight Shutters ซึ่งหน้าที่ของ Skylight Shutters นั้นจะยอมให้แสงอ่อน ๆ ผ่านเข้าในอาคารเพื่อเป็นการลดความจ้า และความร้อนอันเนื่องจากแสงอาทิตย์ กรอบของ Shutters อาจจะติดตั้งอยู่โดยอิสระ หรือติดเข้ากับโครงสร้างของ Skylight เพื่อปรับปริมาณแสงที่เข้ามาภายในพื้นที่การใช้งาน ลักษณะ Blande ของ Skylight Shutter จะมีรูปแบบ และลักษณะที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกนำมาใช้ให้เหมาะสมทกับอาคารแต่ละประเภท โดย ลักษณะ Blande ของ Skylight Shutter มีรูปร่างหน้าตาตามรูปที่ 2.2 ดังนี้



รูปที่ 2.21 รูปแบบ ใบ (Blade) ของ Skylight Shutter

ที่มา : CS Sun Control (2010 : 18-19)

ทั้งนี้มีอาคารที่นำ Skylight Shutters มาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมแสงธรรมชาติ ได้แก่ อาคาร J. Paul Getty Art Center, Museum of Fine Arts, Houston และหอศิลป์กรุงเทพฯ เป็นต้น

2.10 กรณีศึกษาอาคารที่มีการใช้ Skylight Shutter

2.10.1 J. Paul Getty Art Center ออกแบบโดย Richard Meier, Los Angeles, USA

ศูนย์ศิลปะ J. Paul Getty ได้รับการออกแบบโดยสถาปนิก Richard Meier เพื่อต้องการให้มีการใช้แสงธรรมชาติให้มากที่สุด โดยใช้ Skylight Shutter กว้าง 17 ฟุต ยาว 35 ฟุต ติดกับผนังด้านบนเหนือหลังคาห้องแสดงศิลปะ แผงควบคุมแสงใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมทำให้ได้ปริมาณแสงเข้ามาในอาคารได้ตามเวลาในแต่ละวันและแต่ละฤดูกาล

<u>พื้นที่ใช้งาน</u> บริเวณพื้นที่แสดงงานศิลปะ

<u>การให้แสง</u> ลักษณะเป็นแนวตรงตามความยาวพื้นที่ (linear toplights)

รูปลักษณะSkylight Shutter ลักษณะเป็นวงรี (Airfoil)

ตารางที่ 2.2 แสดง สัดส่วนของห้อง เมื่อเทียบกับขนาดช่องเปิด

ขนาดของห้อง โดยประมาณ		ขนาดของช่องเปิด โดยประมาณ		ระยะติดตั้ง ที่ความสูงจากพื้น
กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	ถึงหลังคา โดยประมาณ (เมตร)
5	10	1	8	6

รูปที่ 2.22 รูปตัดภายใน J. Paul Getty Art Center

ที่มา : http://www.c-sgroup.com/project-showcase/getty-center

[24/04/2012]

รูปที่ 2.23 รูปแบบ Skylight Shutter

ที่มา : http://www.c-sgroup.com/project-showcase/getty-center

[24/04/2012]

2.10.2 Museum of Fine Arts, Houston ออกแบบโดย Jose Rafael Moneo, Madrid, Spain.

พิพิธภัณฑ์นี้ใช้ Skylight Shutter แบบตายตัว (fixed) ทำให้แสงแดดเข้ามาในพื้นชั้นบนของ galleries ในพิพิธภัณฑ์ Shutters ได้ถูกติดไว้กับโคมไฟที่ยอดหลังคา ซึ่งมีขนาดและจำนวนต่างๆ กันจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่ง แต่ละ Shutter จะปรับตัวให้สอดคล้องกับแสงอาทิตย์ทำให้ได้แสงตามที่ต้องการ

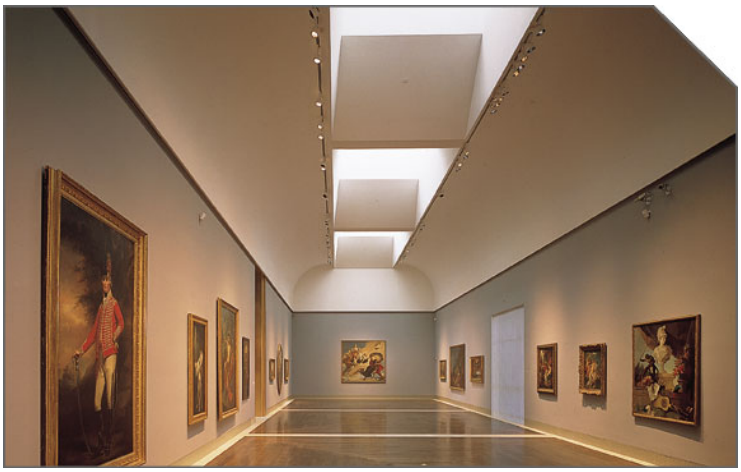
พื้นที่ใช้งาน พิพิธภัณฑ์แสดงศิลปะ

การให้แสง ให้แสงแบบเป็นจุด ลักษณะเป็นแนวตรงตามความยาวพื้นที่ (Point toplights)

รูปลักษณะSkylight Shutter ลักษณะเป็นวงรี (Airfoil)

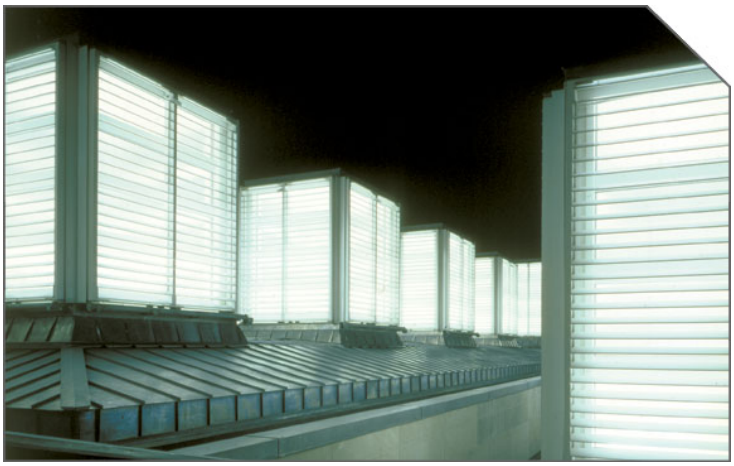
ตารางที่ 2.3 แสดง สัดส่วนของห้อง เมื่อเทียบกับขนาดช่องเปิด

ขนาดของห้อง โดยประมาณ		ขนาดของช่องเปิด โดยประมาณ		ระยะติดตั้ง ที่ความสูงจากพื้น
กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	ถึงหลังคา โดยประมาณ (เมตร)
5	16	2	2	4.5



รูปที่ 2.24 แสดง ภาพแนวคิดในการออกแบบแสงสว่างภายใน Museum of Fine Arts, Houston

ที่มา : http://www.c-sgroup.com/sun-controls/skylight-shutters/museum_of_fine_arts_houston [24/04/2012]



รูปที่ 2.25 แสดง ภาพแนวคิดการออกแบบแสงสว่างภายนอก Museum of Fine Arts, Houston
ที่มา : http://www.c-sgroup.com/sun-controls/skylight-shutters/museum_of_fine_arts_houston
[24/04/2012]

จากกรณีศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ เพื่อหารูปแบบและลักษณะทางกายภาพต่างๆ แล้วพบว่า งานวิจัยส่วนมากเน้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ผ่านช่องเปิดด้านบน เพื่อการประหยัดพลังงาน แต่มีงานวิจัยเป็นส่วนน้อยที่ศึกษาการนำ Skylight Shutter มาใช้ร่วมกับช่องเปิดด้านบน เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจ ที่จะศึกษา Skylight Shutter มาใช้ร่วมกับช่องเปิดด้านบน เพื่อนำมาปรับใช้กับในแต่ละประเภทของอาคาร เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ หรือผู้ที่จะนำไปใช้งานในแต่ละประเภทอาคารนั้นๆ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่างและการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร ตลอดจนการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล กรณีศึกษาอาคารตัวอย่างที่มีการใช้ Skylight Shutter ร่วมกับแสงธรรมชาติ เพื่อนำปริมาณแสงที่ผ่าน Skylight Shutter มาใช้ภายในอาคาร ผู้วิจัยจึงได้ตั้งคำถามและกำหนดสมมติฐานงานวิจัยขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 สมมติฐานงานวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยชิ้นนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการพิสูจน์สมมติฐานซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขึ้น ดังนี้

3.1.1 จำนวนช่องเปิดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มมากขึ้น ตามจำนวนช่องเปิด

3.1.2 การเจาะรูปแบบช่องเปิดที่ต่างกัน ส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงมีค่าต่างกัน

3.1.3 ทิศทางการวางช่องเปิดที่ต่างกัน ส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มมากขึ้น

3.1.4 องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ที่ต่างกัน ส่งผลให้ ปริมาณของแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงมีค่าต่างกัน เนื่องจากระยะห่างระหว่างหัว และท้ายของใบ Skylight Shutter ที่องศาต่างกัน ย่อมมีระยะห่าง ระยะห่างระหว่างหัวและท้ายของใบต่างกัน

3.1.5 ความสูงของอาคารที่ขนาดแตกต่างกันส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงมีค่าต่างกัน

3.1.6 วัน เวลา และเดือนที่ใช้ทำการทดลอง มีผลต่อ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงที่เข้ามาภายในอาคาร

3.2 การกำหนดตัวแปรในการศึกษา

จากสมมติฐานงานวิจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ดังนี้

3.2.1 ตัวแปรมีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่เข้ามาภายในอาคาร โดยกำหนดขึ้นจากการจำลองจากห้องทดลองที่มีการใช้ Skylight Shutter ร่วมกับการให้แสงภายในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน ซึ่งสามารถกำหนดตัวแปรในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทั้งสิ้น 5 ลักษณะ

- ความสูงของอาคาร
- จำนวนช่องเปิด
- รูปแบบช่องเปิด ได้แก่ ช่องเปิดแบบจุด และช่องเปิดแบบแนวยาว
- ทิศทางในการวาง Skylight Shutter ได้แก่ วางในแนว ทิศตะวันออก ไปยัง ทิศตะวันตก และวางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง
- องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ได้แก่ 30องศา 45องศา 60 องศา และ 90 องศา

3.2.2 ตัวแปรด้านคุณสมบัติทางพื้นผิวของ Skylight Shutter กำหนดให้วัสดุมีพื้นผิวเรียบ สีขาว ซึ่งมีค่าการสะท้อนแสง 90%

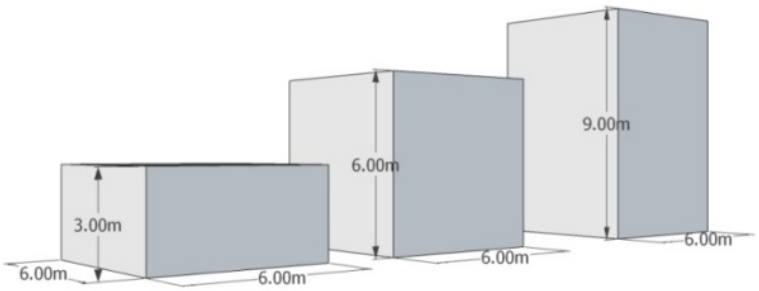
3.3 การกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ห้องจำลองและชุดการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1.1 ขนาดและรูปแบบห้องจำลอง

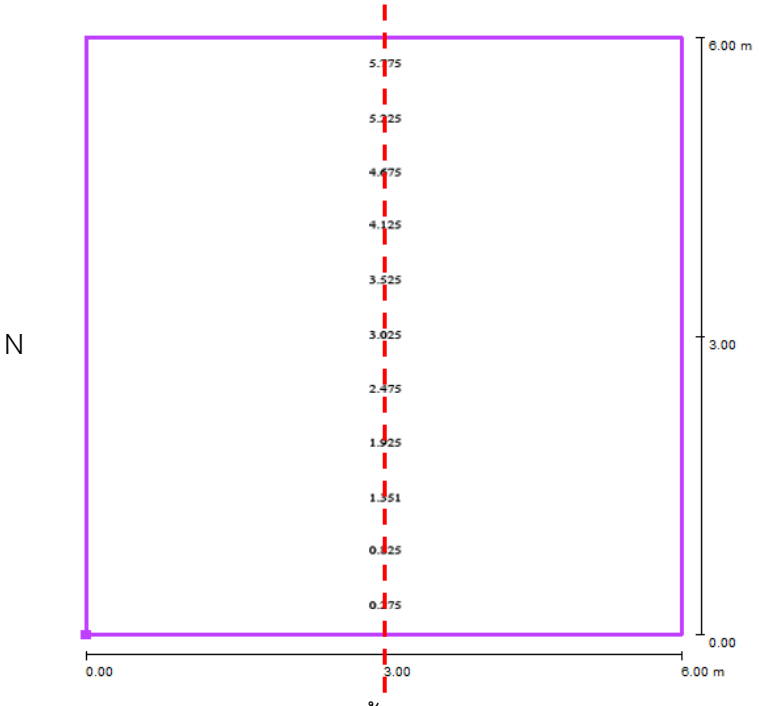
เนื่องจากผู้วิจัยได้กำหนดให้งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง โดยการสร้างหุ่นจำลองเพื่อทำการวัดค่าความส่องสว่างภายในที่ได้ ดังนั้นขนาดและรูปแบบของหุ่นจำลองได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนพื้นที่ใช้งานที่ทำการศึกษา โดยจำลองห้องได้ 3 ขนาด ได้แก่

- ขนาด กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร โดยขนาดความสูงของนั้นอ้างอิงจากความสูงของอาคารสำนักงาน
- ขนาด 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 6 เมตร โดยขนาดความสูงของนั้นอ้างอิงจากความสูงของอาคารประเภทไฮเปอร์มาร์เก็ต
- ขนาด ขนาด 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 9 เมตรโดยขนาดความสูงของนั้นอ้างอิงจากความสูงของอาคารประเภท โรงงานอุตสาหกรรม

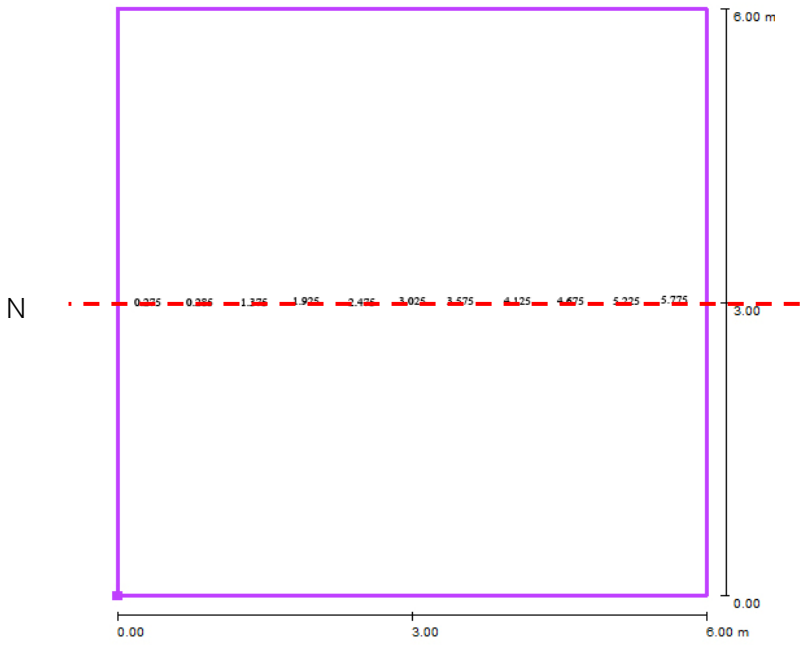


รูปที่ 3.1 แสดงความสูงของห้องจำลองแต่ละขนาด

เมื่อได้ขนาดพื้นที่ห้องจำลองทั้ง 3 ขนาดจากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้กำหนดจุด เพื่อทำการวัดค่าปริมาณแสง และวัดค่าประสิทธิภาพการกระจายแสง โดยจุดที่กำหนดมีระยะห่างเท่ากัน คือ0.275,0.825,1.375,1.925,2.475,3.025,3.575,4.125,4.675,5.225และ 5.775 เมตร ซึ่งจุดที่กำหนดในการวัดค่าปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและค่าความสม่ำเสมอของแสง นั้นจะกำหนด ตามแนวทิศทางการวางช่องเปิด คือ ในแนวทิศตะวันตก ไปยังทิศตะวันออก และ ในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร



รูปที่ 3.2 แสดงการกำหนดจุดวัดปริมาณแสงทั้ง 11จุด ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก



รูปที่ 3.3 แสดงการกำหนดจุดวัดปริมาณแสงทั้ง 11จุด ในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้

หลังจากที่ได้มีการกำหนดขนาดพื้นที่ทดลองแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการกำหนด รายละเอียดภายในห้องจำลองดังนี้

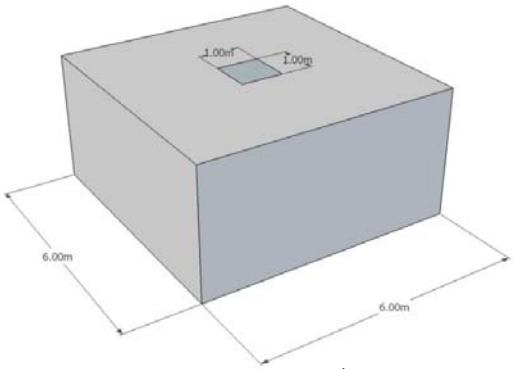
- ฝ้าเพดานของห้องจำลอง ทั้ง 3 ขนาดเป็นสีขาว ที่มีค่าการสะท้อนแสง 70%
- ผนังของห้องจำลอง 4 ด้าน ทั้ง 3 ขนาด เป็นสีเทาอ่อน ที่มีค่าการสะท้อนแสง 50%
- พื้นของห้องจำลอง ทั้ง 3 ขนาด เป็นสีเทาเข้ม ที่มีค่าการสะท้อนแสง 20%

ทั้งนี้การเลือกใช้วัสดุพื้นผิวภายในหุ่นจำลองนั้น พิจารณาจากค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวส่วนต่างๆของอาคารที่เหมาะสมเพื่อการใช้แสงสว่างธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ เพดาน 80% ผนัง 50-70% และพื้น 20-40% (ชนิดา ประชาศิลป์ชัย, 2552)

3.3.1.2 ลักษณะในการวาง Skylight Shutter และขนาดจำนวนช่องเปิด

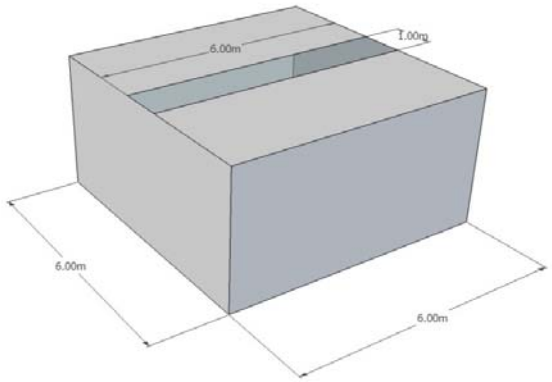
ลักษณะการวาง Skylight Shutter แบบเป็นจุด โดยมีการติดตั้ง Skylight Shutter อยู่บนช่องเปิด ที่มีขนาด 1 เมตร x 1 เมตร (รูปที่ 3.4) จำนวน 1 ชุด ที่ระดับความสูง 3

เมตร 6 เมตร 9 เมตร ทั้งนี้จะมีจำนวนช่องเปิด 11 แบบ ได้แก่ตั้งแต่ 1 จุด, 2 จุด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 2 จุด วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 3จุด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 3 จุด วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ 4 จุด, 5 จุด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก , 5 จุด วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 6 จุด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 6 จุด วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 9 จุด และ 13 จุด (ตารางที่ 3.1) ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง



รูปที่ 3.4 แสดงช่องเปิดด้านบนแบบจุดที่ขนาด 1 เมตร x 1 เมตร

ลักษณะการวาง Skylight Shutter แบบเป็นแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter อยู่บนช่องเปิด ที่มีขนาด 1 เมตร x 6 เมตร (รูปที่ 3.5) ที่ระดับความสูง 3 เมตร 6 เมตร 9 เมตร ทั้งนี้จะมีจำนวนช่องเปิด อยู่ 6 แบบแนวยาว ได้แก่ 1 ช่องแนวยาว วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 1 ช่องแนวยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้, 2 ช่องแนวยาว วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก, 2 ช่องแนวยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้
3 ช่องแนวยาว วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ3 ช่องแนวยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ (ตารางที่ 3.1) ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง



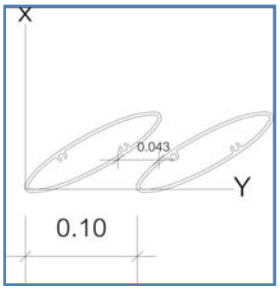
รูปที่ 3.5 แสดงช่องเปิดด้านบนแบบแนวยาวที่ขนาด 1 เมตร x 6 เมตร

3.3.1.3 ทิศทางในการวาง Skylight Shutter

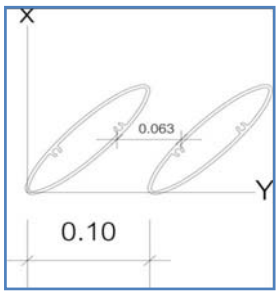
ทิศทางในการวาง Skylight Shutter จะวาง ในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ระนาบแนวนอนที่ขนานกับพื้น ทั้งนี้ลักษณะการทั้ง 2 แบบนี้ จะวาง Skylight Shutter แบบเป็นจุด ที่ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร จำนวน 11 แบบ และวาง Skylight Shutter แบบเป็นแนวยาว ที่ขนาดกว้าง 1เมตร ยาว 6 เมตร จำนวน 6 แบบ

3.3.1.4 องศาในการติดตั้ง Skylight Shutter

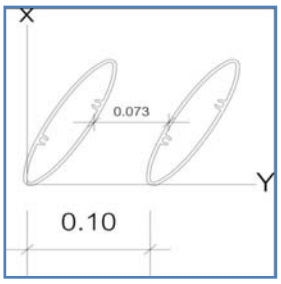
องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ 4 ขนาด ได้แก่ ติดตั้งที่ 30 45 60 และ 90 องศา (รูปที่ 3.6) เพื่อทำการศึกษา เปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพการกระจายแสงในแต่ละองศาที่นำมาทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบ และเลือกใช้กับอาคารแต่ละประเภทที่มีความต้องการ ปริมาณแสง และประสิทธิภาพการกระจายแสง ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้กำหนดไว้ (ดูตารางที่ 2.1)



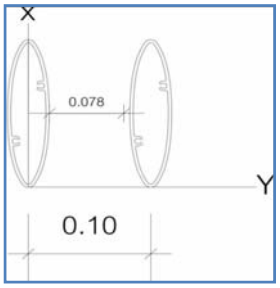
องศาในการติดตั้งที่ 30 องศา



องศาในการติดตั้งที่ 45 องศา



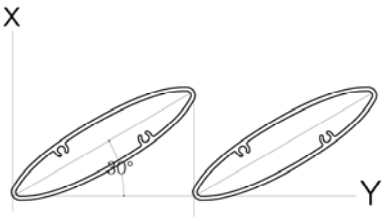
องศาในการติดตั้งที่ 60 องศา



องศาในการติดตั้งที่ 90 องศา

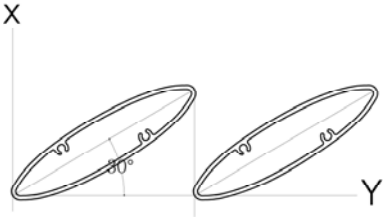
รูปที่ 3.6 แสดงรูปด้านองศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ทั้ง 4 ขนาด

จากที่กล่าวมาข้างต้น ลักษณะการวาง Skylight Shutter ทั้งหมด จะหันใบของ Skylight Shutter ไปทางด้านทิศตะวันตกสำหรับการวาง Skylight Shutter ในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ (รูปที่ 3.7) ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง และ ทิศทางแนวนอนจะหันใบของ Skylight Shutter ไปทางด้านทิศใต้ ในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก (รูปที่ 3.8) ขนานกับพื้นห้องเพื่อป้องกันแสงแดดที่เข้ามาจากทางทิศตะวันตก และทิศใต้



ทิศตะวันตก ทิศตะวันออก

รูปที่ 3.7 แสดงรูปตัดลักษณะการวาง Skylight Shutter ที่หันด้านของใบ Skylight Shutter ไปทางด้านทิศตะวันตก (สำหรับการวางทิศทางช่องเปิดในแนวนอน)



ทิศใต้ ทิศเหนือ

รูปที่ 3.8 แสดงรูปตัดลักษณะการวาง Skylight Shutter ที่หันด้านของใบ Skylight Shutter ไปทางด้านทิศตะวันตก (สำหรับการวางทิศทางช่องเปิดในแนวตั้ง)

3.3.1.5 ชุดการทดลอง

ภายหลังจากที่ได้ทำการกำหนดตัวแปรและรายละเอียดต่างๆของห้องหุจำลองดังที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถสรุปชุดการทดลองเพื่อใช้ในการศึกษาได้ทั้งสิ้น 53 ชุดการทดลองดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ชุดการทดลองที่มีความสูง 3 เมตร ซึ่งได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1-17
- กลุ่มที่ 2 ชุดการทดลองที่มีความสูง 6 เมตร ซึ่งได้แก่ ชุดการทดลองที่ 18-34
- กลุ่มที่ 3 ชุดการทดลองที่มีความสูง 9 เมตร ซึ่งได้แก่ ชุดการทดลองที่ 35-51

3.3.2 เครื่องมือวัดแสงในการทดลองครั้งนี้ ทำการหาปริมาณของแสง และประสิทธิภาพการกระจายแสง โดยการคำนวณแสงด้วยโปรแกรม Dialux 4.10 หลักการทำงานของโปรแกรมชนิดนี้คือ สมารถหาค่าปริมาณของแสงได้ ซึ่งหาค่าปริมาณของแสงที่มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lx) และหาค่าปริมาณของแสงที่มีหน่วยเป็น Daylight Factor (DF) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าที่ใช้ในการทดลองว่า จะตั้งค่าเป็นท้องฟ้าให้อยู่ในสภาพใด

3.4 การกำหนดวิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล

3.4.1 วิธีการเก็บข้อมูล โดยผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูล ปริมาณแสง และประสิทธิภาพการกระจายแสง จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Dialux 4.10 โดยค่าที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพ การกระจายของแสงนั้น กำนดจากตำแหน่งที่กำหนดดังนี้

- จากทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และจากทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ระยะกึ่งกลางของห้อง ในระนาบพื้นงาน (work plane) ที่มีความสูง 0.75 เมตร 11 ตำแหน่ง โดยมีระยะห่างจากผนังด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 0.225 ม.และแต่ละตำแหน่งมีระยะห่าง 0.55 ม. เท่ากัน โดย แบ่งได้ที่ระยะ 0.275, 0.825, 1.375, 1.925, 2.475, 3.025, 3.575, 4.125, 4.675, 5.225 และ 5.775 เมตร

เพื่อให้ค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากการทดลองสามารถใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และสรุปการเปลี่ยนแปลงของแสงที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ทดลองที่ใช้ในการศึกษาได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวันเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของแสงทั้งหมด 3 วัน โดยใช้โปรแกรม Dialux 4.10 ในการคำนวณปริมาณแสง ดังนี้

- วันที่ 21 มิถุนายน (Summer solstice) เนื่องจากเป็นวันที่ซีกโลกเหนือจะเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด
- วันที่ 21 กันยายน (Equinox) เนื่องจากเป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากที่สุด
- วันที่ 21 ธันวาคม (Winter solstice) เนื่องจากเป็นวันที่ซีกโลกเหนือจะเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด

ทั้งนี้เนื่องจากสภาพท้องฟ้าประเทศไทยเป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆ (พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ, 2543) ผู้วิจัย จึงได้เลือกทำการจำลองวันและเวลาดังกล่าว เมื่อสภาพท้องฟ้ามีลักษณะท้องฟ้าไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา สภาพท้องฟ้านี้จัดอยู่ในลักษณะ Overcast Sky

ทั้งนี้ทิศทางการส่องผ่านของแสงตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นสำคัญ ด้วยเหตุนี้การเลือกวันที่ 21 กันยายน เพื่อทำการทดสอบปริมาณแสงจึงเทียบเท่ากับวันที่ 21 มีนาคม ด้วยเช่นกัน เพราะการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ในวันทั้ง 2 มีลักษณะที่เหมือนกัน

ผู้วิจัยได้กำหนดให้พื้นที่ทดลองวางตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ เนื่องจากเป็นทิศทางการวางอาคารที่สามารถรับอิทธิพลของแสงจากดวงอาทิตย์ผ่านทางช่องแสงด้านบนได้ตลอดทั้งวัน และเลือกทำการทดสอบประสิทธิภาพของแสงในเวลา 8.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันจำลองดังกล่าว ในงานวิจัยชิ้นนี้ เน้นศึกษาปริมาณของแสง ประสิทธิภาพการกระจาย และความสม่ำเสมอของแสง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับ จำนวนช่องเปิดรูปแบบช่องเปิด ทิศทางการวางช่องเปิด และองศาในการติดตั้ง Skylight Shutter ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและเป็นทางเลือกให้ผู้ออกแบบหรือ ผู้ที่ต้องการนำไปใช้งานสามารถเลือกนำไปใช้งานได้กับอาคารประเภทที่มความสูง 3 เมตร 6 เมตร และ9 เมตร

3.5 การประมวลผลการทดลอง

ประมวลผลการทดลองด้วยค่าความสัมพันธ์ของปริมาณแสงที่ทำการทดลองในห้องจำลอง โดยการคำนวณปริมาณของแสงและประสิทธิภาพการกระจายของแสงด้วยโปรแกรม Dialux 4.10 ของท้องฟ้าภายนอก โดยจัดแบ่งเนื้อหาดังต่อไปนี้

- ค่า Illuminance ที่ระนาบทำงาน
- ประสิทธิภาพการกระจายแสง (Daylight Distribution) ที่ระนาบทำงาน
- ค่า Uniformity ที่ระนาบทำงาน

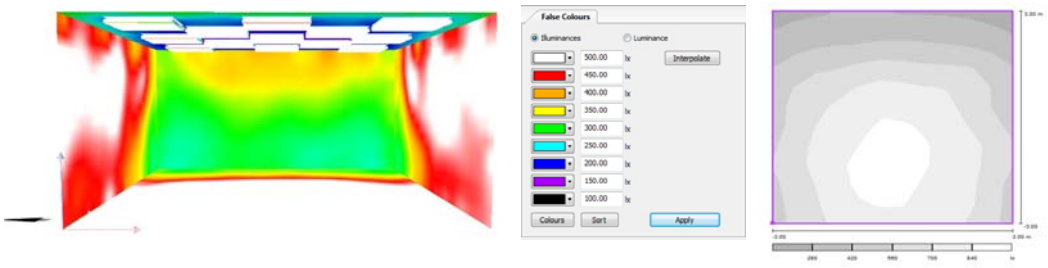
3.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่วางไว้ และเปรียบเทียบประเมินปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และ ความสม่ำเสมอของแสง โดยแยกพิจารณาในประเด็นต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพของแสงด้านความส่องสว่าง เพื่อหารูปแบบของจำนวนช่องเปิดและขนาดองศาในการติดตั้ง Skylight Shutter ที่ส่งผลให้ระดับความส่องสว่างภายในอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยให้อยู่ในเกณฑ์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างได้กำหนดไว้ (ตารางที่ 2.1)

- ประสิทธิภาพของแสงด้านความส่องสว่าง ประสิทธิภาพของการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง พิจารณาจากแผนภูมิแสดงการกระจายตัวของแสงเพื่อให้ทราบถึงรูปแบบการกระจายตัวของแสงภายในระนาบพื้นงาน ในแต่ละรูปแบบของจำนวนช่องเปิด และขนาดองศาที่นำมาทำการทดลอง ด้วยโปรแกรม Dialux 4.10 จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของแสงในแต่ละช่วงเวลามาใช้ในการเปรียบเทียบ ปริมาณแสง ซึ่ง ค่าสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ที่แสดงทางด้านล่างของตาราง เป็นค่า Illuminance ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่ง โดยเกิดจาก การกำหนดจุดในการวัดที่ระยะกึ่งกลางระหว่างห้องจำนวน 11 จุด เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบการกระจายตัวของแสงภายในระนาบพื้นงาน ในแต่ละรูปแบบของจำนวนช่องเปิด และขนาดองศาที่นำมาทำการทดลอง

- ประสิทธิภาพของแสงด้านความส่องสว่าง ประสิทธิภาพของการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง โดยพิจารณาจาก รูปตัดของห้อง ที่วางช่องเปิด ในแต่ละทิศทางการวางช่องเปิด พิจารณาจาก Fase Colours ที่คำนวณด้วยโปรแกรม Dialux 4.10 ที่แสดงผลปริมาณแสง ตั้งแต่ 0 - 500 ลักซ์ และพิจารณาจากผังพื้นแสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพแสง และความสม่ำเสมอของแสงตามรูปที่ 3.9



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.9 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

(ก) รูปตัดของห้องแสดงปริมาณแสงของ 13 ช่องเปิด แบบจุด ขนานกับพื้นห้อง

(ข) Fase Coloursแสดงปริมาณแสง ตั้งแต่ 0 - 500 ลักซ์

(ค) ผังพื้นแสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพแสง และความสม่ำเสมอของแสง

3.7 สรุปผลการวิจัย

ทำการสรุปผลการวิจัยเพื่อหา จำนวนของช่องเปิด รูปแบบช่องเปิด ทิศทางการวางช่องเปิด และ ขนาดองศาในการติดตั้ง Skylight Shutter ที่เหมาะสม ที่จะนำไปใช้กับอาคารแต่ละประเภท เช่น อาคารประเภทอาคารสำนักงาน อาคารประเภทไฮเปอร์มาร์เก็ต และอาคารประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้ได้ปริมาณของแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง ตามเกณฑ์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้กำหนดไว้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ประเภทช่องเปิด จำนวนช่องเปิด และองศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter เพื่อการเปรียบเทียบ ปริมาณแสง และประสิทธิภาพการกระจายแสง ที่มีผลต่อ อาคารประเภท อาคารสำนักงาน อาคารประเภท ไฮเปอร์มาร์เก็ต และอาคารประเภท โรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำค่าความส่องสว่างภายในที่วัดได้ในแต่ละชุดการทดลองมาจัดประมวลผลเพื่อทำการเปรียบเทียบ ประเมินปริมาณแสง และประสิธิภาพการกระจายแสง ที่เกิดจาก ประเภทของช่องเปิด จำนวนช่องเปิด และ องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ในแต่ละองศา โดยแยกพิจารณาด้านความส่องสว่าง ซึ่งให้อยู่ในเกณฑ์ที่เพียงพอสำหรับการใช้งาน ด้านประสิทธิภาพการกระจายแสง และระดับความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) ที่ได้

การจัดประมวลผลการทดลองสามารถแยกกลุ่มชุดการทดลองต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

- กลุ่มที่ 1 ชุดการทดลอง 1-17 ที่มีห้องความสูง 3 เมตร
- กลุ่มที่ 2 ชุดการทดลอง 18-34 ที่มีห้องความสูง6 เมตร
- กลุ่มที่ 3 ชุดการทดลอง 35-51 ที่มีห้องความสูง9 เมตร

ทั้งนี้การกำหนดค่า ปริมาณของแสง และประสิทธิภาพการกระจายแสงที่เหมาะสมสำหรับอาคารสำนักงาน อาคารประเภทไฮเปอร์มาร์เก็ต และอาคารประเภทโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะใช้เกณฑ์พิจารณาค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ ขึ้นไป ที่ระนาบพื้นงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอาคารใช้งาน เพื่อให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศ (ตามตารางที่ 2.1) รวมถึง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและด้านความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) เพื่อหารูปแบบขององศาที่ใช้ติดตั้ง Skylight Shutter ที่มีผลต่อการสะท้อนของแสงธรรมชาติที่ส่งผลให้แสงภายในมีความสม่ำเสมอสูงสุด โดยระดับความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 0-1 ซึ่งค่ามากจะหมายถึงการมีระดับความสม่ำเสมอของแสงที่ดี โดยระดับความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Uniformity ratio} = \frac{\text{Emin}}{\text{Eav}} \quad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ Emin คือ ค่า Elluminance ต่ำสุด

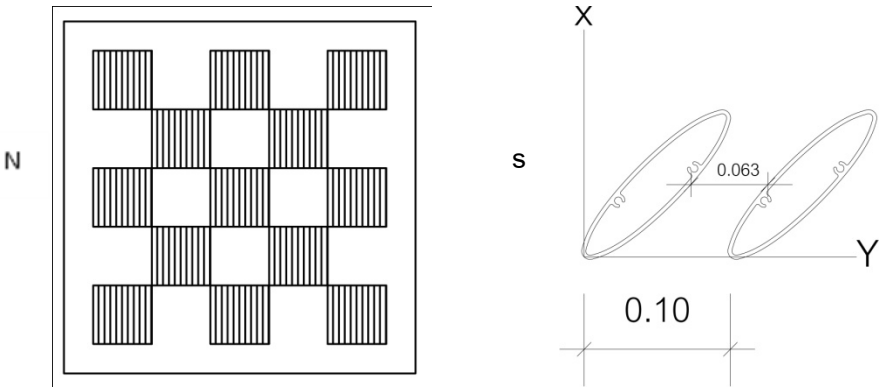
Eav คือ ค่า Elluminance เฉลี่ย

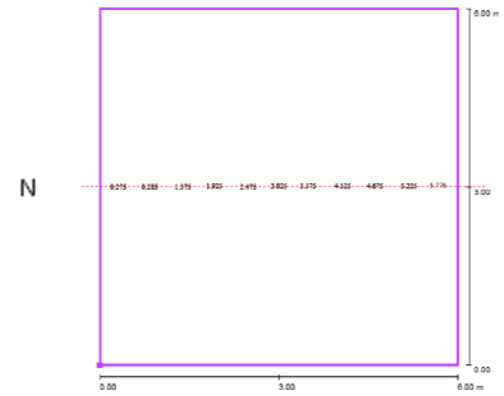
4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 กลุ่มที่ 1 ชุดการทดลอง 1-17 ที่มีห้องความสูง 3 เมตร

ทำการทดลอง ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ 90 องศา ที่ขนาดห้อง กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ช่องเปิดแบบจุด ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และแบบแนวยาว ที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร ซึ่งการทดลองของกลุ่มที่ 1 ชุดการทดลองที่ 1-17นี้ ผู้วิจัย พิจารณาเฉพาะ การติดตั้ง Skylight Shutter ที่มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่าง ตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป โดยรายละเอียดของการทดลองมีดังนี้

- การทดลองที่ 11 ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา (รูปที่4.1) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 860 ลักซ์ ที่จุด 3.025 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 163 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 501.70 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุดจะอยู่บริเวณระยะกึ่งกลางของห้อง (รูปที่4.2)





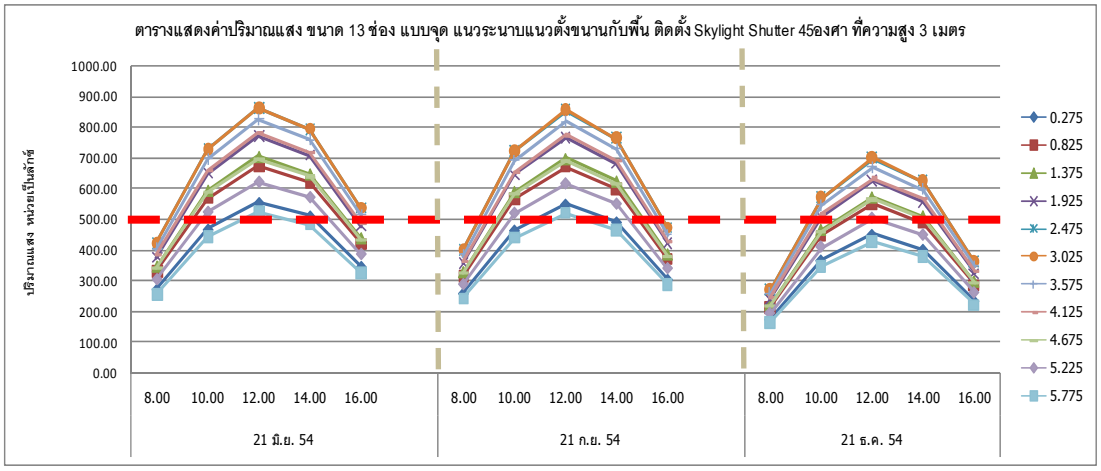
รูปที่ 4.1 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

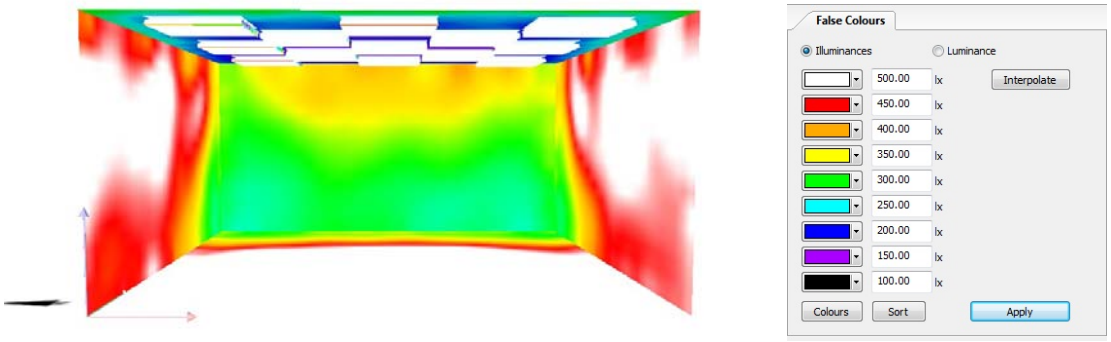
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา (รูปที่4.2) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.73 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.73 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.1 และแผนภูมิที่ 4.1

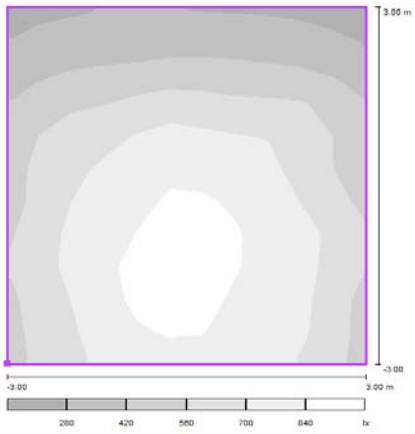
ตารางที่ 4.1 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 13 ช่อง แบบจุดที่ระนาบ ขนานกับพื้นห้อง ที่ความสูง 3 เมตร																		
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 45 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่11 แบบจุด เปิดช่องเปิดด้านบน 13 ช่องที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง	21 มิ.ย. 54	8.00	270.00	330.00	344.00	377.00	420.00	420.00	403.00	381.00	340.00	303.00	256.00	420.00	256.00	349.45	0.73
		10.00	466.00	569.00	593.00	651.00	725.00	725.00	695.00	657.00	587.00	522.00	442.00	725.00	442.00	602.91	0.73
		12.00	553.00	675.00	704.00	772.00	860.00	860.00	824.00	780.00	696.00	620.00	524.00	860.00	524.00	715.27	0.73
		14.00	509.00	621.00	647.00	710.00	790.00	791.00	758.00	717.00	640.00	570.00	482.00	791.00	482.00	657.73	0.73
		16.00	344.00	419.00	437.00	479.00	534.00	534.00	512.00	484.00	432.00	385.00	326.00	534.00	326.00	444.18	0.73
	21 ก.ย. 54	8.00	257.00	313.00	326.00	358.00	399.00	399.00	382.00	362.00	323.00	287.00	243.00	399.00	243.00	331.73	0.73
		10.00	463.00	566.00	589.00	646.00	720.00	720.00	690.00	653.00	583.00	519.00	439.00	720.00	439.00	598.91	0.73
		12.00	548.00	670.00	697.00	765.00	852.00	853.00	817.00	773.00	690.00	615.00	520.00	853.00	520.00	709.09	0.73
		14.00	490.00	598.00	623.00	683.00	761.00	761.00	729.00	690.00	616.00	549.00	464.00	761.00	464.00	633.09	0.73
		16.00	302.00	369.00	384.00	422.00	470.00	470.00	450.00	426.00	380.00	339.00	286.00	470.00	286.00	390.73	0.73
	21 ธ.ค. 54	8.00	172.00	210.00	219.00	240.00	268.00	268.00	257.00	243.00	217.00	193.00	163.00	268.00	163.00	222.73	0.73
		10.00	365.00	446.00	465.00	510.00	568.00	568.00	544.00	515.00	460.00	409.00	346.00	568.00	346.00	472.36	0.73
		12.00	449.00	548.00	571.00	626.00	697.00	698.00	668.00	632.00	565.00	503.00	425.00	698.00	425.00	580.18	0.73
		14.00	400.00	488.00	509.00	558.00	622.00	622.00	596.00	564.00	503.00	448.00	379.00	622.00	379.00	517.18	0.73
		16.00	232.00	283.00	295.00	324.00	360.00	361.00	346.00	327.00	292.00	260.00	220.00	361.00	220.00	300.00	0.73
	ค่าสูงสุด		553.00	675.00	704.00	772.00	860.00	860.00	824.00	780.00	696.00	620.00	524.00	860.00			
	ค่าต่ำสุด		172.00	210.00	219.00	240.00	268.00	268.00	257.00	243.00	217.00	193.00	163.00		163.00		
	ค่าเฉลี่ย		388.00	473.67	493.53	541.40	603.07	603.33	578.07	546.93	488.27	434.80	367.67			501.70	0.73

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

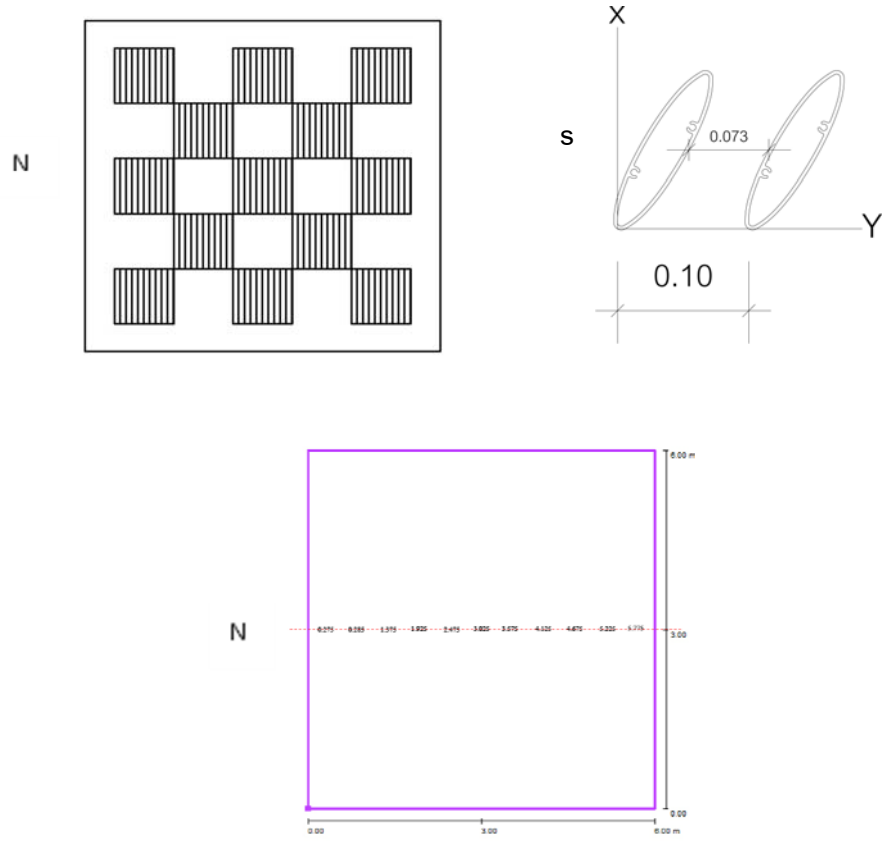






รูปที่ 4.2 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

- การทดลองที่ 11 ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 (รูปที่4.3) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 899 ลักซ์ ที่จุด 3.575 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 167 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 530.03 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุดจะค่อนไปทางด้านทิศใต้ของห้อง (รูปที่4.4)



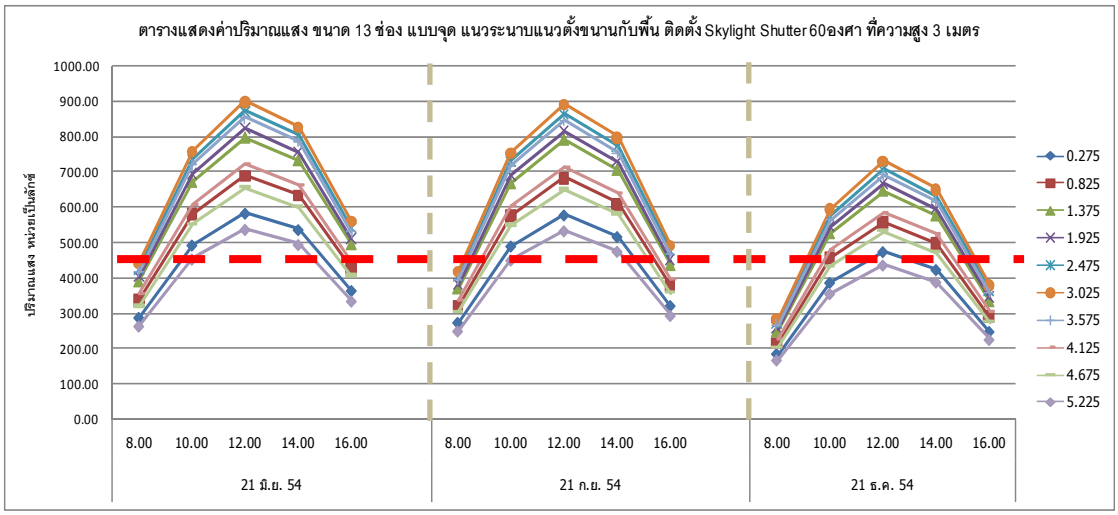
รูปที่ 4.3 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

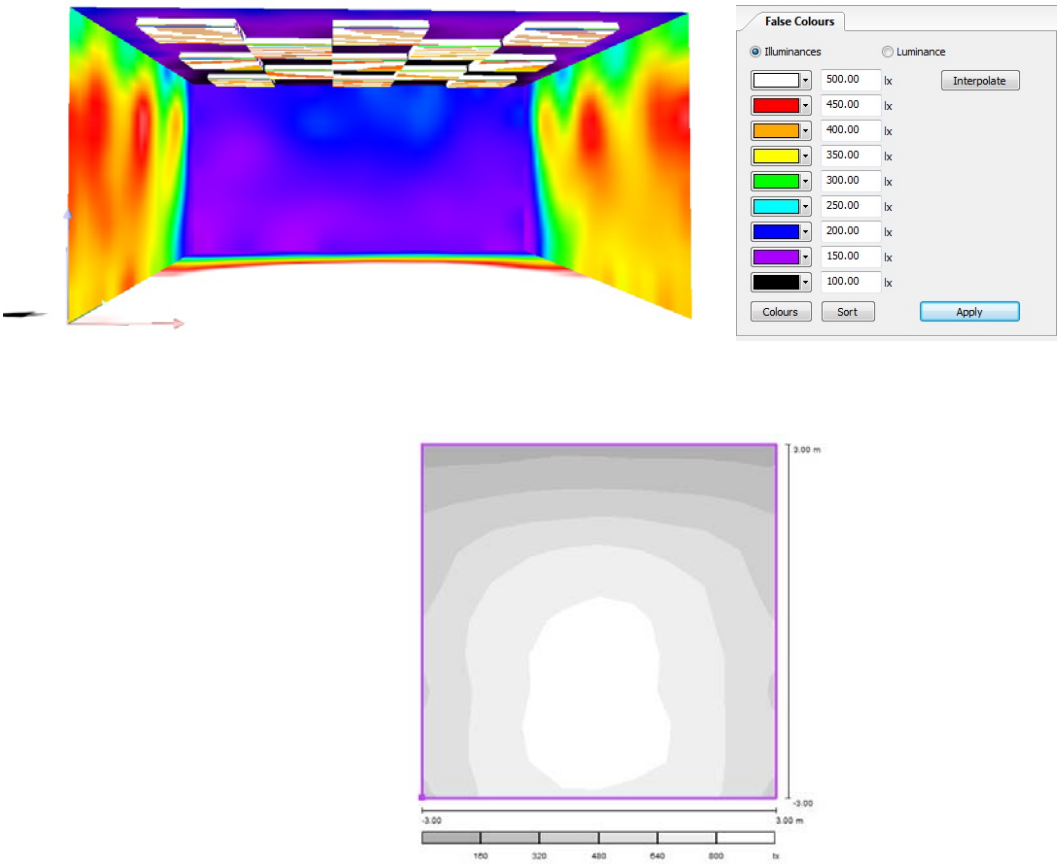
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา (รูปที่4.4) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.71 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.71 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.3 และแผนภูมิที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 13 ช่อง แบบจุดที่ระนาบ ขนานกับพื้นห้อง ที่ความสูง 3 เมตร																	
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 60 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่ 11 แบบจุด เปิดช่องเปิดด้านบน 13 ช่องที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง	21 มิ.ย. 54	8.00	285.00	336.00	389.00	402.00	426.00	433.00	440.00	417.00	353.00	320.00	263.00	440.00	263.00	369.45	0.71
		10.00	492.00	580.00	670.00	693.00	735.00	746.50	758.00	719.00	608.00	552.00	453.00	758.00	453.00	636.95	0.71
		12.00	583.00	688.00	795.00	822.00	872.00	885.50	899.00	853.00	722.00	655.00	537.00	899.00	537.00	755.59	0.71
		14.00	536.00	633.00	731.00	755.00	802.00	814.50	827.00	784.00	663.00	602.00	494.00	827.00	494.00	694.68	0.71
		16.00	362.00	427.00	494.00	510.00	542.00	550.50	559.00	530.00	448.00	407.00	334.00	559.00	334.00	469.41	0.71
	21 ก.ย. 54	8.00	271.00	319.00	369.00	381.00	404.00	410.50	417.00	395.00	335.00	304.00	249.00	417.00	249.00	350.41	0.71
		10.00	489.00	576.00	666.00	688.00	730.00	741.50	753.00	714.00	604.00	548.00	450.00	753.00	450.00	632.68	0.71
		12.00	578.00	682.00	789.00	815.00	865.00	878.50	892.00	845.00	715.00	649.00	533.00	892.00	533.00	749.23	0.71
		14.00	516.00	609.00	704.00	727.00	772.00	784.00	796.00	755.00	639.00	580.00	475.00	796.00	475.00	668.82	0.71
		16.00	319.00	376.00	435.00	449.00	477.00	484.00	491.00	466.00	394.00	358.00	293.00	491.00	293.00	412.91	0.71
	21 ธ.ค. 54	8.00	182.00	214.00	248.00	256.00	272.00	276.00	280.00	265.00	225.00	204.00	167.00	280.00	167.00	235.36	0.71
		10.00	385.00	455.00	525.00	543.00	576.00	585.00	594.00	563.00	477.00	433.00	355.00	594.00	355.00	499.18	0.71
		12.00	473.00	558.00	645.00	666.00	707.00	718.00	729.00	691.00	585.00	531.00	436.00	729.00	436.00	612.64	0.71
		14.00	422.00	498.00	575.00	594.00	631.00	640.50	650.00	616.00	522.00	473.00	388.00	650.00	388.00	546.32	0.71
		16.00	245.00	289.00	333.00	345.00	366.00	371.50	377.00	357.00	302.00	275.00	225.00	377.00	225.00	316.86	0.71
	ค่าสูงสุด		583.00	688.00	795.00	822.00	872.00	885.50	899.00	853.00	722.00	655.00	537.00	899.00			
	ค่าต่ำสุด		182.00	214.00	248.00	256.00	272.00	276.00	280.00	265.00	225.00	204.00	167.00		167.00		
	ค่าเฉลี่ย		409.20	482.67	557.87	576.40	611.80	630.80	598.00	506.13	459.40	376.80	423.73			530.03	0.71

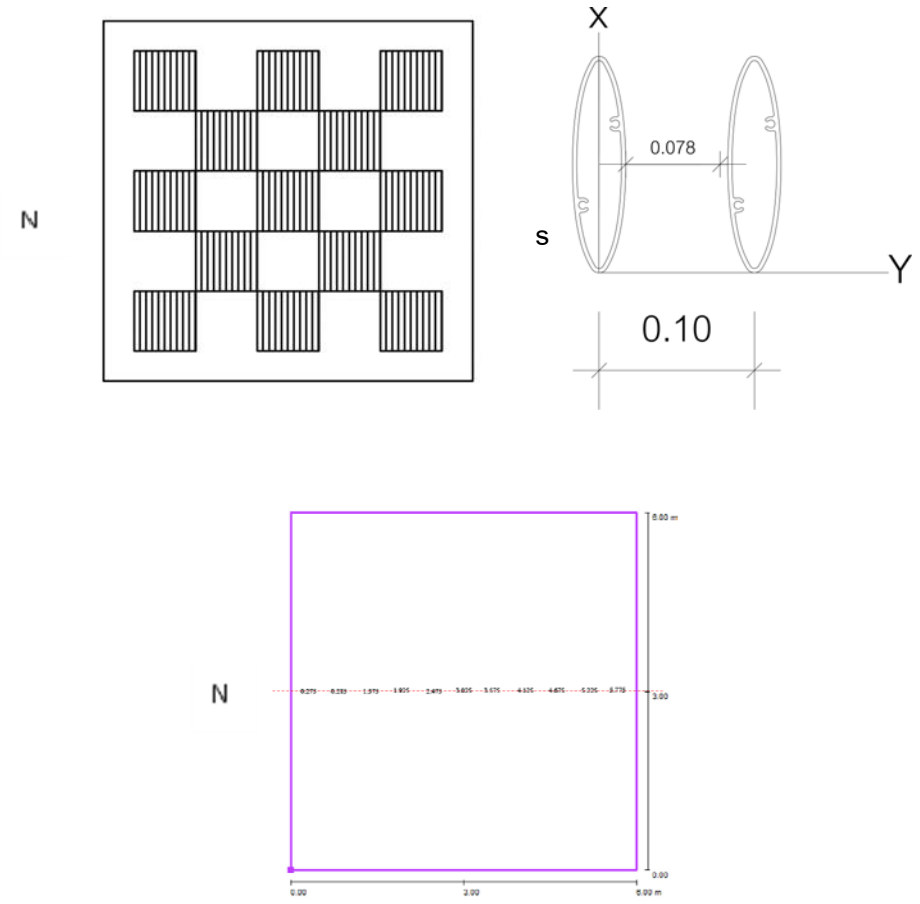
แผนภูมิที่ 4.2แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา





รูปที่ 4.4 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

- การทดลองที่ 11 ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 (รูปที่4.5) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1052 ลักซ์ ที่จุด 3.575 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 184 ลักซ์ ที่จุด 0.275 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 611.47 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุดจะค่อนไปทางด้านทิศใต้ของห้อง (รูปที่4.6)



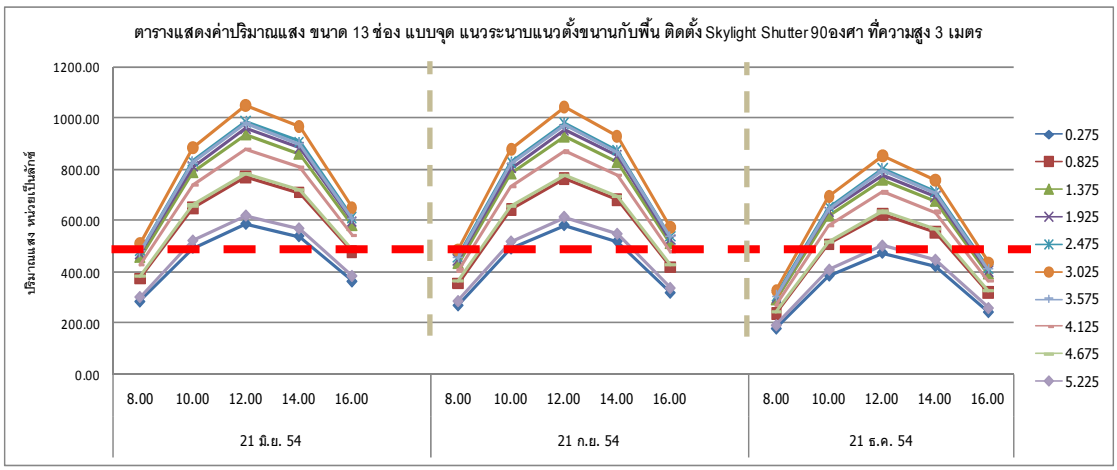
รูปที่ 4.5 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

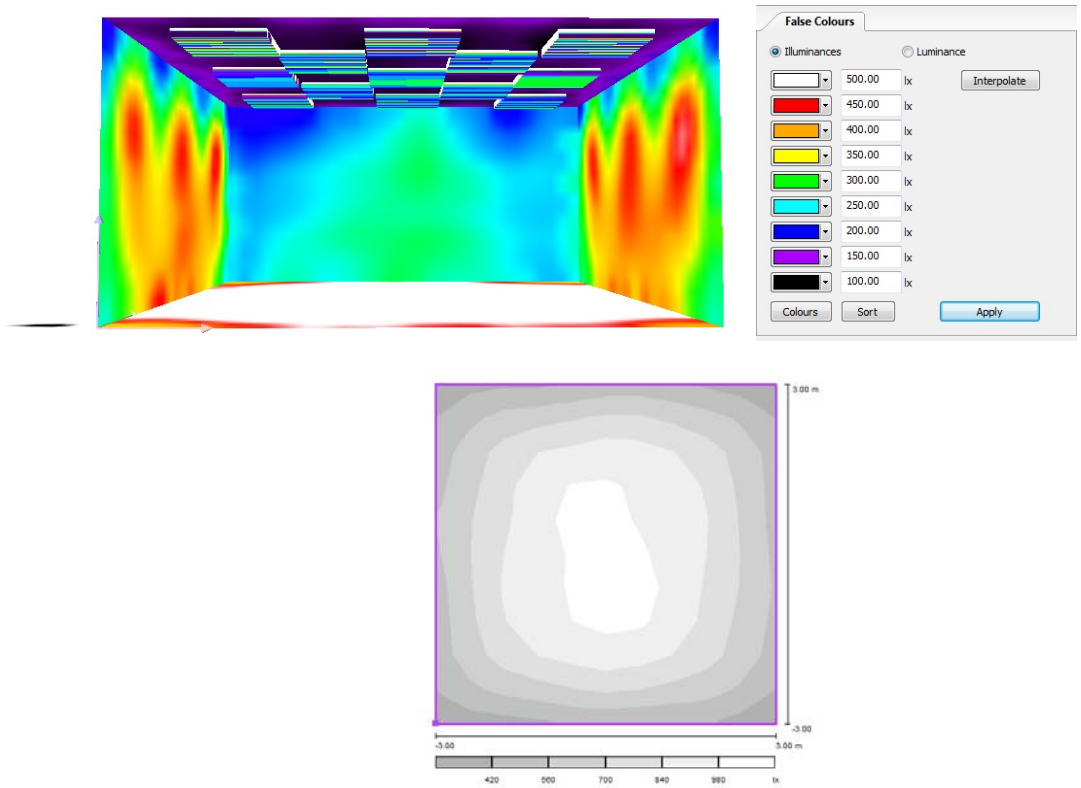
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.6) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.68 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.68 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.3 และแผนภูมิที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 13 ช่อง แบบจุดที่ระนาบ ขนานกับพื้นห้อง ที่ความสูง 3 เมตร																		
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่11 แบบจุด เปิดช่องเปิดด้านบน 13 ช่องที่ระนาบแนวขนานกับพื้นห้อง	21 มิ.ย. 54	8.00	289.00	378.00	458.00	471.00	482.00	498.00	514.00	480.00	430.00	384.00	304.00	514.00	289.00	426.18	0.68
		10.00	498.00	652.00	789.00	811.00	831.00	858.50	886.00	828.00	741.00	662.00	524.00	886.00	498.00	734.59	0.68
		12.00	591.00	773.00	937.00	963.00	986.00	1019.00	1052.00	983.00	879.00	785.00	621.00	1052.00	591.00	871.73	0.68
		14.00	543.00	711.00	861.00	885.00	907.00	937.00	967.00	903.00	808.00	722.00	571.00	967.00	543.00	801.36	0.68
		16.00	367.00	480.00	582.00	598.00	613.00	633.00	653.00	610.00	546.00	488.00	386.00	653.00	367.00	541.45	0.68
	21 ก.ย. 54	8.00	274.00	358.00	434.00	446.00	457.00	472.50	488.00	456.00	408.00	364.00	288.00	488.00	274.00	404.14	0.68
		10.00	495.00	647.00	784.00	806.00	826.00	853.50	881.00	823.00	736.00	658.00	520.00	881.00	495.00	729.95	0.68
		12.00	586.00	767.00	928.00	954.00	978.00	1010.50	1043.00	974.00	871.00	779.00	616.00	1043.00	586.00	864.23	0.68
		14.00	523.00	684.00	829.00	852.00	873.00	902.00	931.00	870.00	778.00	695.00	550.00	931.00	523.00	771.55	0.68
		16.00	323.00	422.00	512.00	526.00	539.00	557.00	575.00	537.00	480.00	429.00	339.00	575.00	323.00	476.27	0.68
	21 ธ.ค. 54	8.00	184.00	241.00	292.00	300.00	308.00	318.00	328.00	306.00	274.00	245.00	194.00	328.00	184.00	271.82	0.68
		10.00	390.00	511.00	619.00	636.00	652.00	673.50	695.00	649.00	581.00	519.00	410.00	695.00	390.00	575.95	0.68
		12.00	479.00	627.00	760.00	781.00	800.00	826.50	853.00	797.00	713.00	637.00	504.00	853.00	479.00	707.05	0.68
		14.00	427.00	559.00	677.00	696.00	713.00	736.50	760.00	711.00	636.00	568.00	449.00	760.00	427.00	630.23	0.68
		16.00	248.00	324.00	393.00	404.00	413.00	427.00	441.00	412.00	369.00	329.00	261.00	441.00	248.00	365.55	0.68
	ค่าสูงสุด		591.00	773.00	937.00	963.00	986.00	1019.00	1052.00	983.00	879.00	785.00	621.00	1052.00			
	ค่าต่ำสุด		184.00	241.00	292.00	300.00	308.00	318.00	328.00	306.00	274.00	245.00	194.00		184.00		
	ค่าเฉลี่ย		414.47	542.27	657.00	675.27	691.87	737.80	689.27	616.67	550.93	435.80	490.13			611.47	0.68

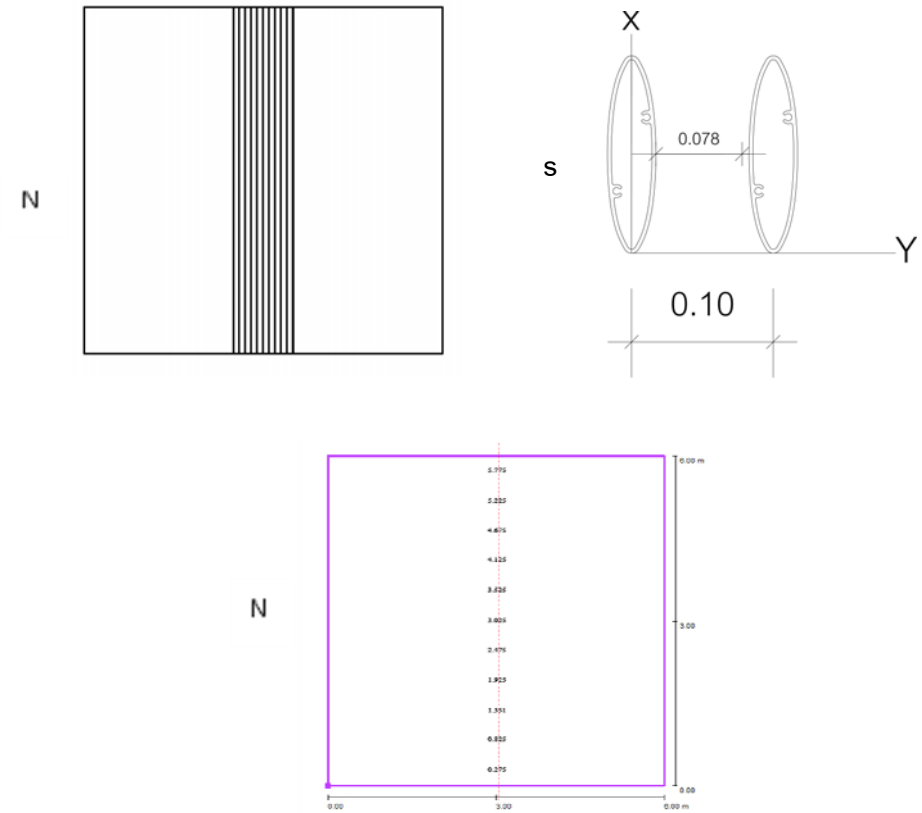
แผนภูมิที่ 4.3แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา





รูปที่ 4.6 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

- การทดลองที่ 12 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 (รูปที่4.7) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1011 ลักซ์ ที่จุด 2.475 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 224 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 639.82 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะค่อนไปทางด้านทิศตะวันตกของห้อง (รูปที่4.8)



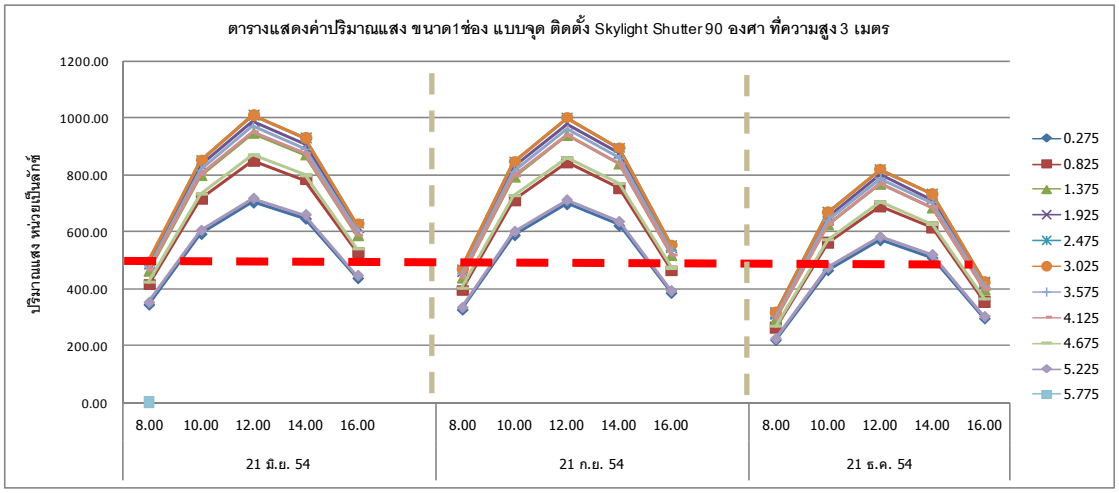
รูปที่ 4.7 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

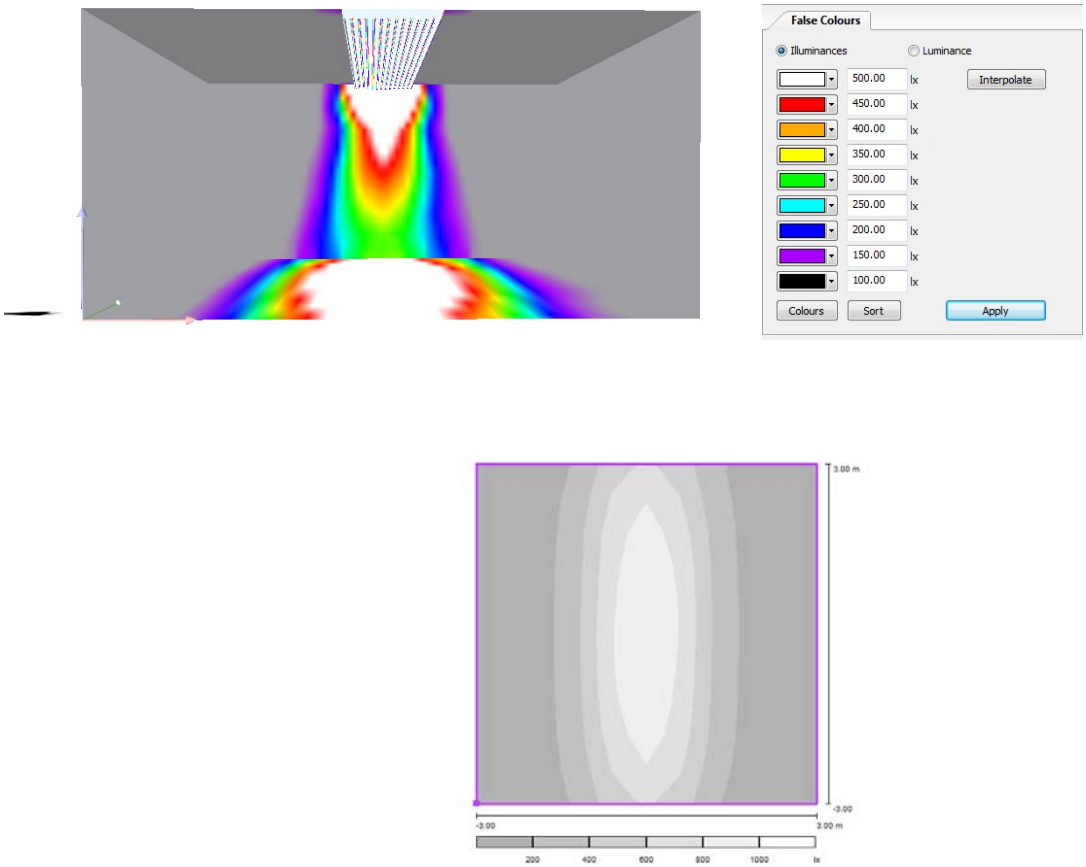
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.8) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.79 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.79 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.4 และแผนภูมิที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 1 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด1ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ที่ความสูง 3 เมตร																	
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
ง่ที่2 แบบแนวยาว โดยเปิดช่องเปิดด้านบน 1 ช่องที่ระนาบแนวนอนขนานกับพื้นห้อง	21 มิ.ย. 54	8.00	344.00	415.00	463.00	484.00	494.00	494.00	494.00	474.00	465.00	426.00	352.00	494.00	352.00	445.91	0.79
		10.00	593.00	716.00	799.00	834.00	852.00	851.50	851.00	818.00	802.00	735.00	606.00	852.00	606.00	768.86	0.79
		12.00	704.00	849.00	947.00	989.00	1011.00	1010.50	1010.00	971.00	952.00	872.00	719.00	1011.00	719.00	912.23	0.79
		14.00	647.00	781.00	871.00	909.00	929.00	928.50	928.00	892.00	875.00	801.00	661.00	929.00	661.00	838.41	0.79
		16.00	437.00	528.00	588.00	615.00	628.00	627.50	627.00	603.00	591.00	542.00	447.00	628.00	447.00	566.68	0.79
	21 ก.ย. 54	8.00	326.00	394.00	439.00	459.00	469.00	468.50	468.00	450.00	441.00	404.00	334.00	469.00	334.00	422.95	0.79
		10.00	589.00	711.00	793.00	828.00	846.00	846.00	846.00	813.00	797.00	730.00	602.00	846.00	602.00	763.73	0.79
		12.00	698.00	842.00	939.00	981.00	1002.00	1001.50	1001.00	962.00	943.00	864.00	713.00	1002.00	713.00	904.23	0.79
		14.00	623.00	752.00	839.00	876.00	894.00	894.00	894.00	859.00	842.00	772.00	637.00	894.00	637.00	807.45	0.79
		16.00	385.00	464.00	518.00	541.00	552.00	552.00	552.00	530.00	520.00	476.00	393.00	552.00	393.00	498.45	0.79
	21 ธ.ค. 54	8.00	219.00	264.00	295.00	308.00	315.00	314.50	314.00	302.00	296.00	271.00	224.00	315.00	224.00	283.86	0.79
		10.00	465.00	561.00	626.00	654.00	668.00	667.50	667.00	641.00	629.00	576.00	475.00	668.00	475.00	602.68	0.79
		12.00	571.00	689.00	768.00	802.00	820.00	819.50	819.00	787.00	772.00	707.00	583.00	820.00	583.00	739.77	0.79
		14.00	509.00	614.00	685.00	715.00	731.00	730.50	730.00	702.00	688.00	630.00	520.00	731.00	520.00	659.50	0.79
		16.00	295.00	356.00	397.00	415.00	424.00	423.50	423.00	407.00	399.00	366.00	302.00	424.00	302.00	382.50	0.79
	ค่าสูงสุด		704.00	849.00	947.00	989.00	1011.00	1010.50	1010.00	971.00	952.00	872.00	719.00	1011.00			
	ค่าต่ำสุด		219.00	264.00	295.00	308.00	315.00	314.50	314.00	302.00	296.00	271.00	224.00		224.00		
	ค่าเฉลี่ย		493.67	595.73	664.47	694.00	709.00	708.63	708.27	680.73	667.47	611.47	504.53			639.82	0.79

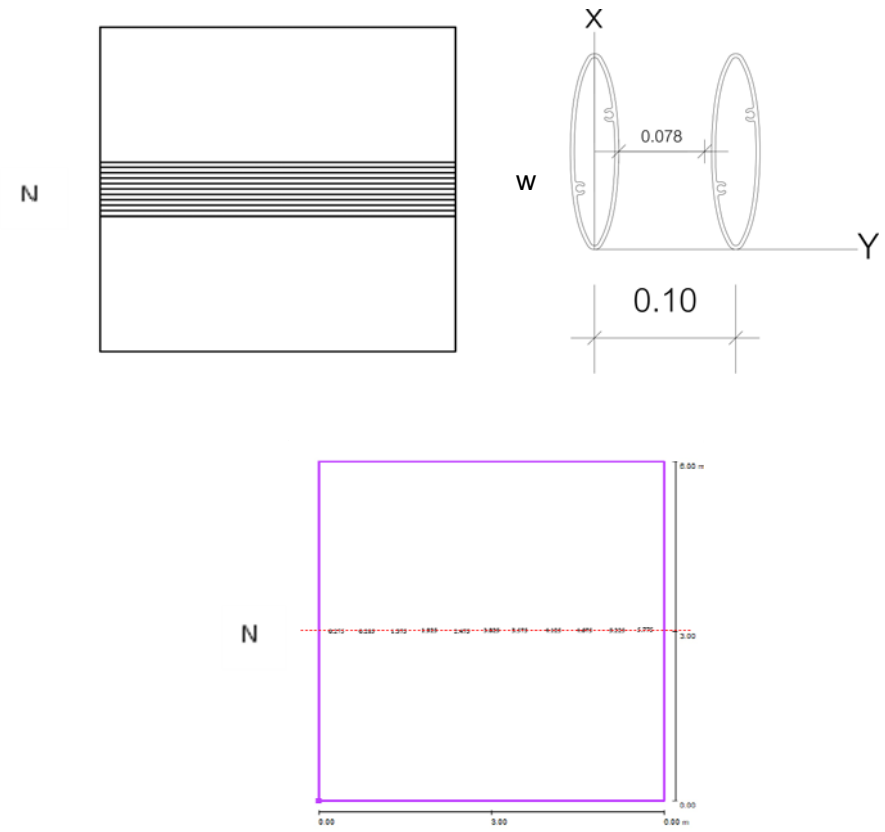
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 1 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90องศา





รูปที่ 4.8 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

- การทดลองที่ 13 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 แนว วางในแนวทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 (รูปที่4.9) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1002 ลักซ์ ที่จุด 2.475 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 218 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 633.17 ลักซ์ รวมถึง ทิศทางของแสงและสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด ค่อนไปทางด้านทิศเหนือของห้อง (รูปที่4.10)



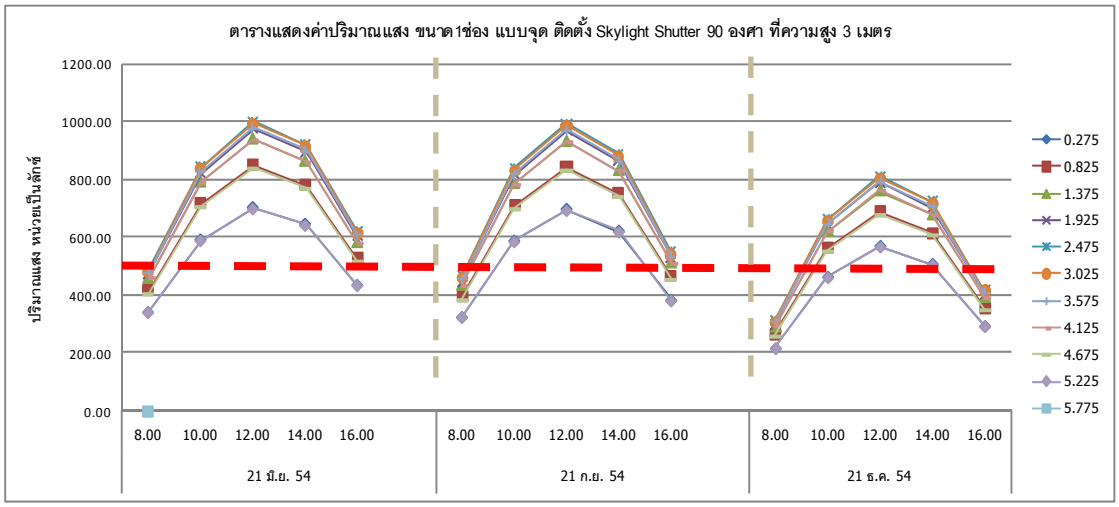
รูปที่ 4.9 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

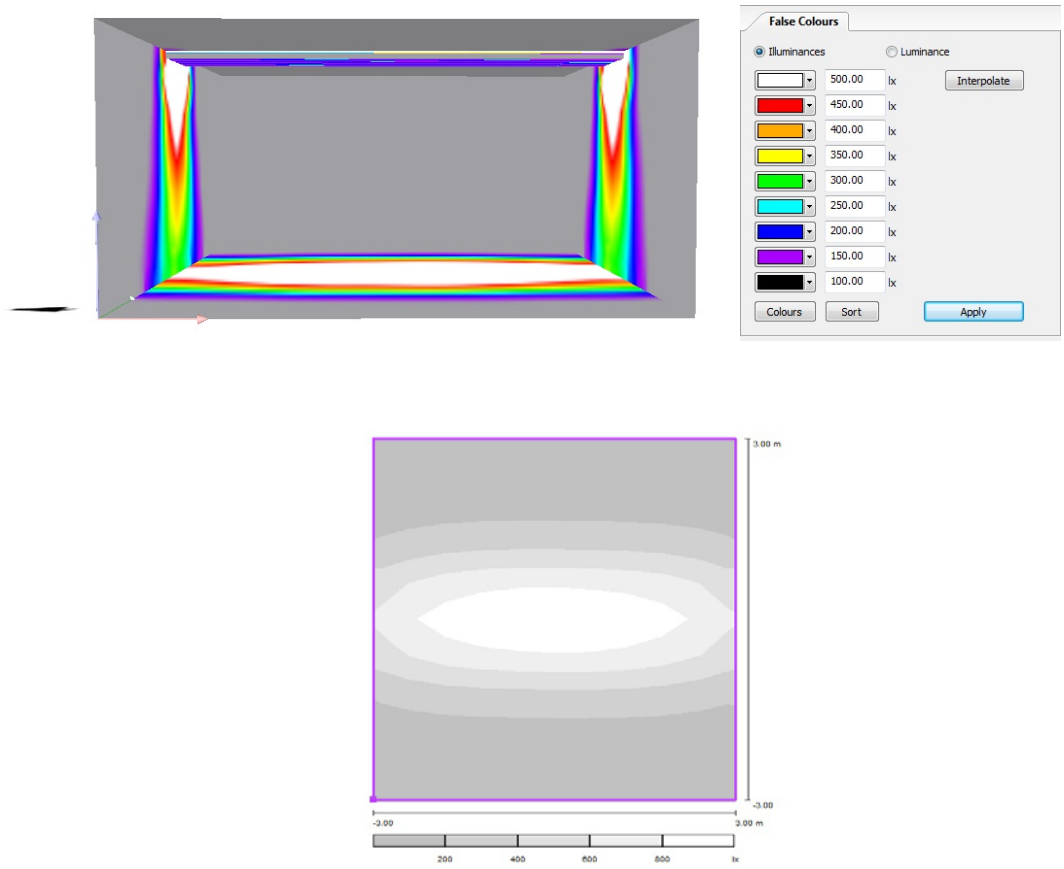
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.10) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.78 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.78 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.4 และแผนภูมิที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 1 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด1ช่องแบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูง 3 เมตร																	
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่13 แบบแนวยาว เปิดช่องเปิดด้านบน 1 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	343.00	417.00	461.00	477.00	490.00	488.50	487.00	478.00	458.00	411.00	342.00	490.00	342.00	441.14	0.78
		10.00	592.00	719.00	794.00	823.00	845.00	842.50	840.00	825.00	790.00	709.00	590.00	845.00	590.00	760.86	0.78
		12.00	703.00	853.00	943.00	976.00	1002.00	999.00	996.00	979.00	938.00	841.00	700.00	1002.00	700.00	902.73	0.78
		14.00	646.00	784.00	866.00	897.00	921.00	918.50	916.00	900.00	862.00	773.00	643.00	921.00	643.00	829.68	0.77
		16.00	436.00	530.00	585.00	606.00	623.00	621.00	619.00	608.00	582.00	522.00	435.00	623.00	435.00	560.64	0.78
	21 ก.ย. 54	8.00	326.00	396.00	437.00	452.00	465.00	463.50	462.00	454.00	435.00	390.00	325.00	465.00	325.00	418.68	0.78
		10.00	588.00	714.00	789.00	817.00	839.00	836.50	834.00	820.00	785.00	704.00	586.00	839.00	586.00	755.68	0.78
		12.00	697.00	846.00	934.00	968.00	994.00	991.00	988.00	970.00	930.00	834.00	694.00	994.00	694.00	895.09	0.78
		14.00	622.00	755.00	834.00	864.00	887.00	884.50	882.00	866.00	830.00	745.00	620.00	887.00	620.00	799.05	0.78
		16.00	384.00	466.00	515.00	533.00	548.00	546.00	544.00	535.00	512.00	460.00	382.00	548.00	382.00	493.18	0.77
	21 ธ.ค. 54	8.00	219.00	266.00	293.00	304.00	312.00	311.00	310.00	305.00	292.00	262.00	218.00	312.00	218.00	281.09	0.78
		10.00	464.00	564.00	623.00	645.00	662.00	660.00	658.00	647.00	620.00	556.00	462.00	662.00	462.00	596.45	0.77
		12.00	570.00	692.00	764.00	791.00	813.00	810.50	808.00	794.00	761.00	682.00	568.00	813.00	568.00	732.14	0.78
		14.00	508.00	617.00	681.00	706.00	725.00	722.50	720.00	708.00	678.00	608.00	506.00	725.00	506.00	652.68	0.78
		16.00	295.00	358.00	395.00	409.00	420.00	419.00	418.00	410.00	393.00	353.00	293.00	420.00	293.00	378.45	0.77
	ค่าสูงสุด		703.00	853.00	943.00	976.00	1002.00	999.00	996.00	979.00	938.00	841.00	700.00	1002.00			
	ค่าต่ำสุด		219.00	266.00	293.00	304.00	312.00	311.00	310.00	305.00	292.00	262.00	218.00		218.00		
	ค่าเฉลี่ย		492.87	598.47	660.93	684.53	703.07	700.93	698.80	686.60	657.73	590.00	490.93			633.17	0.78

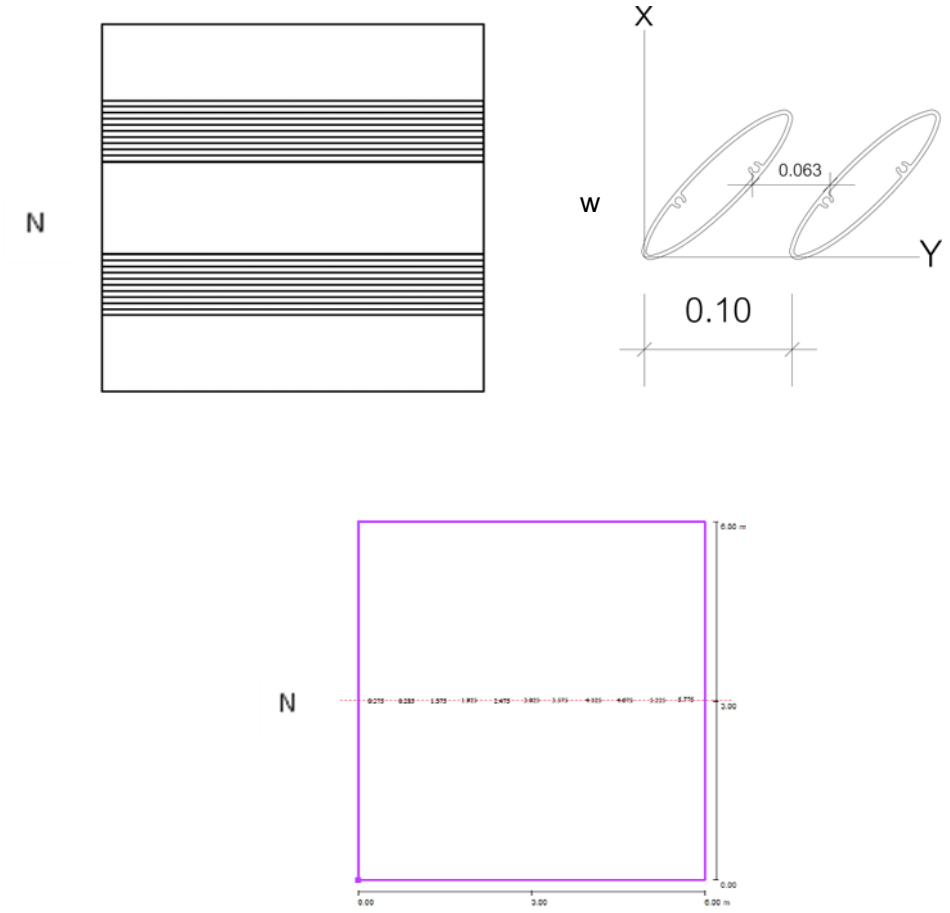
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแบบยาว 1 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา





รูปที่ 4.10 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

- การทดลองที่ 15 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 2 แนว วางในแนวทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 (รูปที่4.11) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 886 ลักซ์ ที่จุด 3.575 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 196 ลักซ์ ที่จุด 0.275 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 564.37 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด อยู่บริเวณกึ่งกลางของห้อง (รูปที่4.12)



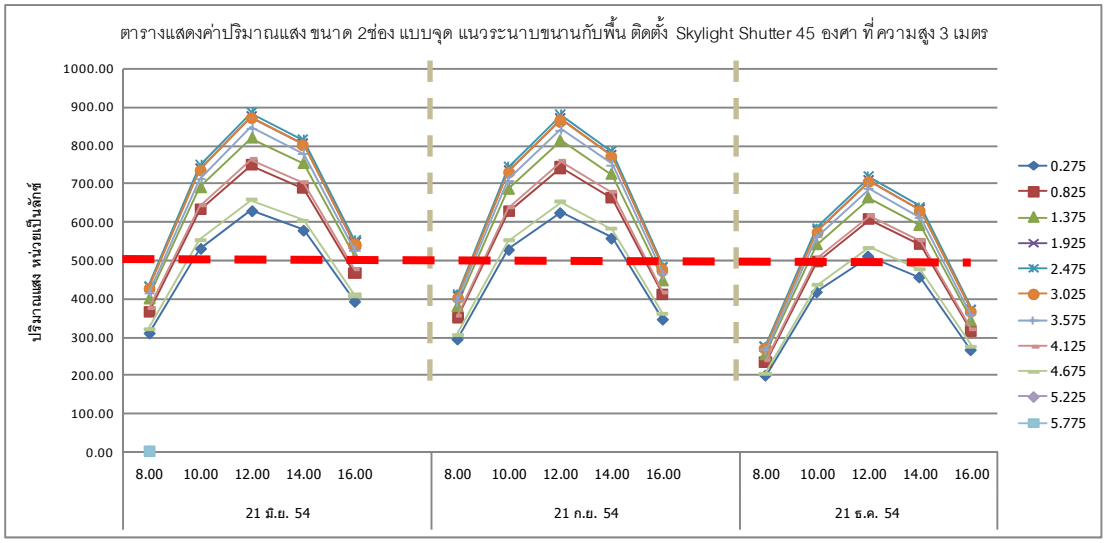
รูปที่ 4.11 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 2 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

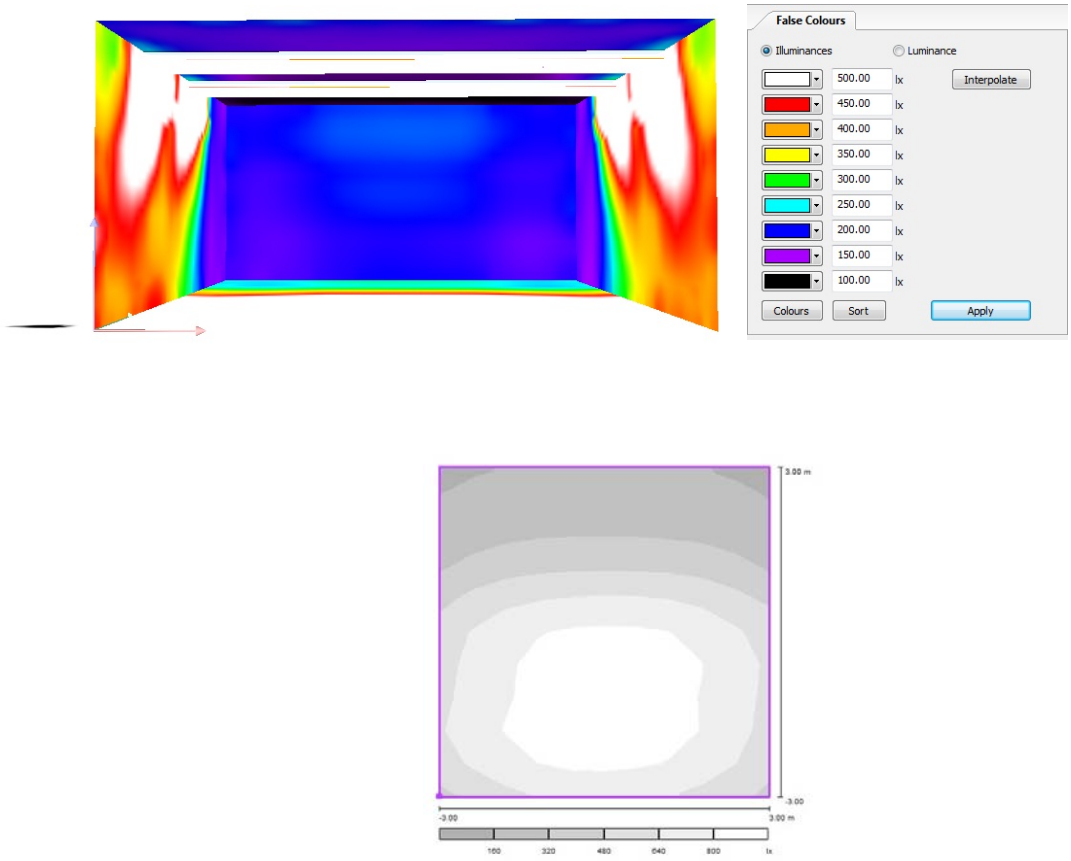
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.12) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.78 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.78 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.6 และแผนภูมิที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 2 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 2 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูง 3 เมตร																	
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter										ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 45 องศา										ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด													
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่15 แบบแนวยาวเปิดช่องเปิดด้านบน2 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	307.00	365.00	399.00	427.00	431.00	432.00	433.00	425.00	413.00	373.00	320.00	433.00	307.00	393.18	0.78
		10.00	529.00	629.00	688.00	736.00	744.00	745.50	747.00	733.00	712.00	643.00	552.00	747.00	529.00	678.05	0.78
		12.00	628.00	746.00	817.00	873.00	882.00	884.00	886.00	870.00	845.00	763.00	655.00	886.00	628.00	804.45	0.78
		14.00	577.00	686.00	751.00	803.00	811.00	813.00	815.00	800.00	777.00	702.00	602.00	815.00	577.00	739.73	0.78
		16.00	390.00	463.00	507.00	542.00	548.00	549.50	551.00	540.00	525.00	474.00	407.00	551.00	390.00	499.68	0.78
	21 ก.ย. 54	8.00	291.00	346.00	379.00	405.00	409.00	410.00	411.00	403.00	392.00	354.00	304.00	411.00	291.00	373.09	0.78
		10.00	526.00	625.00	684.00	731.00	739.00	740.50	742.00	729.00	708.00	639.00	549.00	742.00	526.00	673.86	0.78
		12.00	623.00	739.00	810.00	866.00	875.00	877.00	879.00	863.00	838.00	757.00	649.00	879.00	623.00	797.82	0.78
		14.00	556.00	660.00	723.00	773.00	781.00	783.00	785.00	770.00	748.00	676.00	580.00	785.00	556.00	712.27	0.78
		16.00	343.00	408.00	446.00	477.00	482.00	483.00	484.00	475.00	462.00	417.00	358.00	484.00	343.00	439.55	0.78
	21 ธ.ค. 54	8.00	196.00	232.00	254.00	272.00	275.00	275.50	276.00	271.00	263.00	238.00	204.00	276.00	196.00	250.59	0.78
		10.00	415.00	493.00	540.00	577.00	583.00	584.50	586.00	575.00	558.00	504.00	433.00	586.00	415.00	531.68	0.78
		12.00	509.00	605.00	662.00	708.00	716.00	717.50	719.00	706.00	686.00	619.00	531.00	719.00	509.00	652.59	0.78
		14.00	454.00	539.00	590.00	631.00	638.00	639.50	641.00	629.00	611.00	552.00	474.00	641.00	454.00	581.68	0.78
		16.00	263.00	313.00	342.00	366.00	370.00	371.00	372.00	365.00	354.00	320.00	275.00	372.00	263.00	337.36	0.78
	ค่าสูงสุด		628.00	746.00	817.00	873.00	882.00	884.00	886.00	870.00	845.00	763.00	655.00	886.00			
	ค่าต่ำสุด		196.00	232.00	254.00	272.00	275.00	275.50	276.00	271.00	263.00	238.00	204.00		196.00		
	ค่าเฉลี่ย		440.47	523.27	572.80	612.47	618.93	620.37	621.80	610.27	592.80	535.40	459.53			564.37	0.78

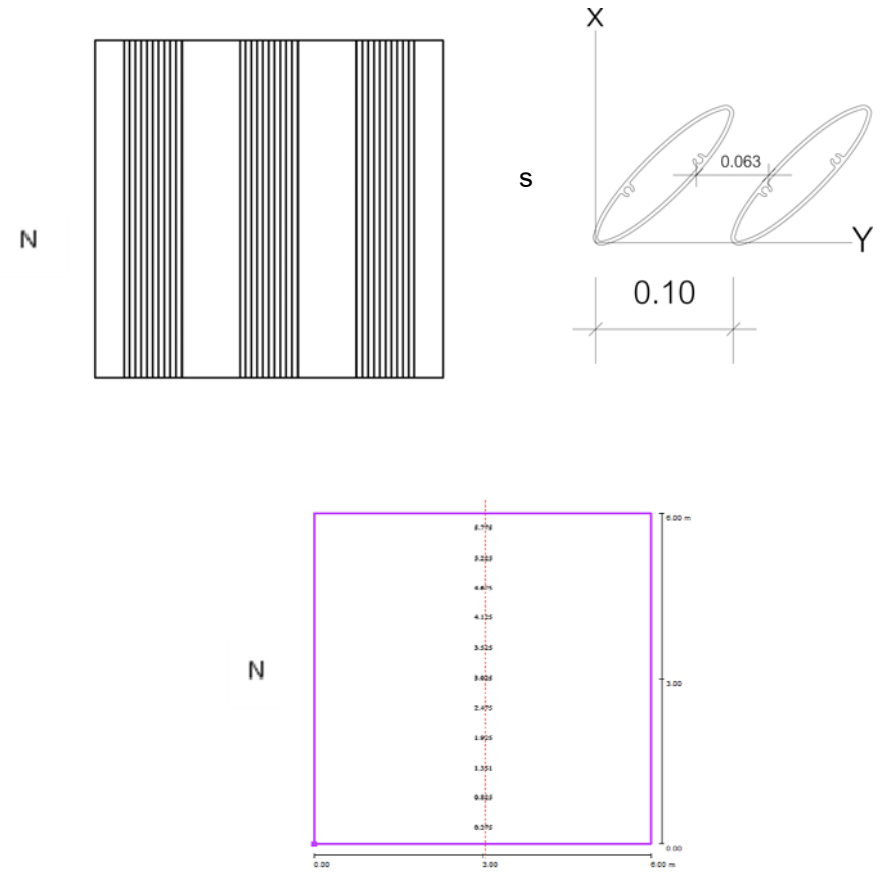
แผนภูมิที่ 4.6แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 2 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา





รูปที่ 4.12 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 2 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

- การทดลองที่ 16 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา (รูปที่4.13) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 974 ลักซ์ ที่จุด 3.025 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 213 ลักซ์ ที่จุด 0.275 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 616.65 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด อยู่บริเวณกึ่งกลางของห้อง (รูปที่4.14)



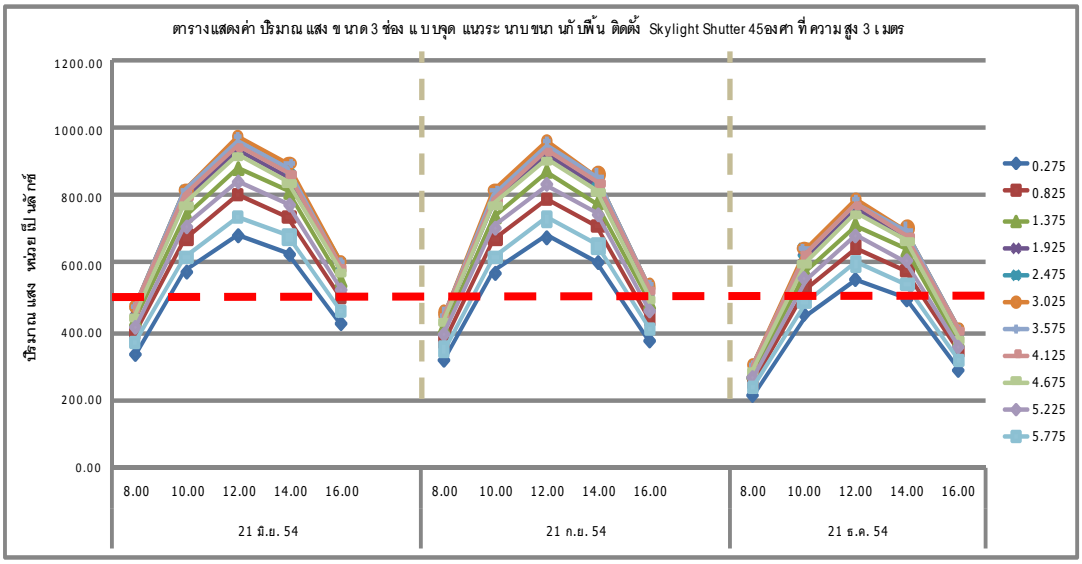
รูปที่ 4.13 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

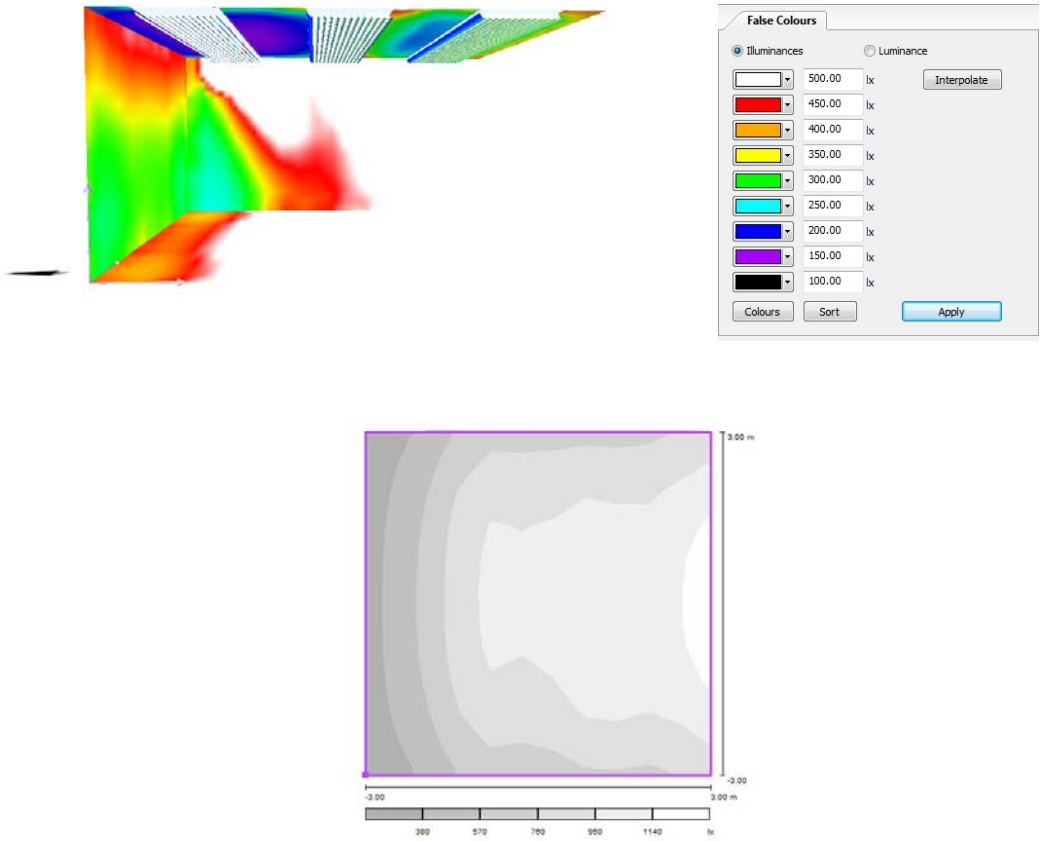
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา (รูปที่4.14) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.78 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.78 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.7 และแผนภูมิที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออกที่ความสูง 3 เมตร																	
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 45 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองทำในแบบแนวยาว เปิดช่องเปิดด้านบน 3 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	334.00	393.00	431.00	458.00	470.00	476.00	475.00	464.00	451.00	415.00	360.00	476.00	334.00	429.73	0.78
		10.00	577.00	677.00	743.00	790.00	810.00	821.00	819.00	800.00	777.00	715.00	621.00	821.00	577.00	740.91	0.78
		12.00	684.00	803.00	882.00	938.00	961.00	974.00	971.00	949.00	922.00	849.00	737.00	974.00	684.00	879.09	0.78
		14.00	629.00	738.00	811.00	862.00	884.00	896.00	893.00	872.00	847.00	780.00	677.00	896.00	629.00	808.09	0.78
		16.00	425.00	499.00	548.00	583.00	597.00	605.00	603.00	589.00	573.00	527.00	458.00	605.00	425.00	546.09	0.78
	21 ก.ย. 54	8.00	317.00	372.00	409.00	435.00	446.00	452.00	450.00	440.00	427.00	394.00	342.00	452.00	317.00	407.64	0.78
		10.00	573.00	673.00	738.00	785.00	805.00	816.00	813.00	795.00	772.00	711.00	617.00	816.00	573.00	736.18	0.78
		12.00	678.00	796.00	874.00	930.00	953.00	966.00	963.00	941.00	914.00	842.00	731.00	966.00	678.00	871.64	0.78
		14.00	605.00	711.00	781.00	830.00	851.00	862.00	860.00	840.00	816.00	751.00	652.00	862.00	605.00	778.09	0.78
		16.00	374.00	439.00	482.00	512.00	525.00	532.00	531.00	518.00	504.00	464.00	403.00	532.00	374.00	480.36	0.78
	21 ธ.ค. 54	8.00	213.00	250.00	274.00	292.00	299.00	303.00	302.00	296.00	287.00	265.00	230.00	303.00	213.00	273.73	0.78
		10.00	452.00	531.00	583.00	620.00	635.00	644.00	642.00	627.00	609.00	561.00	487.00	644.00	452.00	581.00	0.78
		12.00	555.00	651.00	715.00	761.00	780.00	790.00	788.00	770.00	748.00	688.00	598.00	790.00	555.00	713.09	0.78
		14.00	495.00	581.00	638.00	678.00	695.00	704.00	702.00	686.00	666.00	614.00	533.00	704.00	495.00	635.64	0.78
		16.00	287.00	337.00	370.00	393.00	403.00	408.00	407.00	398.00	386.00	356.00	309.00	408.00	287.00	368.55	0.78
	ค่าสูงสุด		684.00	803.00	882.00	938.00	961.00	974.00	971.00	949.00	922.00	849.00	737.00	974.00			
	ค่าต่ำสุด		213.00	250.00	274.00	292.00	299.00	303.00	302.00	296.00	287.00	265.00	230.00		213.00		
	ค่าเฉลี่ย		479.87	563.40	618.60	657.80	674.27	683.27	681.27	665.67	646.60	595.47	517.00			616.65	0.78

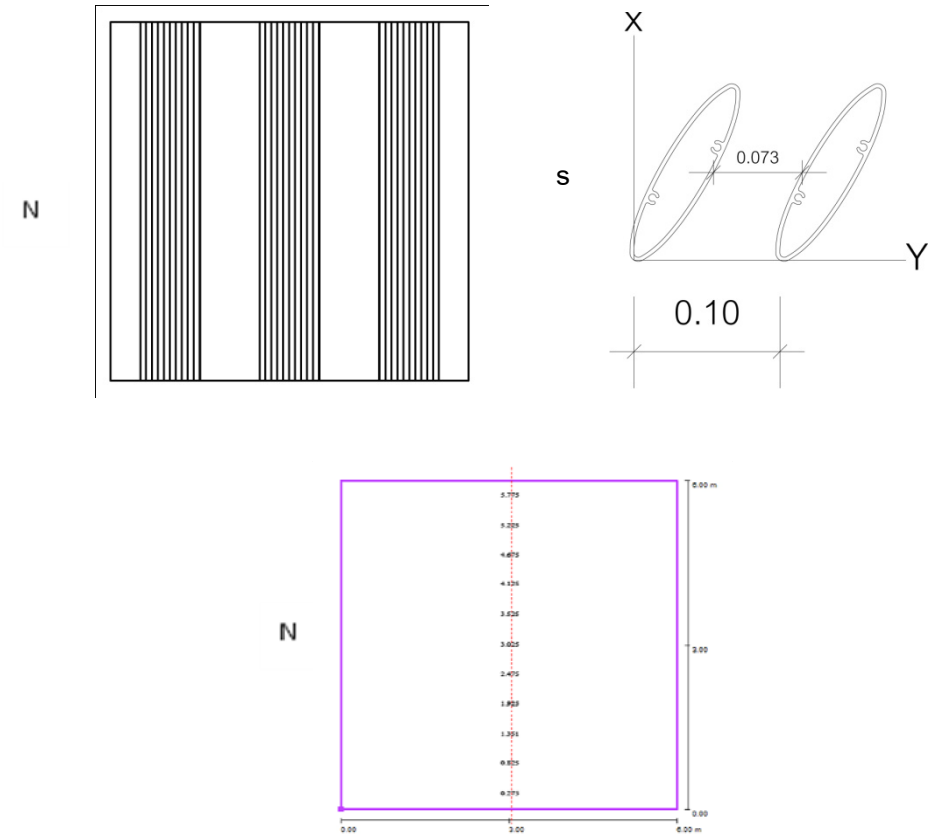
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา





รูปที่ 4.14 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

- การทดลองที่ 16 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา (รูปที่4.15) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 818 ลักซ์ ที่จุด 4.124 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 174 ลักซ์ ที่จุด 0.275 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 511.53 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะค่อนไปทางทิสตะวันออกของห้อง (รูปที่4.16)



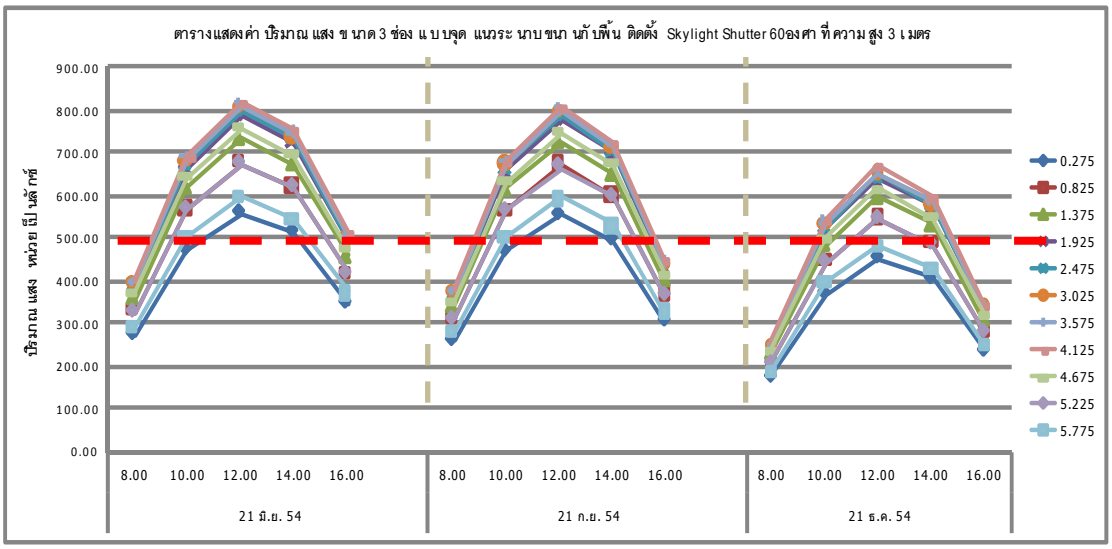
รูปที่ 4.15 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

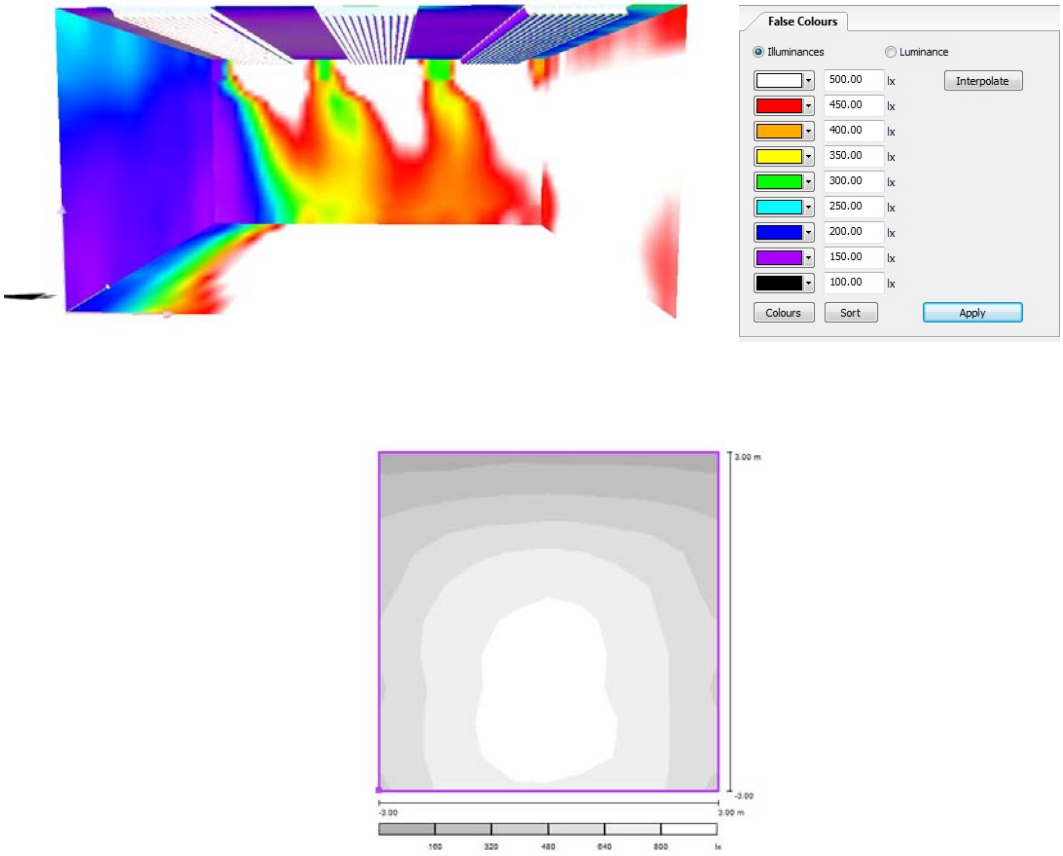
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา (รูปที่4.16) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.77 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.77ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.8 และแผนภูมิที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออกที่ความสูง 3 เมตร																	
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 60 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่16แบบแนวยาว เปิดช่องเปิดด้านบน 3 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	274.00	331.00	361.00	385.00	388.00	392.50	397.00	400.00	371.00	331.00	291.00	400.00	274.00	356.50	0.77
		10.00	472.00	570.00	622.00	664.00	670.00	677.50	685.00	690.00	640.00	570.00	502.00	690.00	472.00	614.77	0.77
		12.00	560.00	676.00	738.00	788.00	795.00	804.00	813.00	818.00	759.00	676.00	595.00	818.00	560.00	729.27	0.77
		14.00	515.00	622.00	678.00	724.00	730.00	738.50	747.00	752.00	698.00	622.00	547.00	752.00	515.00	670.32	0.77
		16.00	348.00	420.00	458.00	489.00	494.00	499.50	505.00	508.00	472.00	420.00	370.00	508.00	348.00	453.05	0.77
	21 ก.ย. 54	8.00	260.00	314.00	342.00	365.00	368.00	372.50	377.00	379.00	352.00	314.00	276.00	379.00	260.00	338.14	0.77
		10.00	469.00	566.00	618.00	660.00	665.00	672.50	680.00	685.00	636.00	566.00	499.00	685.00	469.00	610.59	0.77
		12.00	555.00	671.00	731.00	781.00	788.00	797.00	806.00	811.00	753.00	670.00	590.00	811.00	555.00	723.00	0.77
		14.00	496.00	599.00	653.00	698.00	703.00	711.00	719.00	724.00	672.00	599.00	527.00	724.00	496.00	645.55	0.77
		16.00	306.00	370.00	403.00	431.00	434.00	439.00	444.00	447.00	415.00	370.00	325.00	447.00	306.00	398.55	0.77
	21 ธ.ค. 54	8.00	174.00	211.00	230.00	245.00	247.00	250.00	253.00	255.00	236.00	211.00	185.00	255.00	174.00	227.00	0.77
		10.00	370.00	447.00	487.00	521.00	525.00	531.00	537.00	541.00	502.00	447.00	393.00	541.00	370.00	481.91	0.77
		12.00	454.00	549.00	598.00	639.00	644.00	651.50	659.00	664.00	616.00	548.00	483.00	664.00	454.00	591.41	0.77
		14.00	405.00	489.00	533.00	570.00	574.00	580.50	587.00	592.00	549.00	489.00	430.00	592.00	405.00	527.14	0.77
		16.00	235.00	284.00	309.00	330.00	333.00	337.00	341.00	343.00	318.00	284.00	250.00	343.00	235.00	305.82	0.77
	ค่าสูงสุด		560.00	676.00	738.00	788.00	795.00	804.00	813.00	818.00	759.00	676.00	595.00	818.00			
	ค่าต่ำสุด		174.00	211.00	230.00	245.00	247.00	250.00	253.00	255.00	236.00	211.00	185.00		174.00		
	ค่าเฉลี่ย		392.87	474.60	517.40	552.67	557.20	563.60	570.00	573.93	532.60	474.47	417.53			511.53	0.77

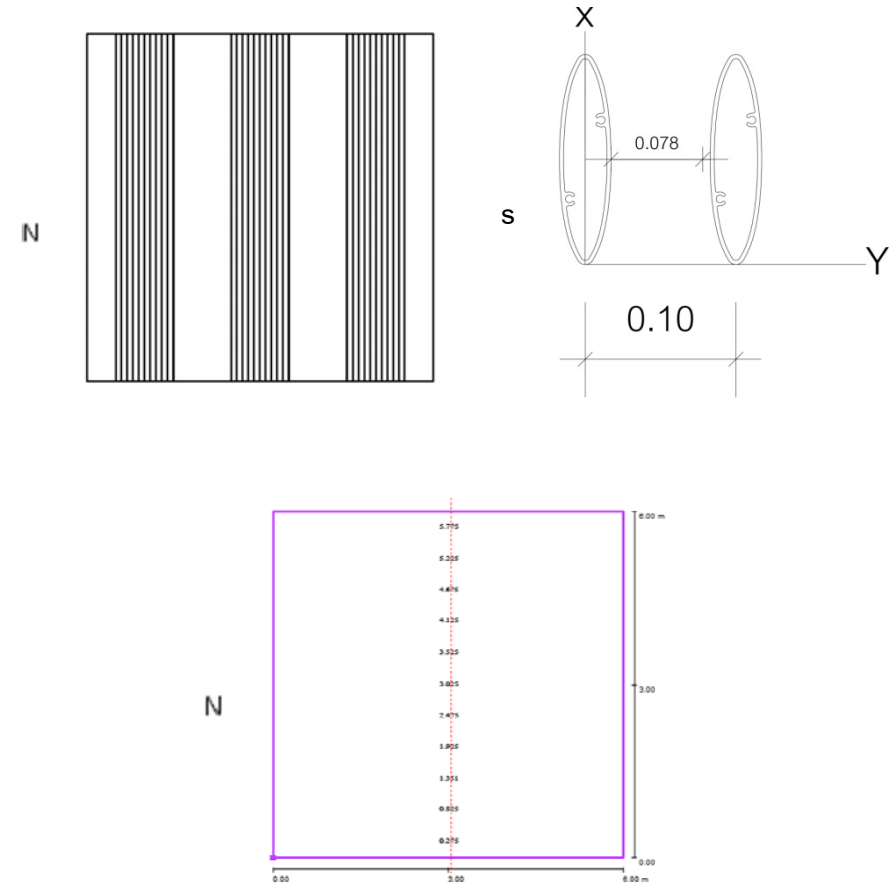
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา





รูปที่ 4.16 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

- การทดลองที่ 16 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.17) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1050 ลักซ์ ที่จุด 2.475 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 276 ลักซ์ ที่จุด 0.275 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 788.92 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะค่อนไปทางทิสตะวันตกของห้อง (รูปที่4.18)



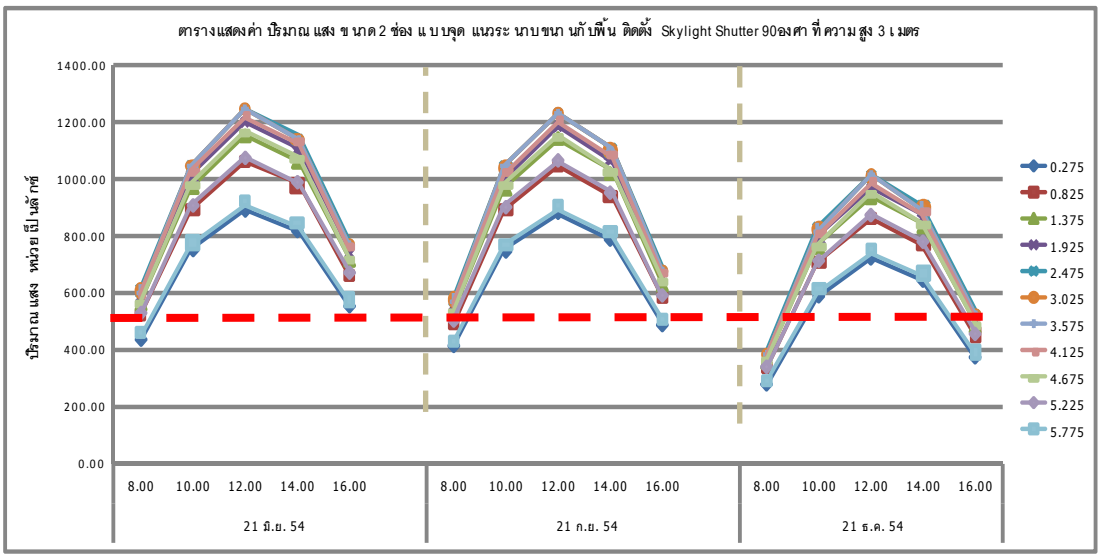
รูปที่ 4.17 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

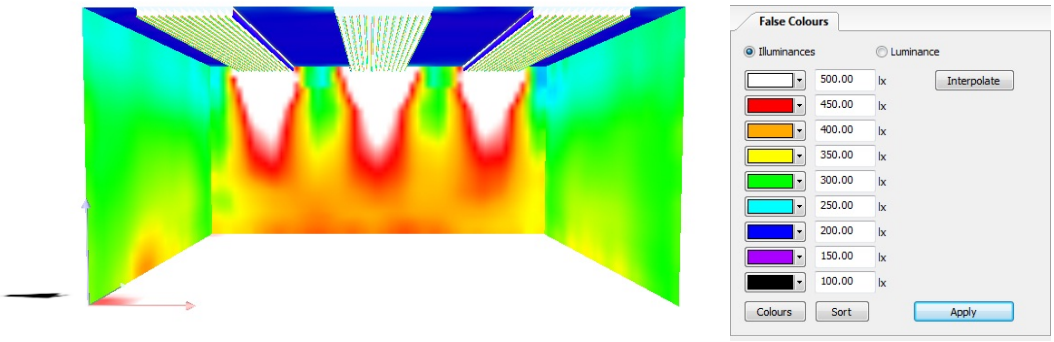
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.18) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.79 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.79 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.9 และแผนภูมิที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา

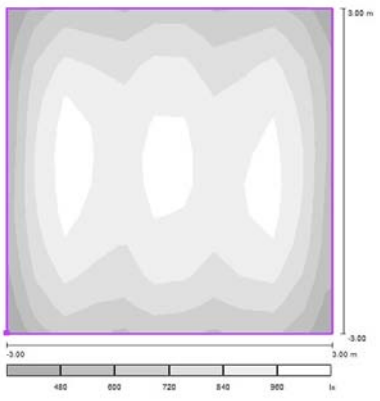
ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออกที่ความสูง 3 เมตร																	
ลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่ใช้แบบแนวยาว เปิดช่องเปิดด้านบน 3 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	433.00	516.00	560.00	584.00	609.00	605.00	605.00	595.00	572.00	523.00	445.00	609.00	433.00	549.73	0.79
		10.00	747.00	890.00	966.00	1007.00	1050.00	1043.00	1044.00	1026.00	986.00	902.00	767.00	1050.00	747.00	948.00	0.79
		12.00	886.00	1056.00	1146.00	1194.00	1246.00	1238.00	1239.00	1217.00	1170.00	1070.00	910.00	1246.00	886.00	1124.73	0.79
		14.00	814.00	971.00	1054.00	1098.00	1145.00	1138.00	1139.00	1119.00	1075.00	984.00	837.00	1145.00	814.00	1034.00	0.79
		16.00	550.00	656.00	712.00	742.00	774.00	769.00	769.00	756.00	727.00	665.00	565.00	774.00	550.00	698.64	0.79
	21 ก.ย. 54	8.00	411.00	490.00	532.00	554.00	578.00	574.00	574.00	564.00	542.00	496.00	422.00	578.00	411.00	521.55	0.79
		10.00	742.00	884.00	960.00	1000.00	1043.00	1036.00	1037.00	1019.00	979.00	896.00	762.00	1043.00	742.00	941.64	0.79
		12.00	878.00	1047.00	1137.00	1184.00	1235.00	1227.00	1228.00	1207.00	1160.00	1061.00	902.00	1235.00	878.00	1115.09	0.79
		14.00	784.00	935.00	1015.00	1057.00	1103.00	1096.00	1096.00	1078.00	1035.00	947.00	806.00	1103.00	784.00	995.64	0.79
		16.00	484.00	577.00	626.00	652.00	681.00	676.00	677.00	665.00	639.00	585.00	497.00	681.00	484.00	614.45	0.79
	21 ธ.ค. 54	8.00	276.00	329.00	357.00	372.00	388.00	385.00	386.00	379.00	364.00	333.00	283.00	388.00	276.00	350.18	0.79
		10.00	585.00	698.00	757.00	789.00	823.00	818.00	818.00	804.00	773.00	707.00	601.00	823.00	585.00	743.00	0.79
		12.00	718.00	857.00	930.00	969.00	1010.00	1004.00	1005.00	987.00	949.00	868.00	738.00	1010.00	718.00	912.27	0.79
		14.00	640.00	764.00	829.00	863.00	901.00	895.00	896.00	880.00	846.00	774.00	658.00	901.00	640.00	813.27	0.79
		16.00	371.00	443.00	481.00	501.00	522.00	519.00	519.00	510.00	490.00	449.00	382.00	522.00	371.00	471.55	0.79
	ค่าสูงสุด		747.00	890.00	966.00	1007.00	1050.00	1043.00	1044.00	1026.00	986.00	902.00	767.00	1050.00			
	ค่าต่ำสุด		276.00	329.00	357.00	372.00	388.00	385.00	386.00	379.00	364.00	333.00	283.00		276.00		
	ค่าเฉลี่ย		621.27	740.87	804.13	837.73	873.87	868.20	868.80	853.73	820.47	750.67	638.33			788.92	0.79

แผนภูมิที่ 4.9 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา





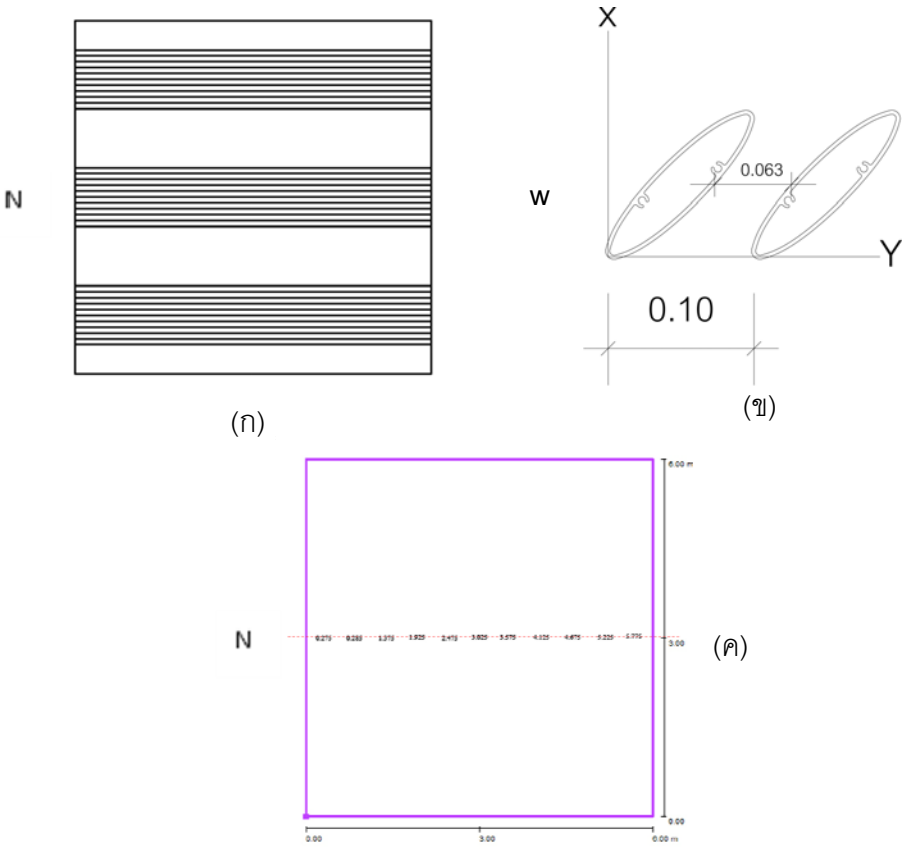
(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 4.18 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

- การทดลองที่ 17 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนวทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45องศา (รูปที่4.19) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 863 ลักซ์ ที่จุด 2.475 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 227 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 650.11 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะค่อนไปทางทิศเหนือของห้อง (รูปที่4.20)



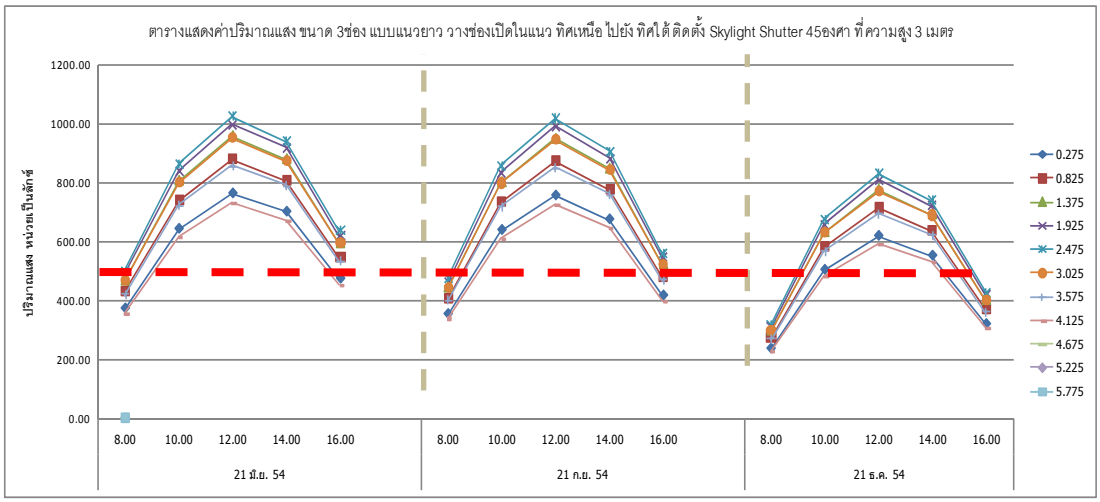
รูปที่ 4.19 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

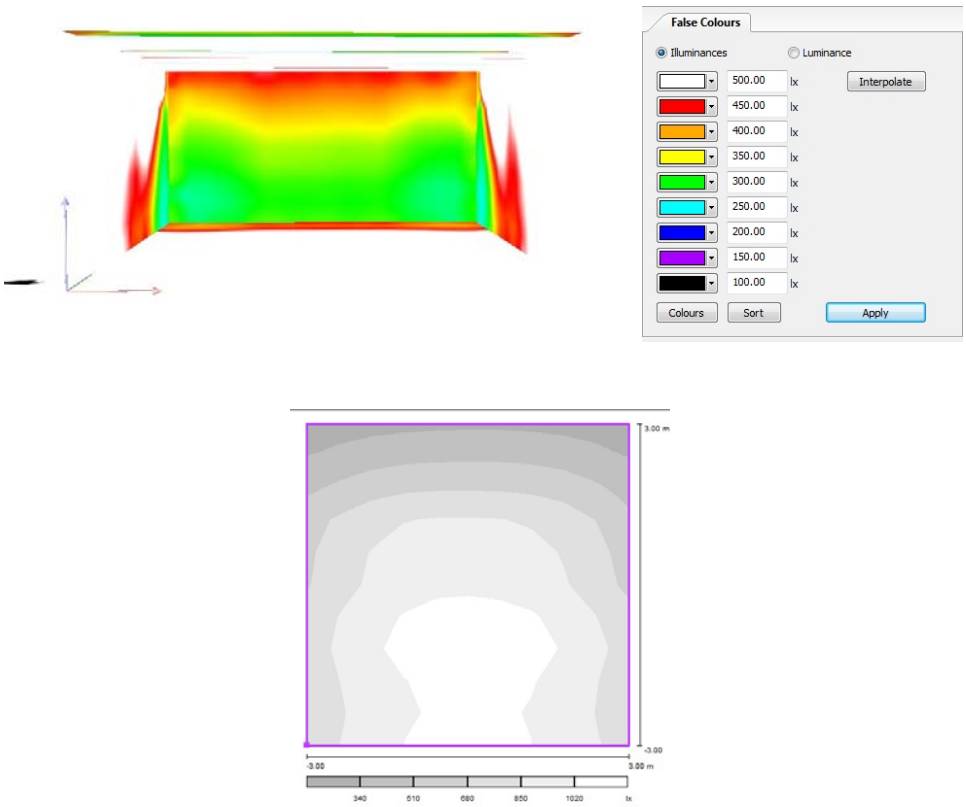
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา (รูปที่4.20) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.78 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.78 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.10 และแผนภูมิที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูง 3 เมตร																	
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 45 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่17 แบบจุดเปิดช่องเปิดด้านบน3 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	373.00	429.00	467.00	488.00	501.00	498.50	496.00	492.00	464.00	419.00	357.00	501.00	357.00	453.14	0.79
		10.00	643.00	740.00	805.00	841.00	863.00	859.50	856.00	848.00	800.00	723.00	615.00	863.00	615.00	781.23	0.79
		12.00	763.00	878.00	956.00	997.00	1024.00	1019.50	1015.00	1007.00	949.00	857.00	730.00	1024.00	730.00	926.86	0.79
		14.00	701.00	807.00	878.00	917.00	941.00	937.00	933.00	925.00	873.00	788.00	671.00	941.00	671.00	851.91	0.79
		16.00	474.00	546.00	593.00	620.00	636.00	633.50	631.00	625.00	590.00	533.00	453.00	636.00	453.00	575.86	0.79
	21 ก.ย. 54	8.00	354.00	407.00	443.00	462.00	475.00	473.00	471.00	467.00	440.00	398.00	339.00	475.00	339.00	429.91	0.79
		10.00	639.00	735.00	800.00	835.00	857.00	853.50	850.00	843.00	795.00	718.00	611.00	857.00	611.00	776.05	0.79
		12.00	756.00	871.00	947.00	989.00	1015.00	1010.50	1006.00	998.00	941.00	850.00	724.00	1015.00	724.00	918.86	0.79
		14.00	675.00	777.00	846.00	883.00	906.00	902.50	899.00	891.00	840.00	759.00	646.00	906.00	646.00	820.41	0.79
		16.00	417.00	480.00	522.00	545.00	559.00	557.00	555.00	550.00	519.00	468.00	399.00	559.00	399.00	506.45	0.79
	21 ธ.ค. 54	8.00	237.00	273.00	297.00	310.00	319.00	317.50	316.00	313.00	296.00	267.00	227.00	319.00	227.00	288.41	0.79
		10.00	504.00	580.00	631.00	659.00	676.00	673.50	671.00	665.00	627.00	566.00	482.00	676.00	482.00	612.23	0.79
		12.00	619.00	712.00	775.00	809.00	830.00	826.50	823.00	816.00	770.00	695.00	592.00	830.00	592.00	751.59	0.79
		14.00	552.00	635.00	691.00	721.00	740.00	737.00	734.00	728.00	686.00	620.00	528.00	740.00	528.00	670.18	0.79
		16.00	320.00	368.00	401.00	418.00	429.00	427.50	426.00	422.00	398.00	359.00	306.00	429.00	306.00	388.59	0.79
	ค่าสูงสุด		643.00	740.00	805.00	841.00	863.00	859.50	856.00	848.00	800.00	723.00	615.00	863.00			
	ค่าต่ำสุด		237.00	273.00	297.00	310.00	319.00	317.50	316.00	313.00	296.00	267.00	227.00		227.00		
	ค่าเฉลี่ย		535.13	615.87	670.13	699.60	718.07	715.10	712.13	706.00	665.87	601.33	512.00			650.11	0.79

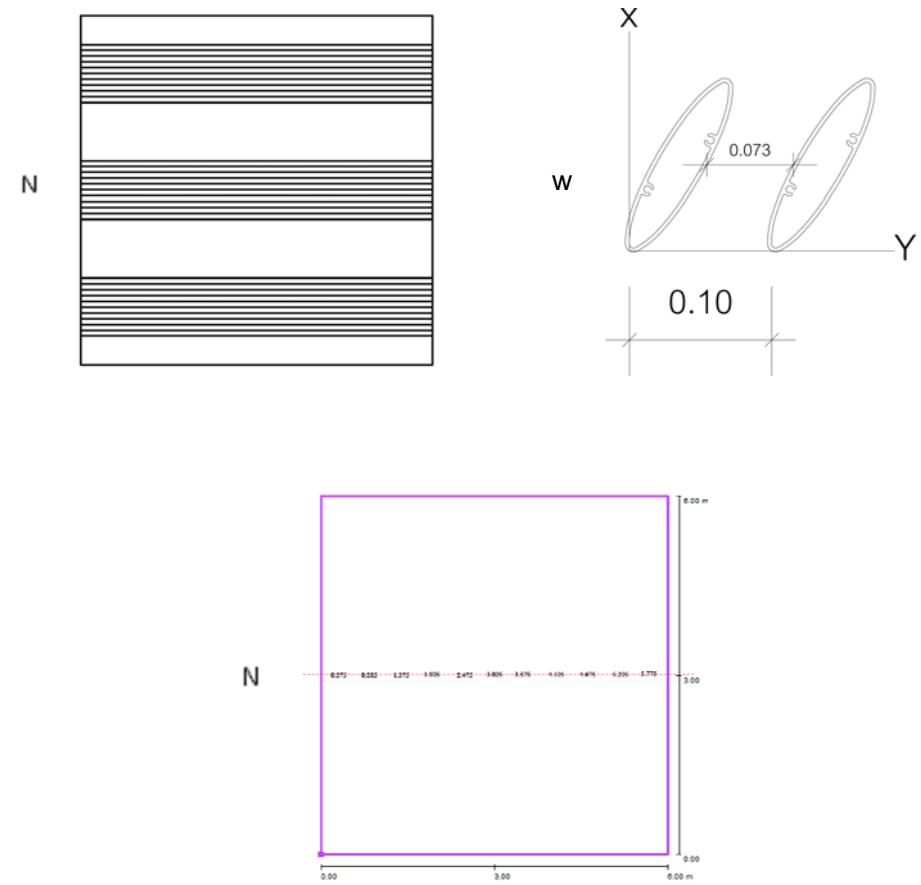
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45องศา





รูปที่ 4.20 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

- การทดลองที่ 17 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนวทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา (รูปที่4.21) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1057 ลักซ์ ที่จุด 2.475 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 235 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 665.65 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะค่อนไปทางทิศเหนือของห้อง (รูปที่4.22)



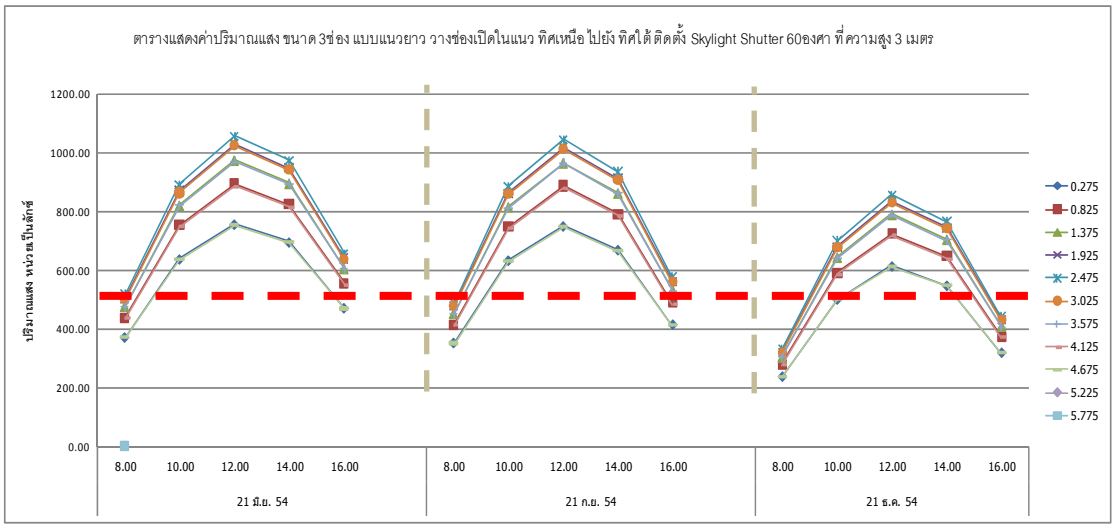
รูปที่ 4.21 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

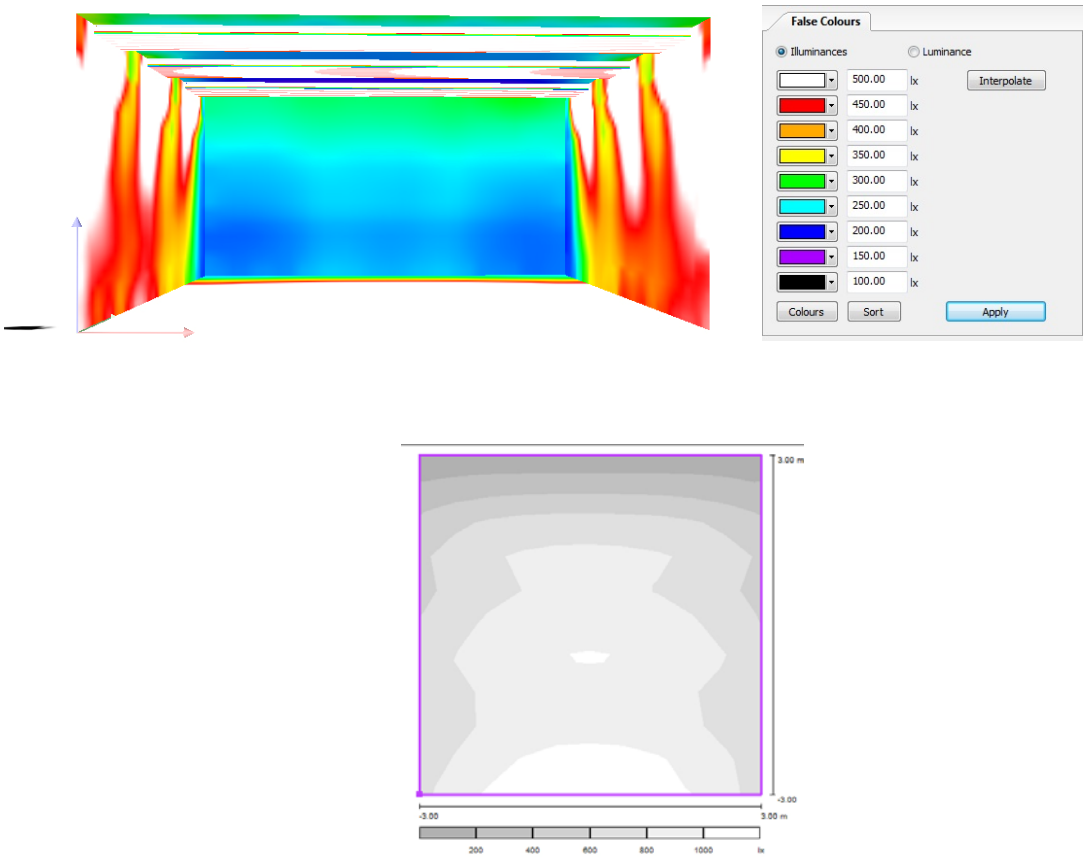
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา (รูปที่4.22) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.79 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.79 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.11 และแผนภูมิที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูง 3 เมตร																	
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 60 องศา										ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด													
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่17 แบบจุดเปิดช่องเปิดด้านบน3 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	369.00	437.00	476.00	503.00	517.00	514.00	511.00	500.00	474.00	433.00	369.00	517.00	369.00	463.91	0.80
		10.00	636.00	754.00	821.00	867.00	891.00	886.00	881.00	862.00	818.00	747.00	635.00	891.00	635.00	799.82	0.79
		12.00	755.00	895.00	975.00	1028.00	1057.00	1051.00	1045.00	1023.00	970.00	886.00	754.00	1057.00	754.00	949.00	0.79
		14.00	694.00	823.00	896.00	945.00	972.00	966.50	961.00	940.00	892.00	814.00	693.00	972.00	693.00	872.41	0.79
		16.00	469.00	556.00	605.00	639.00	657.00	653.00	649.00	635.00	603.00	550.00	468.00	657.00	468.00	589.45	0.79
	21 ก.ย. 54	8.00	350.00	415.00	452.00	477.00	490.00	487.50	485.00	474.00	450.00	411.00	350.00	490.00	350.00	440.14	0.80
		10.00	632.00	749.00	816.00	861.00	885.00	880.00	875.00	857.00	812.00	742.00	631.00	885.00	631.00	794.55	0.79
		12.00	749.00	887.00	966.00	1019.00	1048.00	1042.00	1036.00	1014.00	962.00	878.00	747.00	1048.00	747.00	940.73	0.79
		14.00	668.00	792.00	863.00	910.00	936.00	930.50	925.00	905.00	859.00	784.00	667.00	936.00	667.00	839.95	0.79
		16.00	413.00	489.00	532.00	562.00	578.00	574.50	571.00	559.00	530.00	484.00	412.00	578.00	412.00	518.59	0.79
	21 ธ.ค. 54	8.00	235.00	279.00	303.00	320.00	329.00	327.00	325.00	318.00	302.00	276.00	235.00	329.00	235.00	295.36	0.80
		10.00	499.00	591.00	644.00	679.00	699.00	694.50	690.00	676.00	641.00	585.00	498.00	699.00	498.00	626.95	0.79
		12.00	612.00	726.00	790.00	834.00	858.00	853.00	848.00	830.00	787.00	718.00	611.00	858.00	611.00	769.73	0.79
		14.00	546.00	647.00	705.00	743.00	765.00	760.50	756.00	740.00	701.00	640.00	545.00	765.00	545.00	686.23	0.79
		16.00	317.00	375.00	409.00	431.00	443.00	440.50	438.00	429.00	407.00	371.00	316.00	443.00	316.00	397.86	0.79
	ค่าสูงสุด		755.00	895.00	975.00	1028.00	1057.00	1051.00	1045.00	1023.00	970.00	886.00	754.00	1057.00			
	ค่าต่ำสุด		235.00	279.00	303.00	320.00	329.00	327.00	325.00	318.00	302.00	276.00	235.00		235.00		
	ค่าเฉลี่ย		398.00	471.73	513.67	542.07	557.33	554.13	550.93	539.13	511.47	467.00	397.40			665.65	0.79

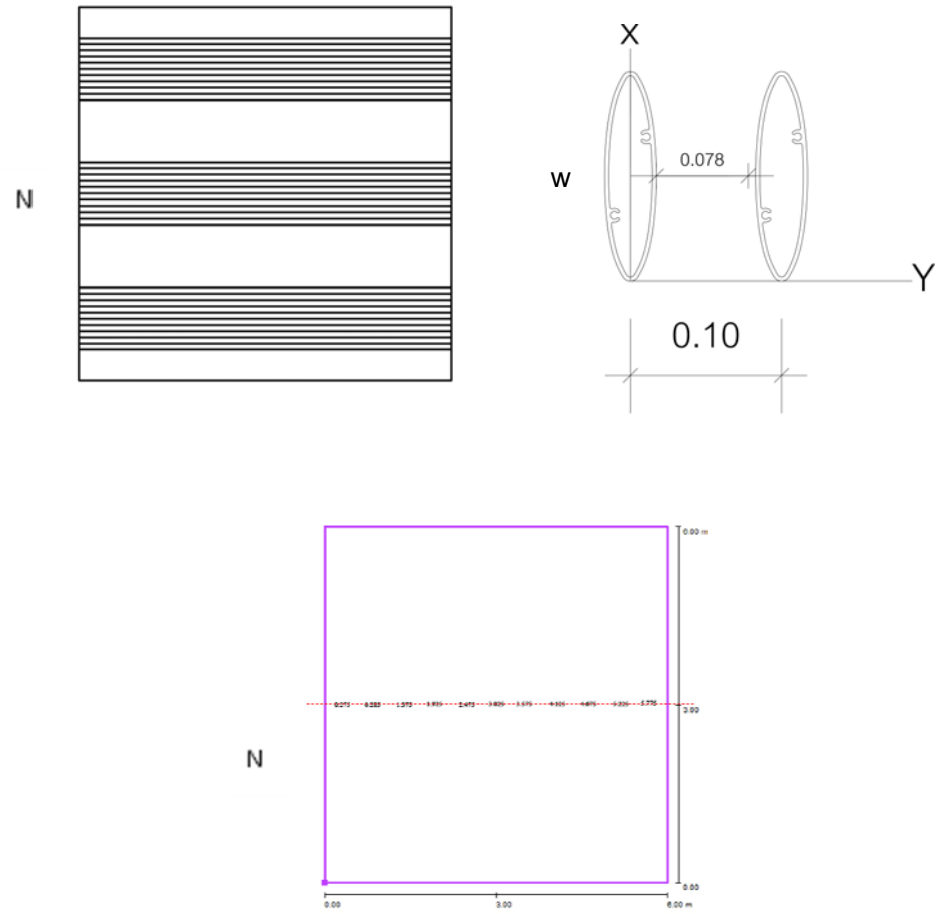
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 60 องศา





รูปที่ 4.22 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

- การทดลองที่ 17 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนวทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.23) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1184 ลักซ์ ที่จุด 3.025 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 263 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 753.75 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะอยู่บริเวณกึ่งกลางของห้อง (รูปที่4.24)



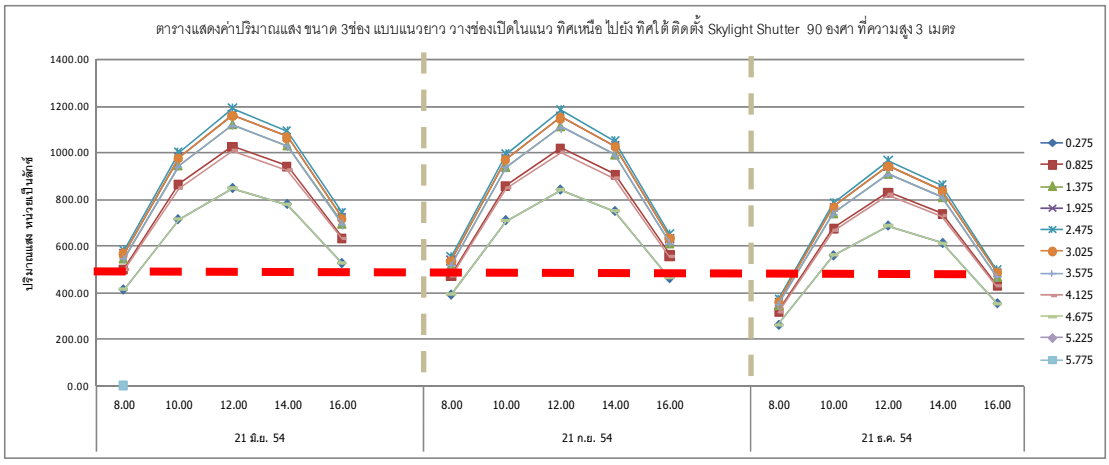
รูปที่ 4.23 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

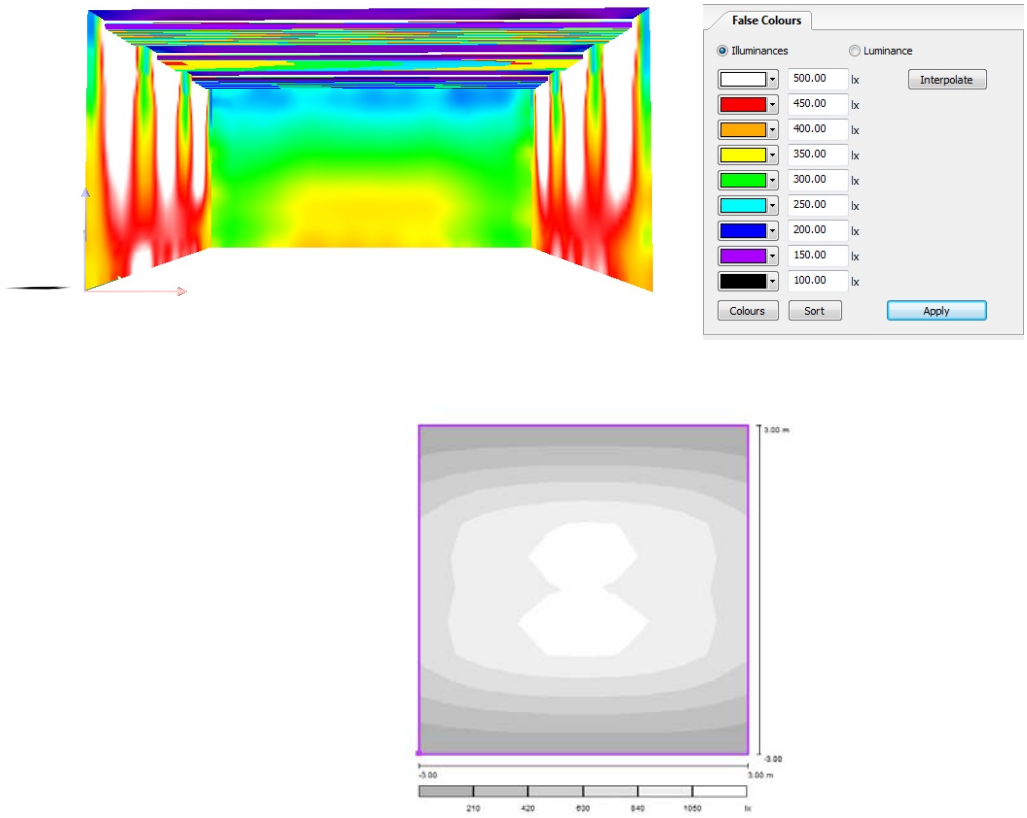
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา (รูปที่4.24) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.79 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.79 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.12 และแผนภูมิที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูง 3 เมตร																		
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่17 แบบจุดเปิดช่องเปิดด้านบน3 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	414.00	500.00	547.00	567.00	581.00	579.00	577.00	566.00	544.00	492.00	413.00	413.00	413.00	525.45	0.79
		10.00	713.00	862.00	943.00	977.00	1001.00	997.50	994.00	976.00	939.00	848.00	712.00	712.00	712.00	905.68	0.79
		12.00	846.00	1023.00	1118.00	1160.00	1188.00	1184.00	1180.00	1158.00	1114.00	1006.00	845.00	845.00	845.00	1074.73	0.79
		14.00	778.00	940.00	1028.00	1066.00	1092.00	1088.50	1085.00	1064.00	1024.00	925.00	776.00	776.00	776.00	987.86	0.79
		16.00	526.00	635.00	695.00	720.00	738.00	735.50	733.00	719.00	692.00	625.00	525.00	525.00	525.00	667.59	0.79
	21 ก.ย. 54	8.00	392.00	474.00	518.00	538.00	551.00	549.00	547.00	537.00	516.00	466.00	392.00	392.00	392.00	498.18	0.79
		10.00	709.00	856.00	936.00	971.00	995.00	991.50	988.00	970.00	933.00	842.00	707.00	707.00	707.00	899.86	0.79
		12.00	839.00	1014.00	1109.00	1150.00	1178.00	1174.00	1170.00	1148.00	1104.00	997.00	837.00	837.00	837.00	1065.45	0.79
		14.00	748.00	905.00	989.00	1026.00	1051.00	1047.50	1044.00	1025.00	986.00	890.00	748.00	748.00	748.00	950.86	0.79
		16.00	462.00	559.00	611.00	634.00	649.00	647.00	645.00	633.00	609.00	550.00	461.00	461.00	461.00	587.27	0.78
	21 ธ.ค. 54	8.00	263.00	318.00	348.00	361.00	370.00	368.50	367.00	360.00	347.00	313.00	263.00	263.00	263.00	334.41	0.79
		10.00	559.00	676.00	739.00	766.00	785.00	782.00	779.00	765.00	736.00	664.00	558.00	558.00	558.00	709.91	0.79
		12.00	686.00	829.00	907.00	940.00	964.00	960.50	957.00	939.00	903.00	816.00	685.00	685.00	685.00	871.50	0.79
		14.00	612.00	739.00	808.00	838.00	859.00	856.00	853.00	837.00	805.00	727.00	611.00	611.00	611.00	776.82	0.79
		16.00	355.00	429.00	469.00	486.00	498.00	496.50	495.00	485.00	467.00	422.00	354.00	354.00	354.00	450.59	0.79
	ค่าสูงสุด		846.00	1023.00	1118.00	1160.00	1188.00	1184.00	1180.00	1158.00	1114.00	1006.00	845.00	422.50			
	ค่าต่ำสุด		263.00	318.00	348.00	361.00	370.00	368.50	367.00	360.00	347.00	313.00	263.00		263.00		
	ค่าเฉลี่ย		593.47	717.27	784.33	813.33	833.33	830.47	827.60	812.13	781.27	705.53	592.47			753.75	0.79

แผนภูมิที่ 4.12 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา



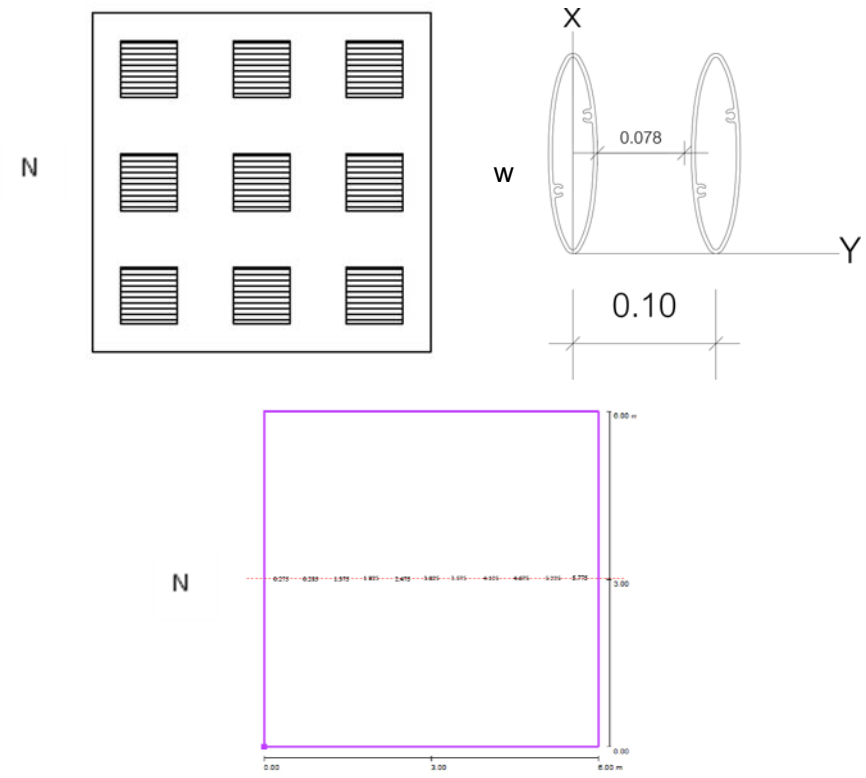


รูปที่ 4.24 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

4.1.2 วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงทางด้าน ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้น ของการทดลองกลุ่มที่ 1 ชุดการทดลองที่ 1-17 ที่มีห้องความสูง 6 เมตร มีรายละเอียดดังนี้

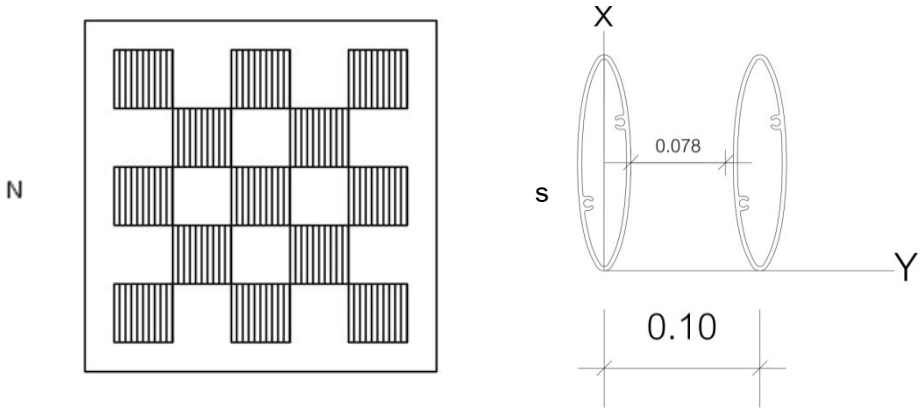
- เมื่อจำนวนช่องเปิด เพิ่มมากขึ้น ปริมาณของแสงจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนช่อง เปิด แต่ในขณะเดียว ค่าความสม่ำเสมอของแสง ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนช่องเปิดดังจะเห็นได้ว่า

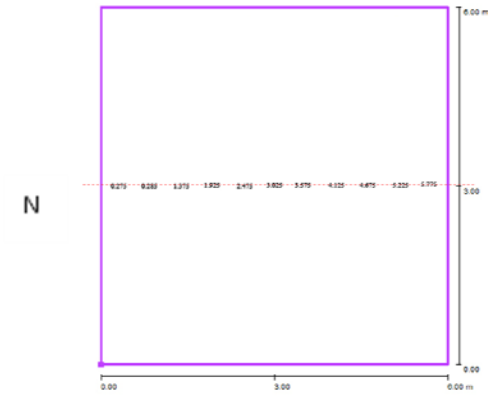
จำนวนช่องเปิดแบบจุด 9 ช่องเปิด ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา(รูปที่25) ปริมาณแสงสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 545 ลักซ์ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 404.34 ลักซ์(ไม่ผ่านเกณฑ์พิจารณาที่500ลักซ์ ตามค่าความส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย)ประสิทิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงแสง โดยเฉลี่ยทั้งปี 0.79



รูปที่ 4.25 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 9 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

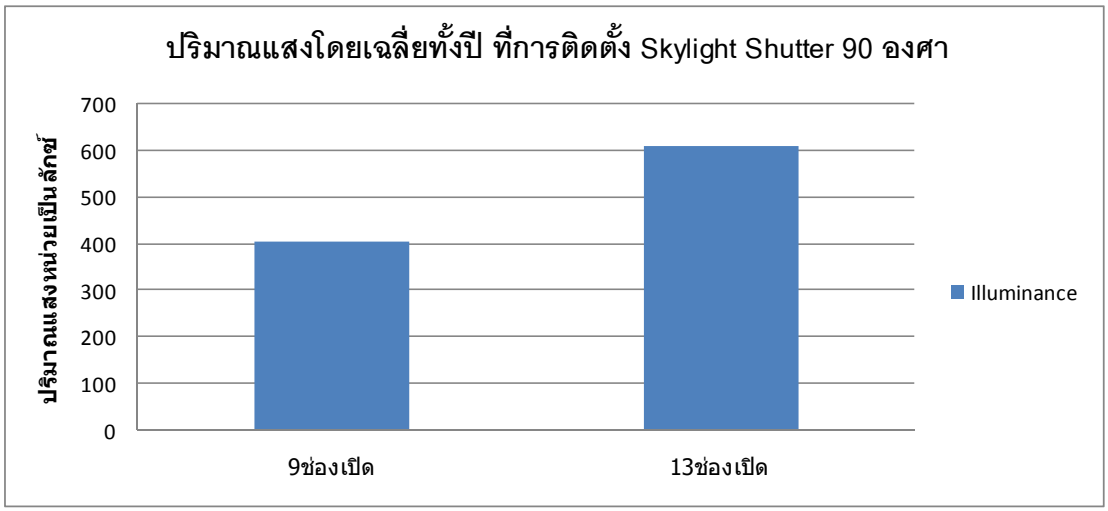
จำนวนวนช่องเปิดแบบจุด 13 ช่องเปิด ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่26) ปริมาณแสงสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1052 ลักซ์ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 611.47 ลักซ์(ผ่านเกณฑ์พิจารณาที่500ลักซ์ ตามค่าความส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย)ประสิทิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงแสง โดยเฉลี่ยทั้งปี 0.68



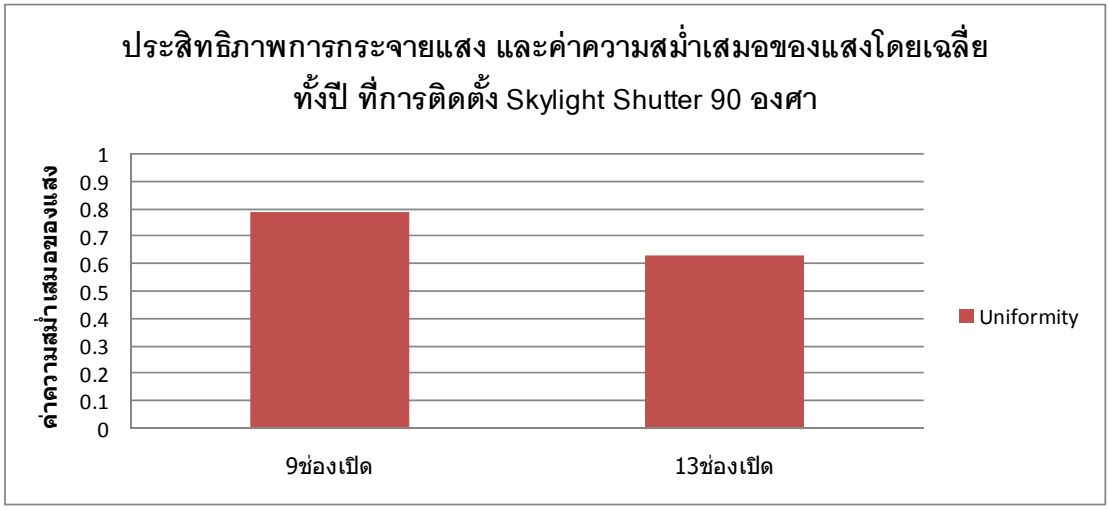


รูปที่ 4.26 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

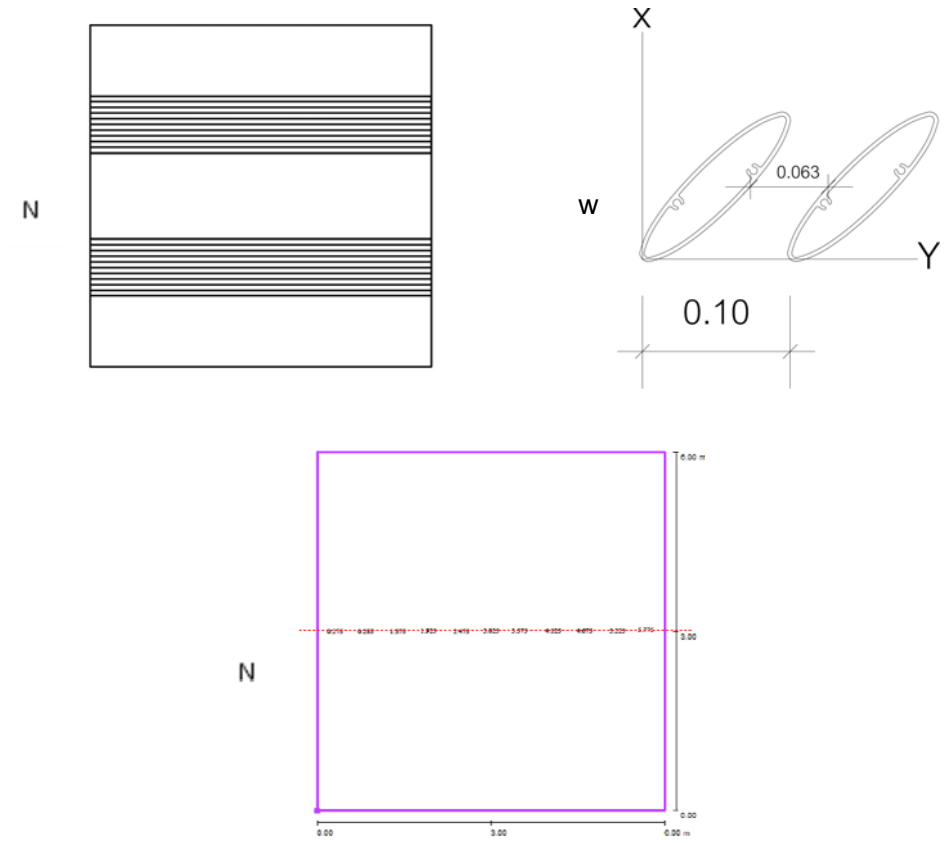
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 9 ช่องเปิด และ 13 ช่องเปิด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 9 ช่องเปิด และ 13 ช่องเปิด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

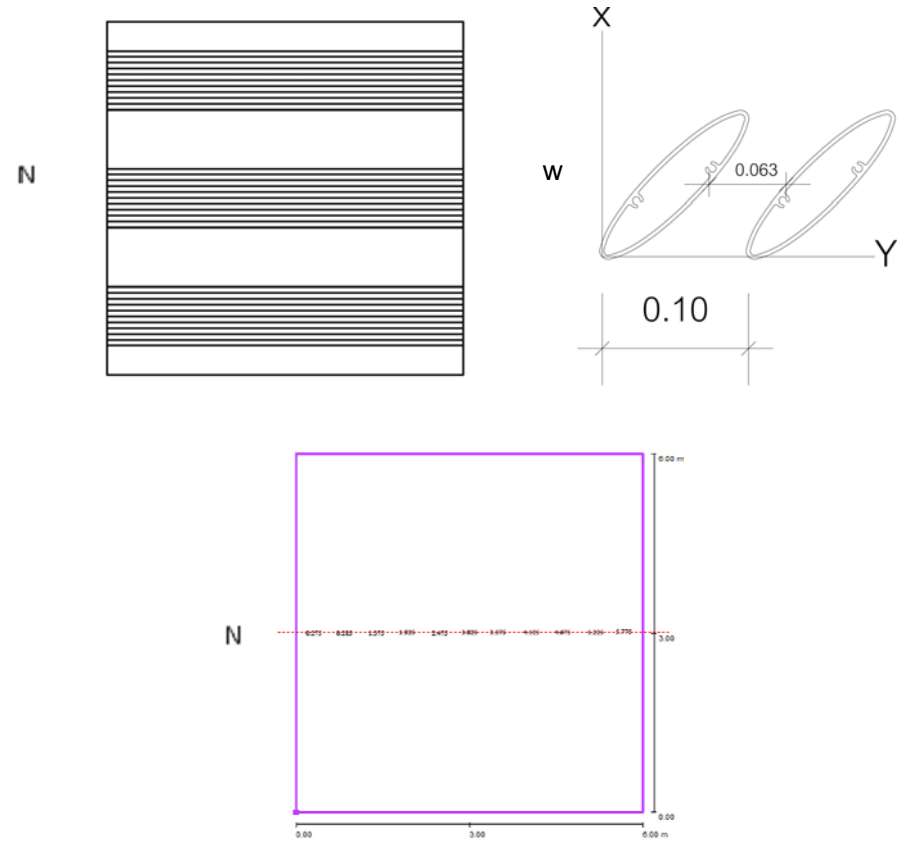


จำนวนวช่องเปิด 2 ช่องเปิดแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา (รูปที่27) ปริมาณแสงสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 886 ลักซ์ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 564.37 ลักซ์ (ผ่านเกณฑ์พิจารณาที่500ลักซ์ ตามค่าความส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย) ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงแสง โดยเฉลี่ยทั้งปี 0.78



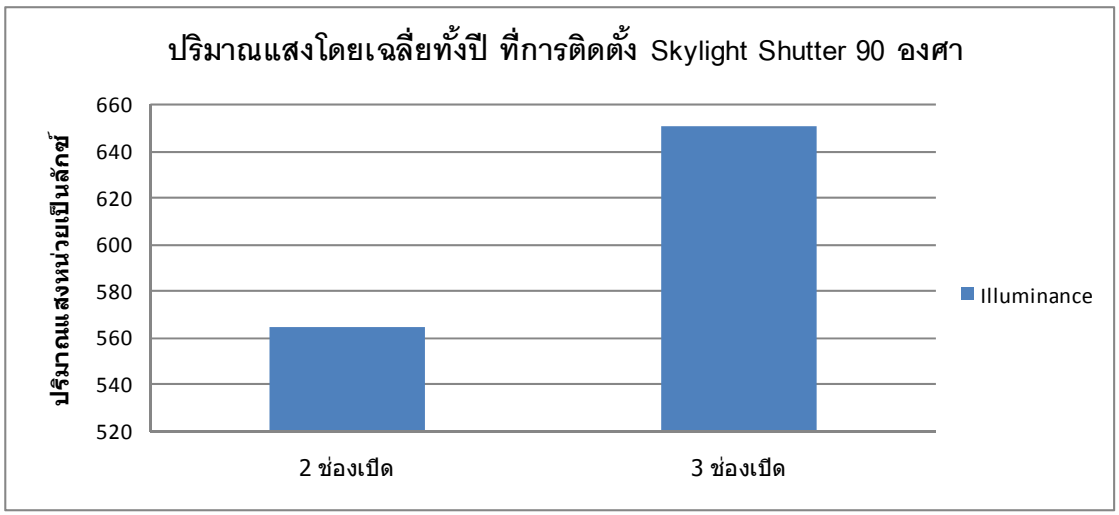
รูปที่ 4.27 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 2 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

จำนวนวนช่องเปิด 3 ช่องเปิดแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา (รูปที่28) ปริมาณแสงสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 863 ลักซ์ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 650.11 ลักซ์ (ผ่านเกณฑ์พิจารณาที่ 500 ลักซ์ ตามค่าความส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย) ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง โดยเฉลี่ยทั้งปี 0.78

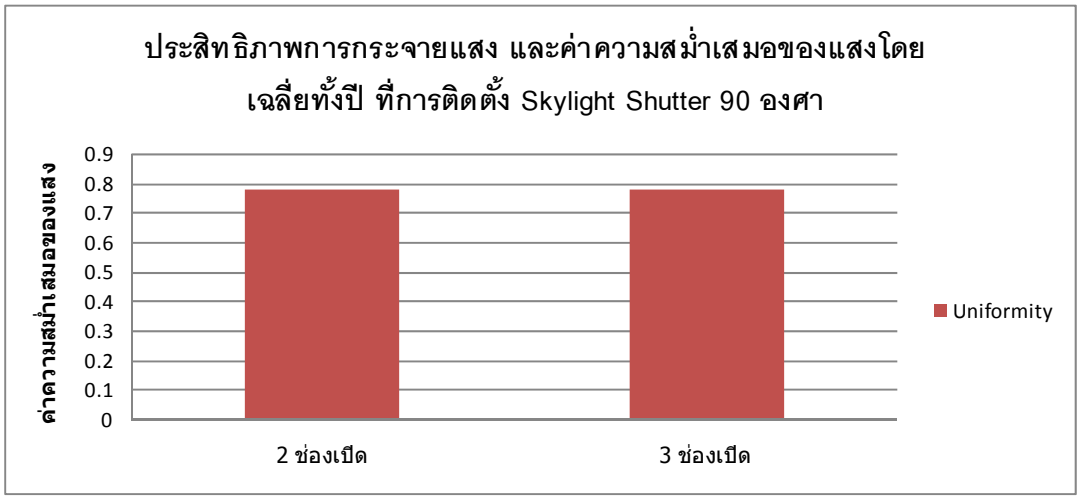


รูปที่ 4.28 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 2 ช่องเปิดแบบแนวยาว และ 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา



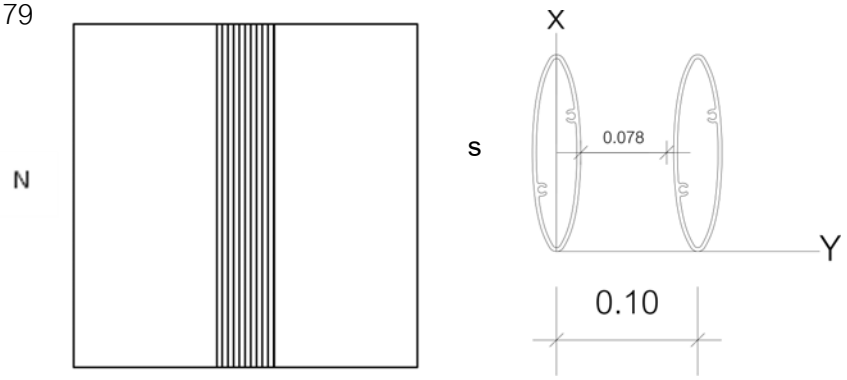
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 2 ช่องเปิดแนวยาว และ 3 ช่องเปิดแนวยาว ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

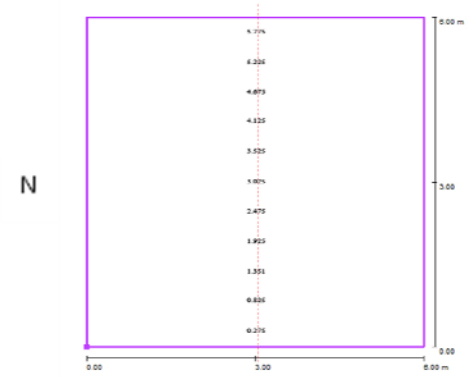


จากที่ กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนช่องเปิดเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแสงก็จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนช่องเปิด แต่ในขณะเดียวกัน ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนช่องเปิด ดังจะเห็นได้ใน แผนภูมิเปรียบเทียบที่ แผนภูมิ 4.15 และ แผนภูมิ 4.16

- ทิศทางการวางช่องเปิดตามแนวแกน ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ มีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ดังจะเห็นได้ต่อไปนี้

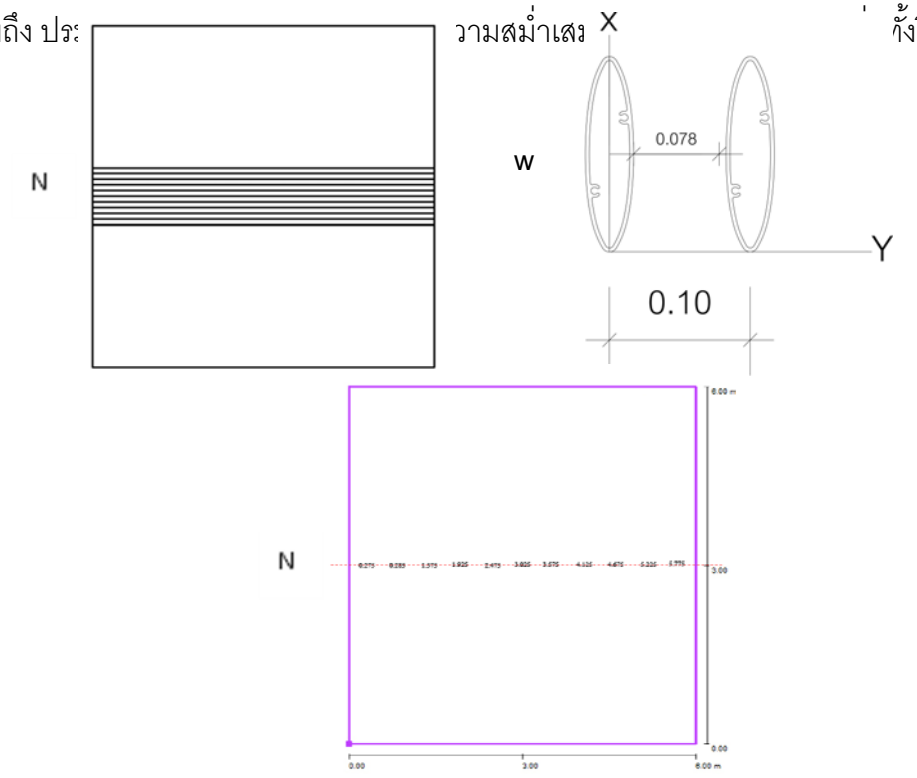
จำนวน 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนวทิศตะวันออก ไปยัง ทิศตะวันตก ขนานกับพื้นห้อง ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 (รูปที่4.29) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1011 ลักซ์ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 639.82 ลักซ์ รวมถึง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงสูงสุด โดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่า 0.79





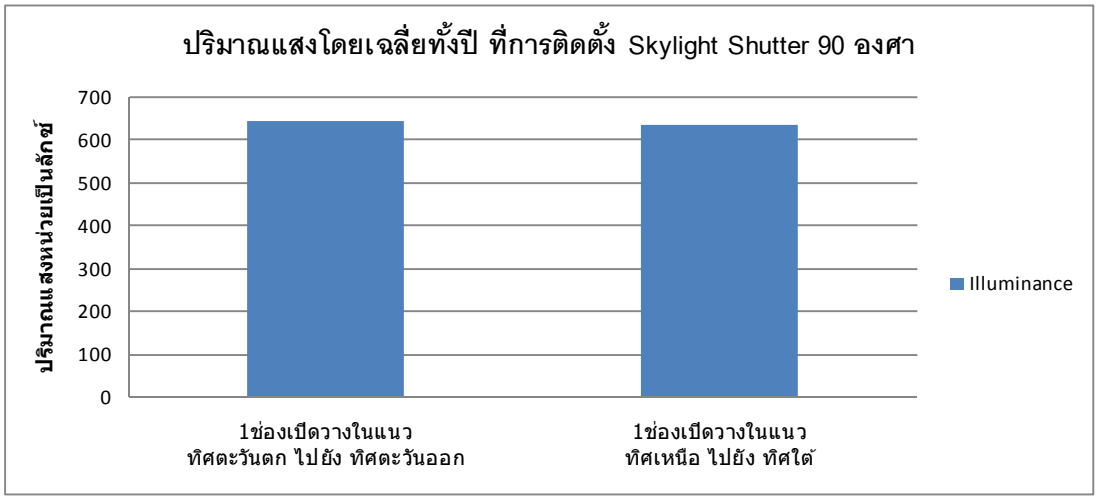
รูปที่ 4.29 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

จำนวน 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ขนานกับพื้นห้อง ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 (รูปที่4.30) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคาร สูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 1002 ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 633.17 ลักษ์ รวมถึง ประ วามสม่ำเสม ทั้งปีมีค่า 0.78

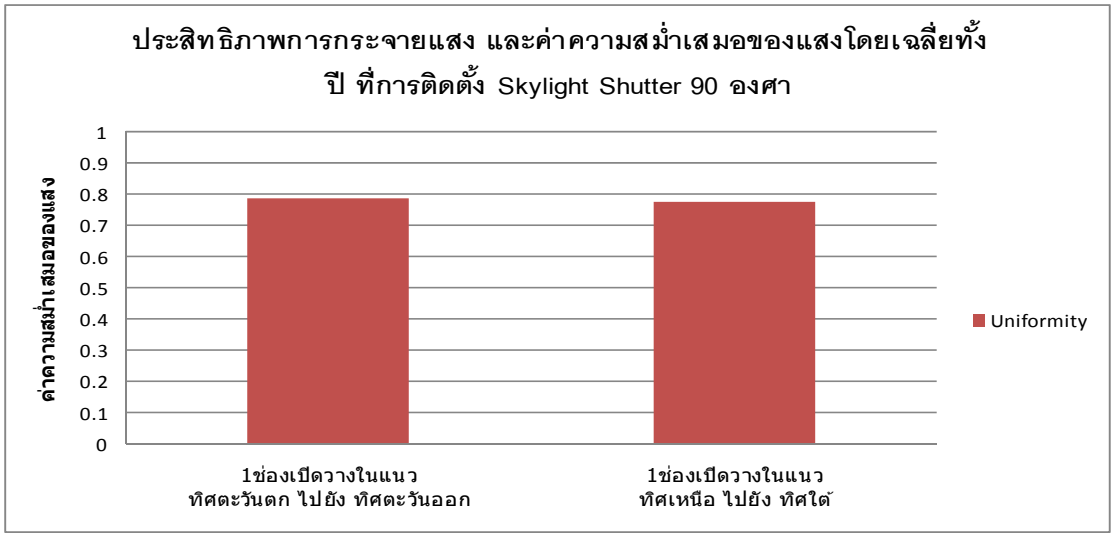


รูปที่ 4.30 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

แผนภูมิที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา



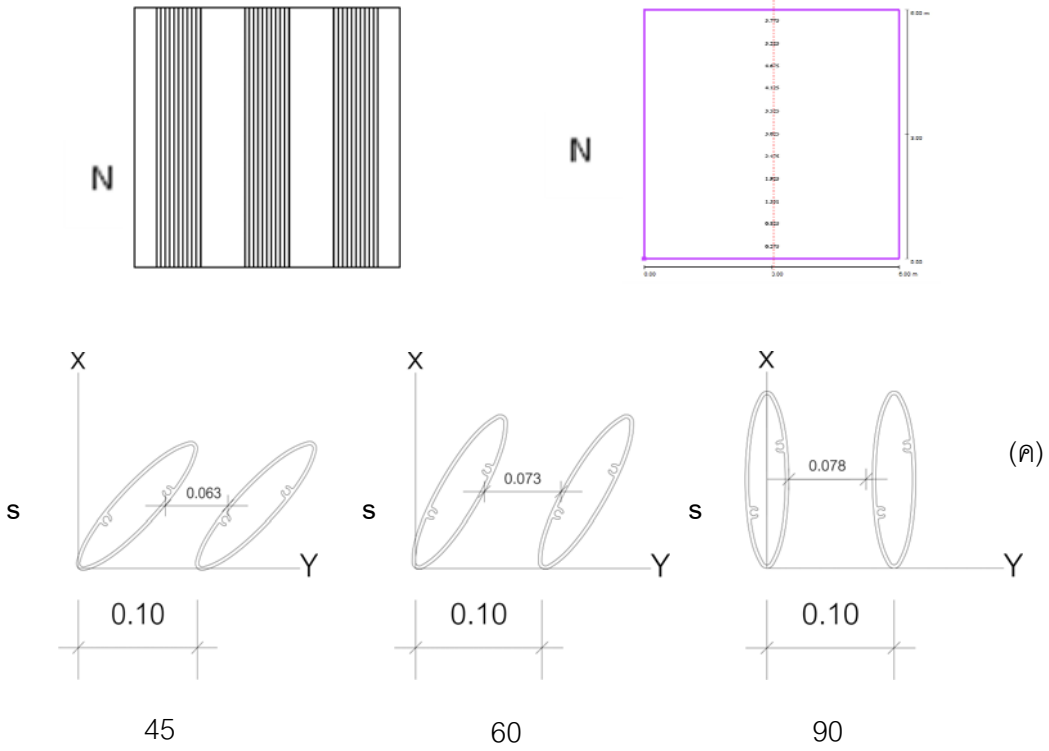
แผนภูมิที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา



จากที่ กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การวางช่องเปิดในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก มีปริมาณแสงที่ไม่แตกต่างกันมาก หากแต่ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงของ ในการวางช่องเปิดแนว ทิศตะวันตก ไปยังทิศตะวันออก มีประสิทธิภาพการ

กระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับ การวางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ดังจะเห็นได้ใน แผนภูมิเปรียบเทียบที่ แผนภูมิ 4.17 และแผนภูมิ 4.18

- องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter มีผลต่อปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง โดยเห็นได้จาก การเปรียบเทียบที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 60 และ 90 องศา จำนวน 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว ช่องเปิดวางในแนว ทิศตะวันออก ไปยัง ทิศตะวันตก (รูปที่4.31) โดยรายละเอียดมีดังนี้



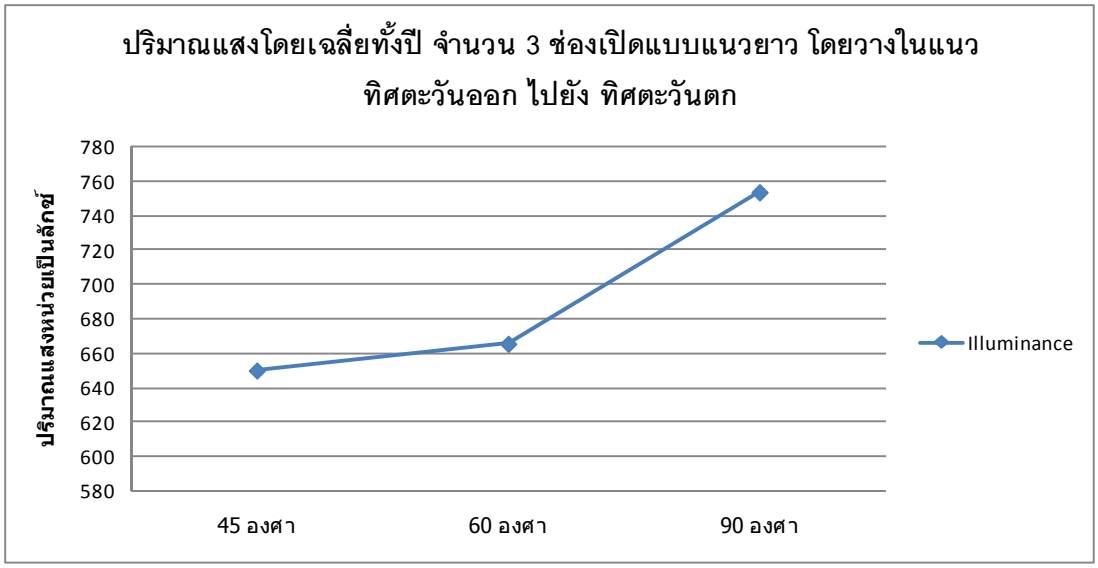
รูปที่ 4.31 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 60 องศา และ90 องศา

(ก) ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ขนานกับพื้นห้อง

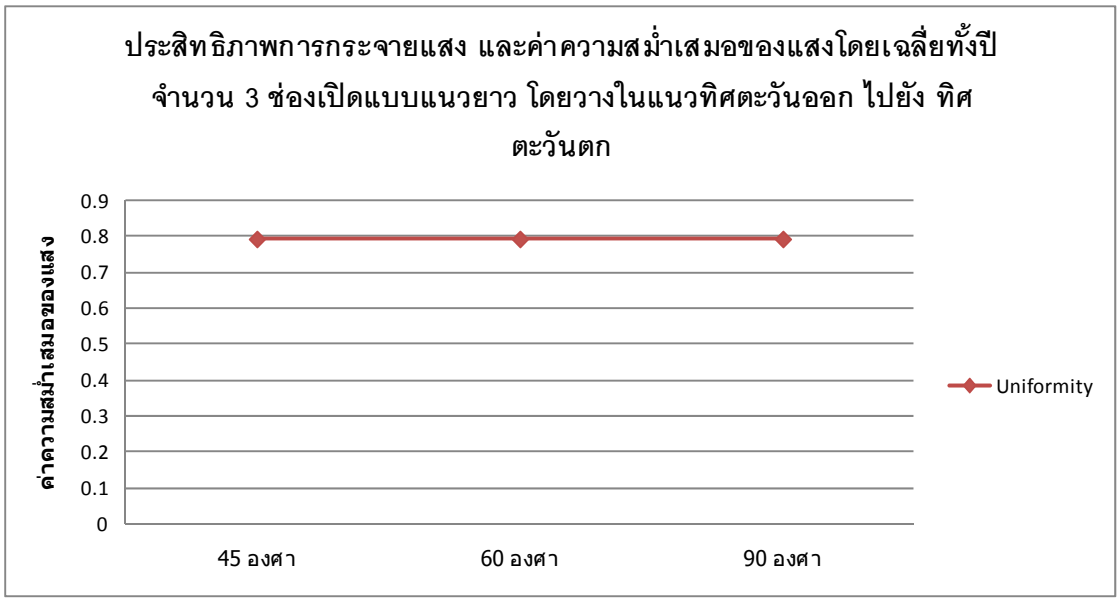
(ข) ผังพื้นแสดงจุดที่กำหนดวัดปริมาณแสง 11 จุด ในแนว เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูง 0.75 เมตร

(ค) ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 60 องศา และ90 องศา

แผนภูมิที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบ ปริมาณแสง จำนวน 3 ช่องเปิด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 60 องศา และ90 องศา



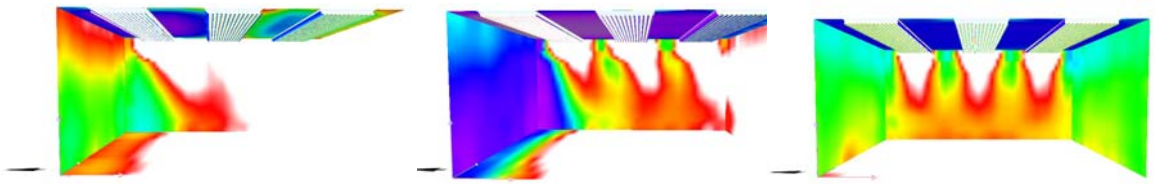
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง จำนวน 3 ช่องเปิด วางในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา 60 องศา และ90 องศา



จากที่ กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เมื่อ องศาเอียงเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแสงจะเพิ่มมากขึ้นตามความเอียงขององศาที่ติดตั้ง โดยจะเห็นได้จาก ยิ่งติดตั้งใกล้ระยะตั้งฉากมากเท่าไหร่ หรือ ใกล้ระยะ 90 องศามากเท่าไหร่ ปริมาณแสงก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามขนาดความเอียงขององศาที่ติดตั้ง แต่ในขณะเดียวกัน ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงก็ไม่ได้เพิ่มขึ้น ตามขนาดความเอียงขององศาที่ติดตั้ง ดังจะเห็นได้ใน แผนภูมิเปรียบเทียบที่แผนภูมิ 4.17 และ แผนภูมิ 4.18

- องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter มีผลต่อทิศทางปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่เข้ามาภายในห้องจำลอง โดยเห็นได้จาก การเปรียบเทียบที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 60 และ 90 องศา จำนวน 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว ช่องเปิดวางในแนว ทิศตะวันออก ไปยัง ทิศตะวันตก (รูปที่4.31) โดยรายละเอียดมีดังนี้

จากรูปที่ 32 จะเห็นได้ว่า ที่ 45 องศา และ 60 องศา ปริมาณของแสงสูงสุดจะค่อนไปทางผนังด้านทิศใต้ ส่วนที่ 90 องศา ปริมาณแสงจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของห้องจำลอง



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.32 แสดง ลักษณะทิศทางของปริมาณแสงสูงสุดที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 60 และ 90 องศา จำนวน 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว ช่องเปิดวางในแนว ทิศตะวันออก ไปยัง ทิศตะวันตก

(ก) รูปตัดภายในแสดงทิศทางของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

(ข) รูปตัดภายในแสดงทิศทางของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

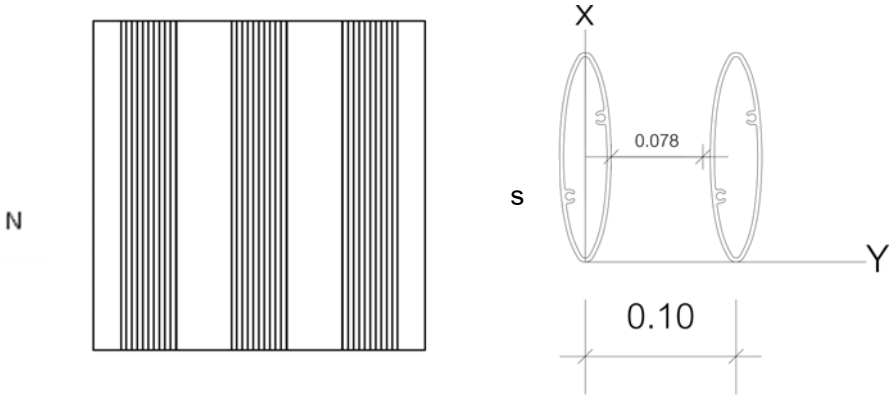
(ค) รูปตัดภายในแสดงทิศทางของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

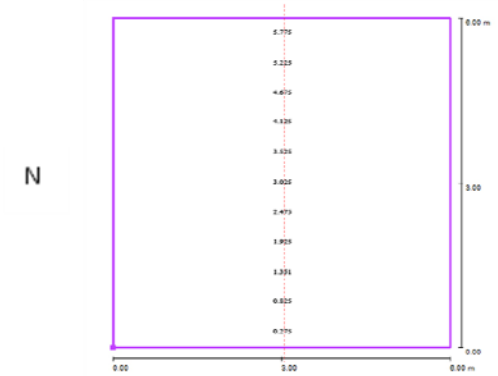
- ปริมาณแสงสูงสุด จะอยู่ที่ช่วงเดือนมิถุนายน ช่วงเวลา 12 .00 เนื่องจากเดือนมิถุนายนเป็นเดือนที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด โดยโลกจะหันซีกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน หรือโซลส์ติกส์ฤดูร้อน (Summer solstice) ณ ตำแหน่งนี้กลางวันของซีกโลกเหนือจะยาวที่สุดส่วน ปริมาณแสงน้อยที่สุดจะอยู่ช่วงเดือนธันวาคม เนื่องจาก

โลกจะหันซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม หรือโซลส์สติกส์ฤดูหนาว (Winter solstice) ดังนั้นการเกิดฤดูกาลจึงเป็นผลมาจากการที่แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยะวิถี (เสริม จันทร์ฉาย, 2547)

4.1.3 กลุ่มที่ 2 ชุดการทดลองที่ 18-34 ที่มีความสูงห้อง 6 เมตร ทำการทดลอง ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ 90 องศา ที่ขนาดห้อง กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 6 เมตร ช่องเปิดแบบจุด ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และแบบแนวยาว ที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร ซึ่งการทดลอง ของกลุ่มที่ 2 ชุดการทดลองที่ 18-34 นี้ ผู้วิจัย พิจารณาเฉพาะ การติดตั้ง Skylight Shutter ที่มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่าง ตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป โดยรายละเอียดของการทดลองมีดังนี้

- การทดลองที่ 33 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.24) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 779 ลักซ์ ที่จุด 3.025 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 90 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 505.67 ลักซ์ รวมถึง ทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะอยู่บริเวณระยะกึ่งกลางของห้อง (รูปที่4.33)





รูปที่ 4.33 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

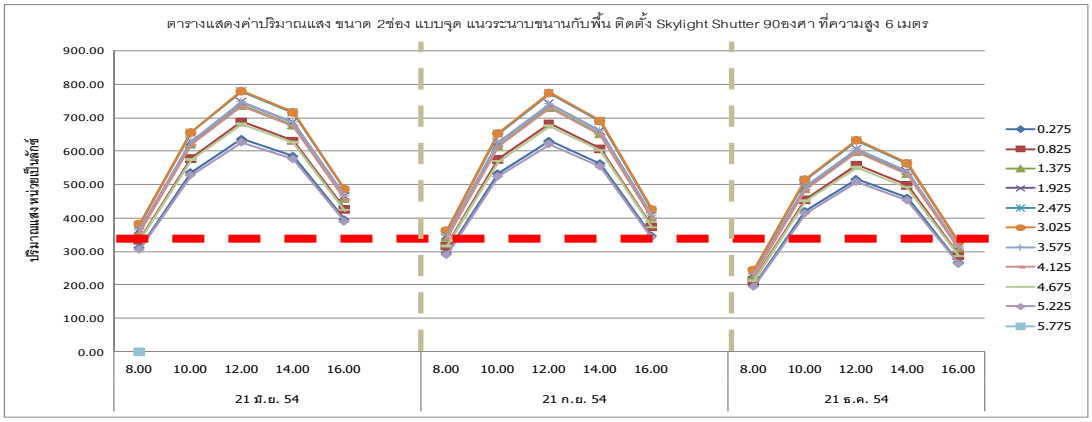
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.34) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.88 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.88 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.12 และแผนภูมิที่ 4.21

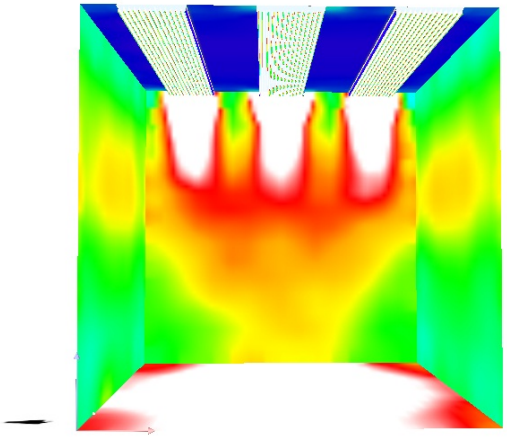
ตารางที่ 4.12 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา

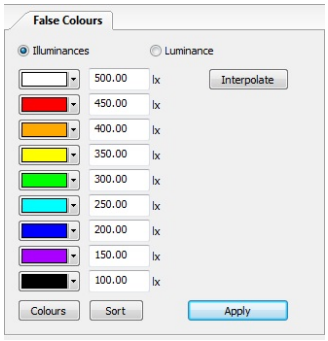
ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ความสูง 6 เมตร

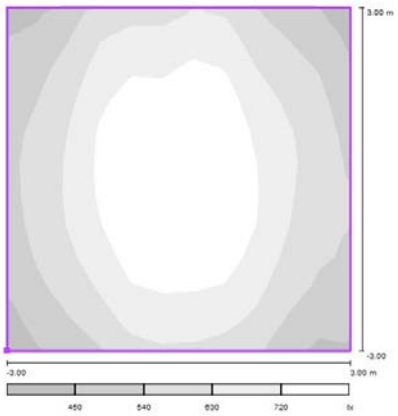
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											**ปริมาณแสง**			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
กรณีออกแบบช่องแสงแนวยาว เปิดช่องเปิดด้านแนน 3 ช่อง	21 มิ.ย. 54	8.00	311.00	335.00	360.00	365.00	380.00	381.00	381.00	365.00	358.00	333.00	306.00	381.00	311.00	**352.27**	0.88
		10.00	536.00	579.00	621.00	629.00	656.00	657.00	657.00	629.00	618.00	574.00	528.00	657.00	536.00	**607.64**	0.88
		12.00	636.00	687.00	737.00	746.00	778.00	779.00	780.00	747.00	734.00	681.00	626.00	779.00	636.00	**721.00**	0.88
		14.00	585.00	631.00	678.00	686.00	715.00	717.00	717.00	687.00	675.00	626.00	576.00	717.00	585.00	**663.00**	0.88
		16.00	395.00	427.00	458.00	464.00	483.00	484.00	485.00	464.00	456.00	423.00	389.00	484.00	395.00	**448.00**	0.88
	21 ก.ย. 54	8.00	295.00	318.00	342.00	346.00	361.00	361.00	362.00	346.00	340.00	316.00	290.00	361.00	295.00	**334.27**	0.88
		10.00	533.00	575.00	617.00	625.00	651.00	653.00	653.00	625.00	614.00	570.00	524.00	653.00	533.00	**603.64**	0.88
		12.00	630.00	681.00	730.00	740.00	771.00	772.00	773.00	740.00	727.00	675.00	621.00	772.00	630.00	**714.55**	0.88
		14.00	563.00	607.00	652.00	660.00	688.00	689.00	690.00	661.00	649.00	602.00	554.00	689.00	563.00	**637.73**	0.88
		16.00	347.00	375.00	402.00	407.00	424.00	425.00	426.00	408.00	400.00	372.00	342.00	425.00	347.00	**393.45**	0.88
	21 ธ.ค. 54	8.00	198.00	214.00	229.00	232.00	242.00	243.00	243.00	232.00	228.00	212.00	195.00	243.00	198.00	**224.36**	0.88
		10.00	420.00	454.00	487.00	493.00	514.00	515.00	515.00	493.00	485.00	450.00	414.00	515.00	420.00	**476.36**	0.88
		12.00	516.00	557.00	598.00	605.00	631.00	632.00	633.00	606.00	595.00	552.00	508.00	632.00	516.00	**584.82**	0.88
		14.00	460.00	497.00	533.00	540.00	562.00	564.00	564.00	540.00	531.00	492.00	453.00	564.00	460.00	**521.45**	0.88
		16.00	267.00	288.00	309.00	313.00	326.00	327.00	327.00	313.00	308.00	286.00	263.00	327.00	267.00	**302.45**	0.88
	ค่าสูงสุด		636.00	687.00	737.00	746.00	778.00	779.00	780.00	747.00	734.00	681.00	626.00	779.00			
	ค่าต่ำสุด		198.00	214.00	229.00	232.00	242.00	243.00	243.00	232.00	228.00	212.00	195.00		198.00		
	ค่าเฉลี่ย		446.13	481.67	516.87	523.40	545.47	546.60	547.07	523.73	514.53	477.60	439.27			505.67	0.88

แผนภูมิที่ 4.21แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา



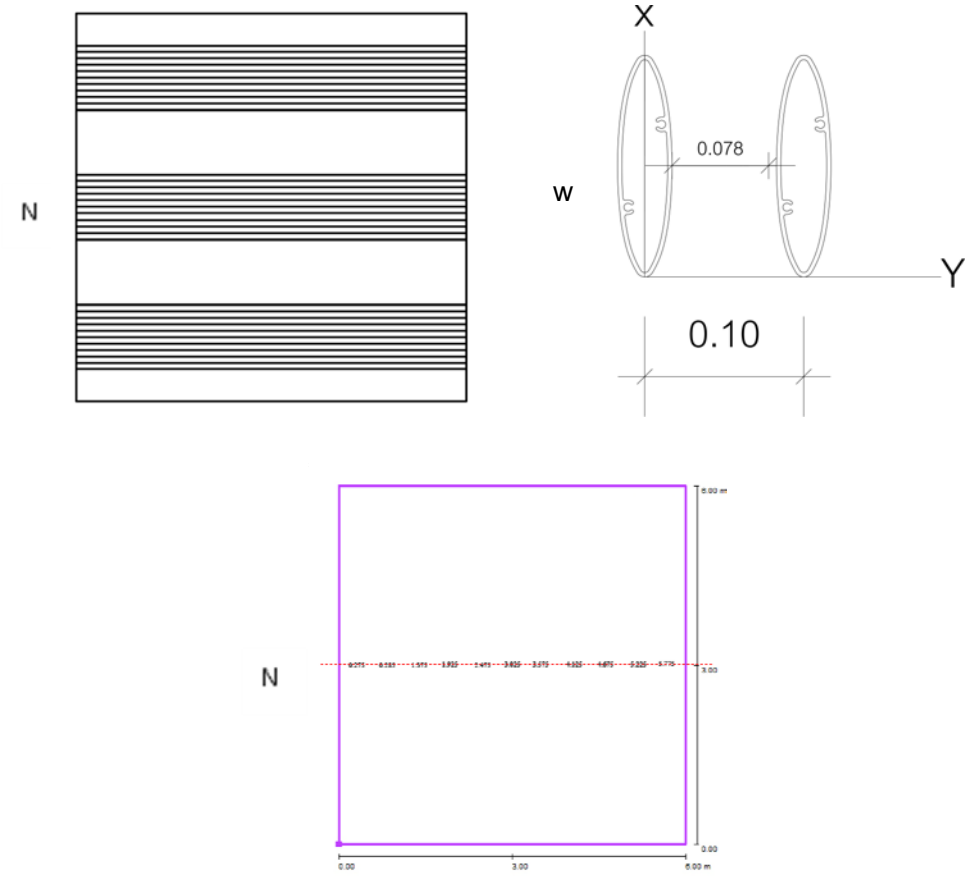






รูปที่ 4.34 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

- การทดลองที่ 34 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.35) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 787 ลักซ์ ที่จุด 3.025 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 195 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 511.73 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะอยู่บริเวณระยะกึ่งกลางของห้อง (รูปที่ 4.27)



รูปที่ 4.35 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

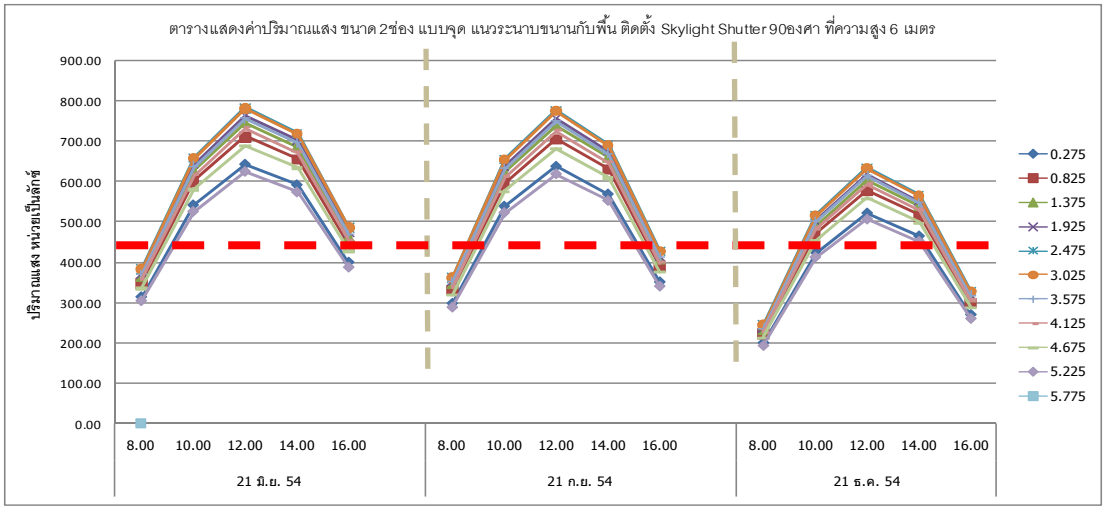
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.27) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.86 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.86 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.12 และแผนภูมิที่ 4.22

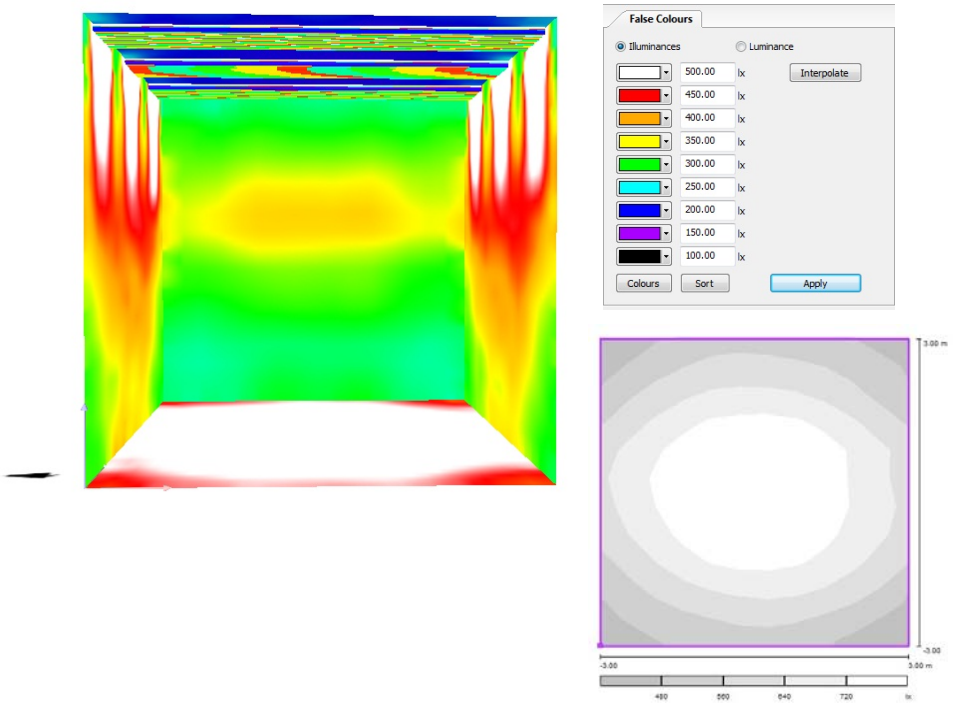
ตารางที่ 4.12 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิด ในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ความสูง 6 เมตร

ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
กราฟแสดงที่34 แนวจุดเปิดช่องแรกให้ค่าแสงสูงสุดและช่องสุดท้ายให้ค่าแสงต่ำสุด ช่องที่อยู่ตรงกลางให้ค่าแสงเฉลี่ย	21 มิ.ย. 54	8.00	314.00	348.00	364.00	374.00	383.00	384.00	382.00	370.00	358.00	337.00	306.00	384.00	306.00	356.36	0.86
		10.00	542.00	601.00	628.00	645.00	661.00	663.00	659.00	639.00	617.00	582.00	527.00	663.00	527.00	614.91	0.86
		12.00	643.00	713.00	745.00	765.00	784.00	787.00	782.00	758.00	733.00	690.00	626.00	787.00	626.00	729.64	0.86
		14.00	592.00	656.00	685.00	703.00	721.00	723.00	719.00	697.00	674.00	635.00	575.00	723.00	575.00	670.91	0.86
		16.00	400.00	443.00	463.00	475.00	487.00	489.00	486.00	471.00	455.00	429.00	389.00	489.00	389.00	453.36	0.86
	21 ก.ย. 54	8.00	298.00	331.00	346.00	355.00	363.00	365.00	362.00	352.00	340.00	320.00	290.00	365.00	290.00	338.36	0.86
		10.00	539.00	597.00	624.00	640.00	656.00	659.00	654.00	635.00	613.00	578.00	524.00	659.00	524.00	610.82	0.86
		12.00	638.00	707.00	739.00	758.00	777.00	780.00	775.00	751.00	726.00	684.00	620.00	780.00	620.00	723.18	0.86
		14.00	569.00	631.00	659.00	677.00	693.00	696.00	691.00	671.00	648.00	611.00	554.00	696.00	554.00	645.45	0.86
		16.00	351.00	389.00	407.00	417.00	428.00	429.00	427.00	414.00	400.00	377.00	342.00	429.00	342.00	398.27	0.86
	21 ธ.ค. 54	8.00	200.00	222.00	232.00	238.00	244.00	245.00	243.00	236.00	228.00	215.00	195.00	245.00	195.00	227.09	0.86
		10.00	425.00	471.00	492.00	505.00	518.00	520.00	516.00	501.00	484.00	456.00	414.00	520.00	414.00	482.00	0.86
		12.00	522.00	579.00	604.00	620.00	636.00	638.00	634.00	615.00	594.00	560.00	508.00	638.00	508.00	591.82	0.86
		14.00	465.00	516.00	539.00	553.00	567.00	569.00	565.00	548.00	530.00	499.00	453.00	569.00	453.00	527.64	0.86
		16.00	270.00	299.00	313.00	321.00	329.00	330.00	328.00	318.00	307.00	290.00	262.00	330.00	262.00	306.09	0.86
	ค่าสูงสุด		643.00	713.00	745.00	765.00	784.00	787.00	782.00	758.00	733.00	690.00	626.00	787.00			
	ค่าต่ำสุด		200.00	222.00	232.00	238.00	244.00	245.00	243.00	236.00	228.00	215.00	195.00		195.00		
	ค่าเฉลี่ย		451.20	500.20	522.67	536.40	549.80	551.80	548.20	531.73	513.80	484.20	439.00			511.73	0.86

แผนภูมิที่ 4.22 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา





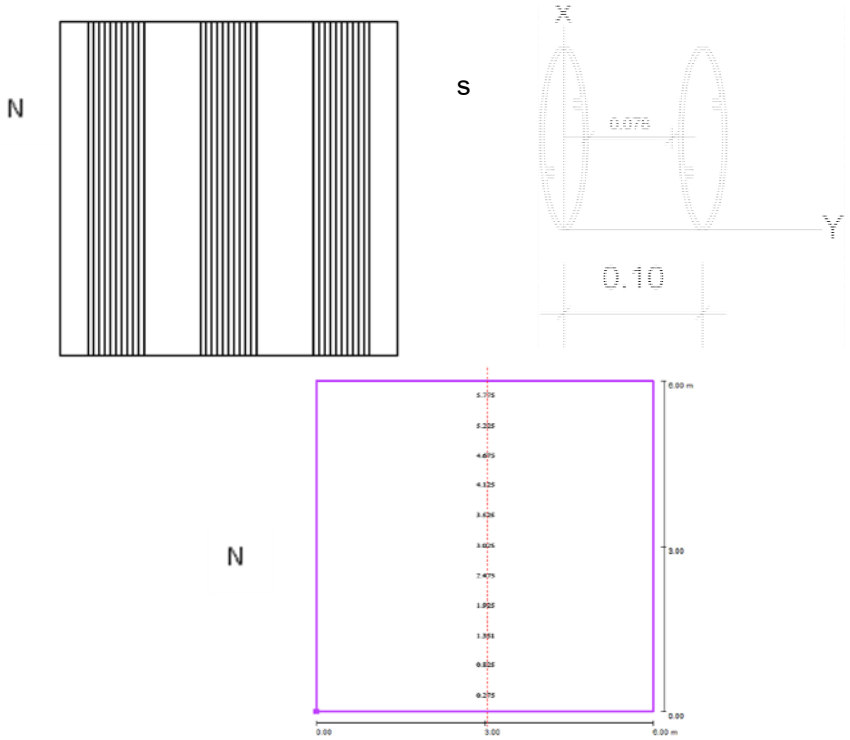
รูปที่ 4.36 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

4.1.3 วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงทางด้าน ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้น ของการทดลองกลุ่มที่ 2 ชุดการทดลองที่ 18 - 34 ที่มีความสูงห้อง 6 เมตร โดยรายละเอียดมีดังนี้

- ทิศทางการวางช่องเปิดตามแนวแกน ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ มีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ดังจะเห็นได้ต่อไปนี้

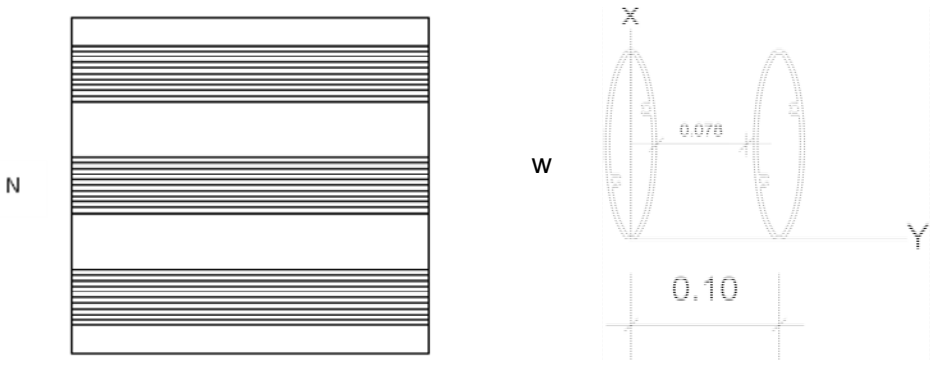
จำนวน 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ขนานกับพื้นห้อง ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 (รูปที่4.29) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุด

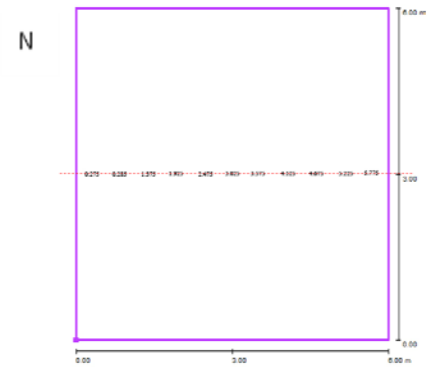
มีค่าความส่องสว่าง 779 ลักซ์ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 505.67 ลักซ์โรวมถึงประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงสูงสุด โดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่า 0.88



รูปที่ 4.37 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

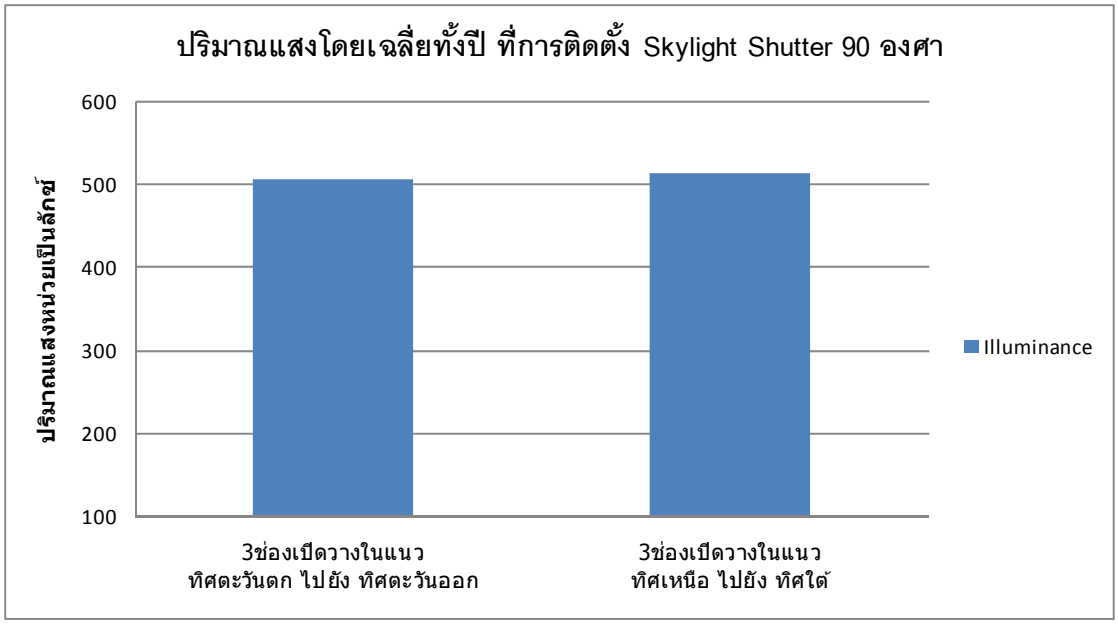
จำนวน 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันออก ไปยัง ทิศตะวันตก ขนานกับพื้นห้อง ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 (รูปที่4.38) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคาร สูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 787 ลักซ์ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 511.73 ลักซ์ รวมถึง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงสูงสุด โดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่า 0.86



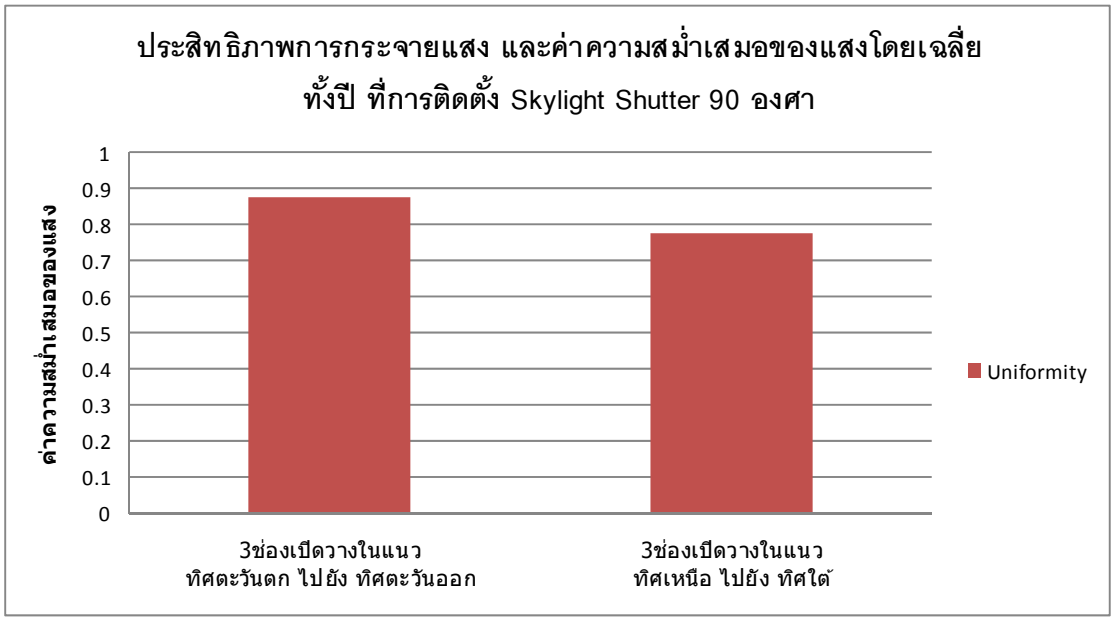


รูปที่ 4.38 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

แผนภูมิที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา



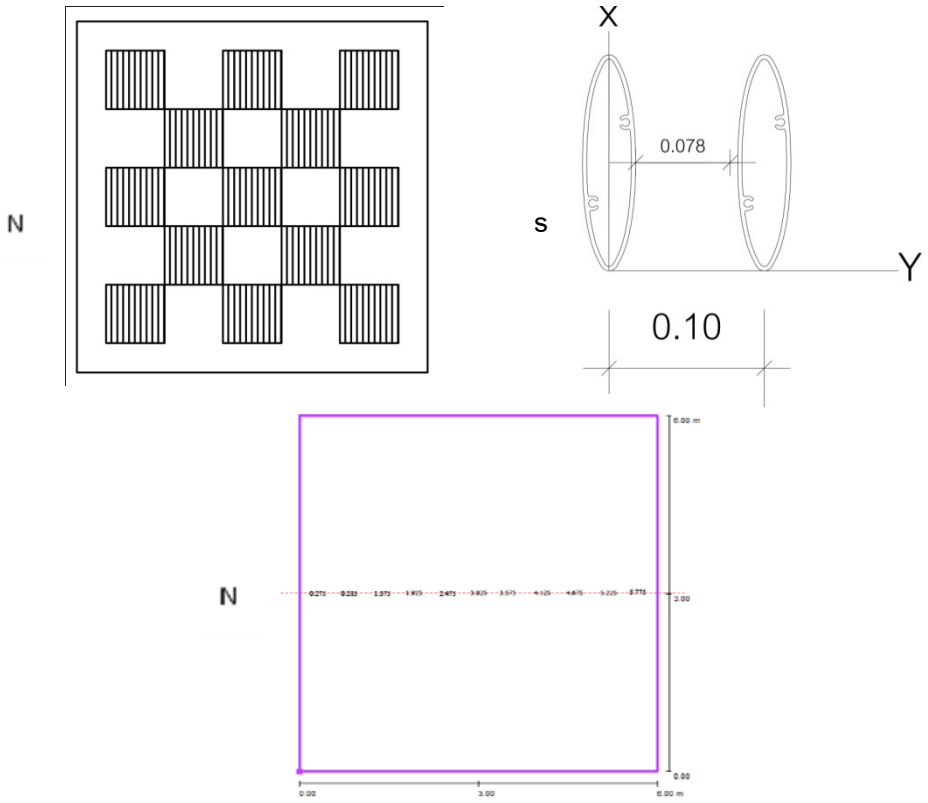
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง จำนวน 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 1 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา



จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การวางช่องเปิดในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ มีปริมาณแสงมากกว่า เมื่อเทียบกับการวางช่องเปิดในแนว ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก แต่ในขณะเดียวกัน การวางช่องเปิดในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง ที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับ การวางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยังทิศใต้ ดังจะเห็นได้ในแผนภูมิที่ 23 และแผนภูมิที่ 24

4.1.5 **กลุ่มที่ 3 ชุดการทดลองที่** 35 - 51 **ที่มีห้องความสูง9 เมตร** ทำการทดลอง ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ 90 องศา ที่ขนาดห้อง กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 9 เมตร ช่องเปิดแบบจุด ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และช่องเปิดแบบแนวยาว ที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร ในการทดลองของกลุ่มที่ 3 นี้ พบว่า ปริมาณของแสงไม่ถึง เกณฑ์ที่พิจารณาไว้ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป โดยปริมาณแสงสูงสุดที่พบ แบ่งได้ตามประเภทของช่องเปิดดังนี้

- การทดลองที่ 45 ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 13 จุดติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.39) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 388 ลักซ์ ที่จุด 3.025 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 93 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 244.59 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะค่อนไปทางด้านทิศใต้ของห้อง (รูปที่4.40)



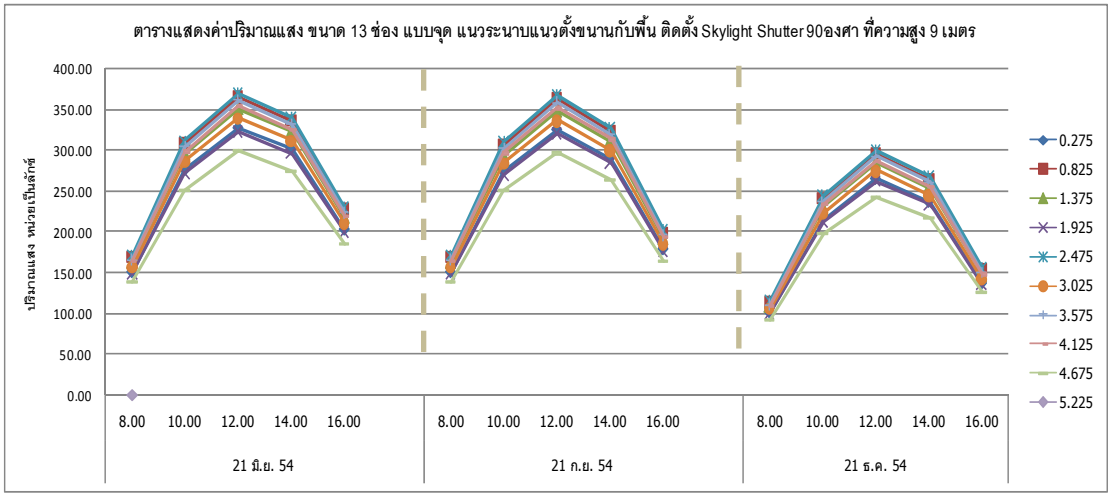
รูปที่ 4.39 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

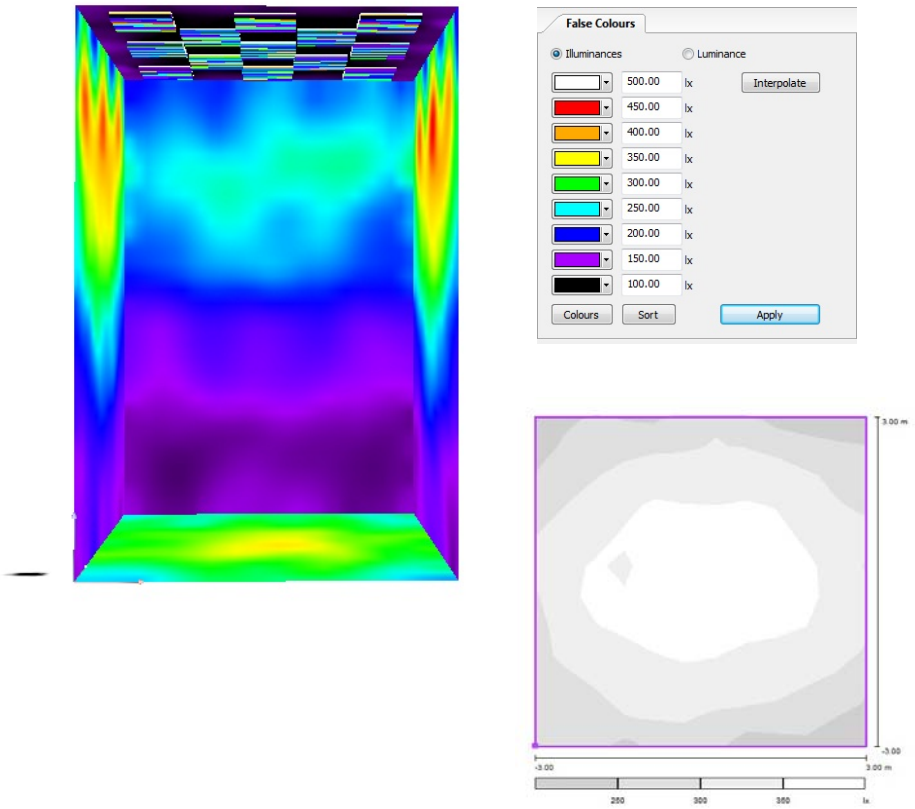
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.40) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.86 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.86 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.14 และแผนภูมิที่ 4.25

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 13 ช่อง แบบจุด ที่ความสูง 9 เมตร																		
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่45 แบบจุด เปิดช่องเปิดด้านบน 13 ช่องที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง	21 มิ.ย. 54	8.00	151.00	170.00	163.00	149.00	171.00	180.00	170.00	157.00	167.00	164.00	139.00	180.00	139.00	161.91	0.86
		10.00	276.00	309.00	296.00	272.00	311.00	327.00	309.00	286.00	304.00	299.00	252.00	327.00	252.00	294.64	0.86
		12.00	327.00	366.00	351.00	323.00	369.00	388.00	367.00	339.00	361.00	355.00	300.00	388.00	300.00	349.64	0.86
		14.00	301.00	337.00	323.00	296.00	339.00	357.00	337.00	312.00	332.00	326.00	275.00	357.00	275.00	321.36	0.86
		16.00	203.00	228.00	218.00	200.00	229.00	241.00	228.00	211.00	224.00	220.00	186.00	241.00	186.00	217.09	0.86
	21 ก.ย. 54	8.00	151.00	170.00	163.00	149.00	171.00	180.00	170.00	157.00	167.00	164.00	139.00	180.00	139.00	161.91	0.86
		10.00	274.00	307.00	294.00	270.00	309.00	325.00	307.00	284.00	302.00	297.00	251.00	325.00	251.00	292.73	0.86
		12.00	325.00	363.00	348.00	320.00	366.00	385.00	363.00	336.00	358.00	352.00	297.00	385.00	297.00	346.64	0.86
		14.00	290.00	324.00	311.00	285.00	327.00	344.00	324.00	300.00	319.00	314.00	265.00	344.00	265.00	309.36	0.86
		16.00	179.00	200.00	192.00	176.00	202.00	212.00	200.00	185.00	197.00	194.00	164.00	212.00	164.00	191.00	0.86
	21 ธ.ค. 54	8.00	102.00	114.00	109.00	100.00	115.00	121.00	114.00	106.00	112.00	110.00	93.00	121.00	93.00	108.73	0.86
		10.00	216.00	242.00	232.00	213.00	244.00	257.00	242.00	224.00	238.00	234.00	198.00	257.00	198.00	230.91	0.86
		12.00	265.00	297.00	285.00	262.00	299.00	315.00	297.00	275.00	293.00	288.00	243.00	315.00	243.00	283.55	0.86
		14.00	237.00	265.00	254.00	233.00	267.00	281.00	265.00	245.00	261.00	256.00	217.00	281.00	217.00	252.82	0.86
		16.00	137.00	154.00	147.00	135.00	155.00	163.00	154.00	142.00	151.00	149.00	126.00	163.00	126.00	146.64	0.86
	ค่าสูงสุด		327.00	366.00	351.00	323.00	369.00	388.00	367.00	339.00	361.00	355.00	300.00	388.00			
	ค่าต่ำสุด		102.00	114.00	109.00	100.00	115.00	121.00	114.00	106.00	112.00	110.00	93.00		93.00		
	ค่าเฉลี่ย		228.93	256.40	245.73	225.53	258.27	271.73	256.47	237.27	252.40	248.13	209.67			244.59	0.86

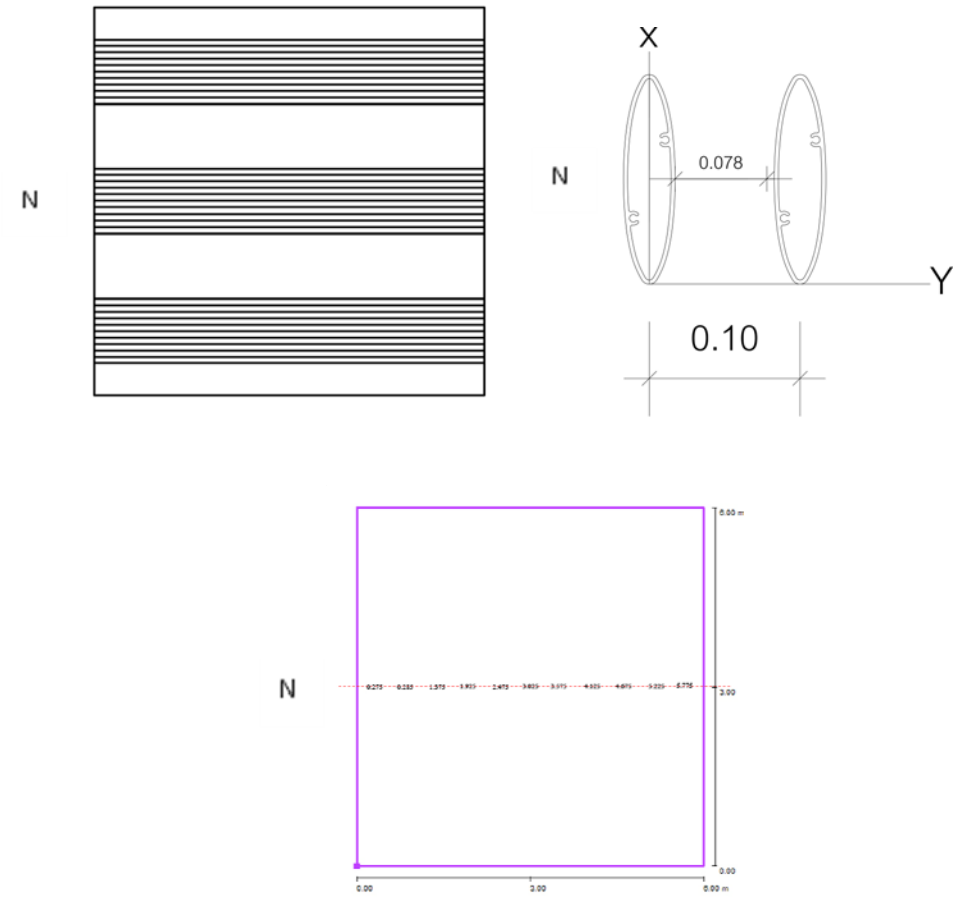
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมงาน ของช่องเปิดแบบจุด 13 จุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา





รูปที่ 4.40 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

- การทดลองที่ 51 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.41) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 504 ลักซ์ ที่จุด 3.025 ช่วงเวลา 12.00น. วันที่ 21 มิถุนายน ปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่าง 134 ลักซ์ ที่จุด 5.775 ช่วงเวลา 8.00น. วันที่ 21 ธันวาคม ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 328.04 ลักซ์ รวมถึงทิศทางของแสง และสัดส่วนปริมาณแสงที่มากที่สุด จะอยู่บริเวณระยะกึ่งกลางของห้อง (รูปที่ 4.42)



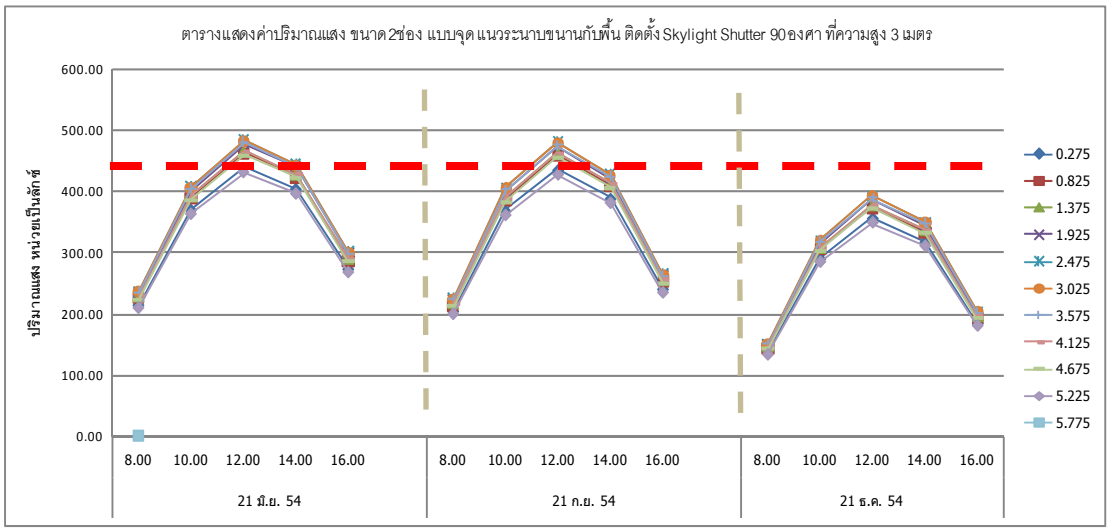
รูปที่ 4.41 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบแนวยาว 3 ช่องเปิด วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

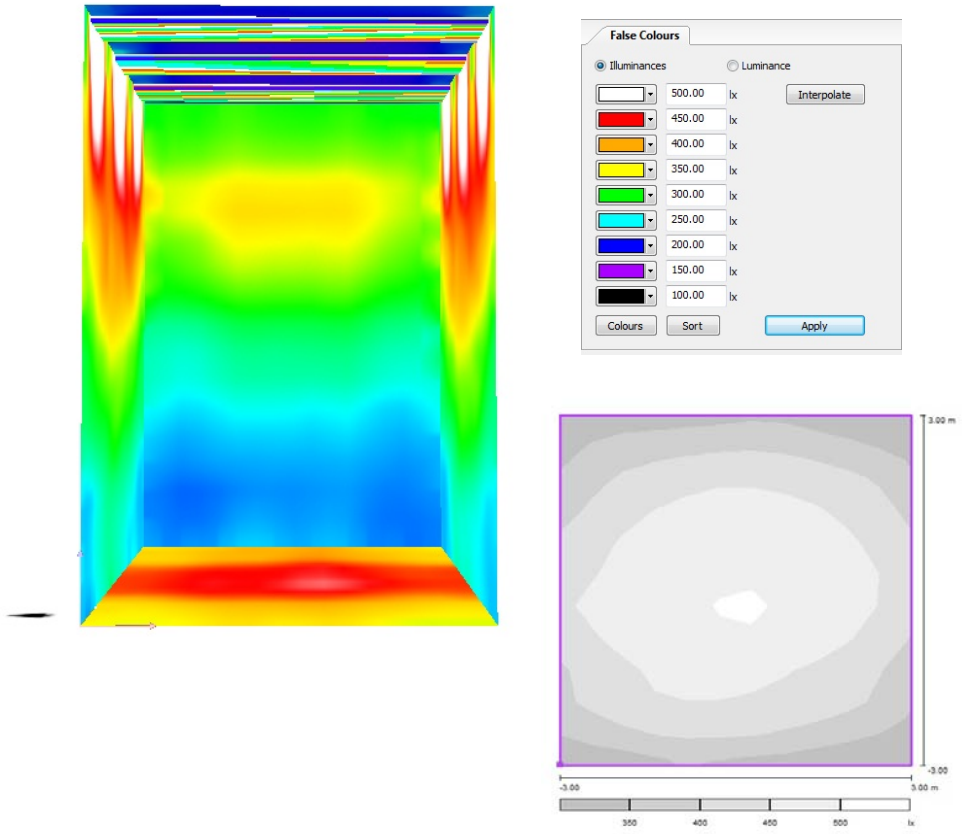
ในแง่ของประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่การติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา (รูปที่4.27) มีประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง สูงสุดมีค่า 0.92 และประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 0.92 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ตาม ตารางที่ 4.15 และแผนภูมิที่ 4.26

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า ปริมาณของแสง (Illuminance) ที่ระนาบพื้นงาน ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา

ตารางแสดงค่าปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานหน่วยเป็น ลักซ์ ขนาด 3ช่อง แบบจุดที่ระนาบแนวนอนขนานกับพื้นห้อง ที่ความสูง 9 เมตร																		
ช่วงเวลาที่ทำการวัด			ขนาดองศาของ Skylight Shutter											ปริมาณแสง			การกระจายแสง
			ปริมาณแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ลักซ์) ที่ 90 องศา											ค่าสูงสุด	ค่าต่ำ	ค่าเฉลี่ย	ค่าUniformity
			จุดที่กำหนดในการวัดปริมาณแสง 11 จุด														
			0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025	3.575	4.125	4.675	5.225	5.775				
การทดลองที่51 แบบจุดเปิดช่องเปิดด้านบนจำนวน3 ช่องที่ระนาบแนวนอนขนานกับพื้นห้อง	21 มิ.ย. 54	8.00	214.00	226.00	227.00	233.00	236.00	246.00	235.00	234.00	227.00	224.00	210.00	246.00	210.00	228.36	0.92
		10.00	370.00	389.00	392.00	402.00	407.00	425.00	406.00	403.00	392.00	387.00	363.00	425.00	363.00	394.18	0.92
		12.00	439.00	462.00	465.00	477.00	483.00	504.00	482.00	479.00	465.00	459.00	431.00	504.00	431.00	467.82	0.92
		14.00	404.00	424.00	427.00	439.00	444.00	463.00	443.00	440.00	427.00	422.00	396.00	463.00	396.00	429.91	0.92
		16.00	273.00	287.00	289.00	297.00	300.00	313.00	300.00	297.00	289.00	285.00	268.00	313.00	268.00	290.73	0.92
	21 ก.ย. 54	8.00	204.00	214.00	216.00	221.00	224.00	234.00	224.00	222.00	216.00	213.00	200.00	234.00	200.00	217.09	0.92
		10.00	368.00	387.00	389.00	400.00	405.00	422.00	404.00	401.00	389.00	384.00	361.00	422.00	361.00	391.82	0.92
		12.00	435.00	458.00	461.00	473.00	479.00	499.00	478.00	474.00	461.00	455.00	427.00	499.00	427.00	463.64	0.92
		14.00	388.00	408.00	411.00	422.00	427.00	446.00	426.00	423.00	411.00	406.00	381.00	446.00	381.00	413.55	0.92
		16.00	240.00	252.00	254.00	260.00	264.00	275.00	263.00	261.00	254.00	250.00	235.00	275.00	235.00	255.27	0.92
	21 ธ.ค. 54	8.00	137.00	144.00	145.00	149.00	150.00	157.00	150.00	149.00	145.00	143.00	134.00	157.00	134.00	145.73	0.92
		10.00	290.00	305.00	307.00	315.00	319.00	333.00	318.00	316.00	307.00	303.00	285.00	333.00	285.00	308.91	0.92
		12.00	356.00	374.00	377.00	387.00	392.00	409.00	391.00	388.00	377.00	372.00	349.00	409.00	349.00	379.27	0.92
		14.00	317.00	334.00	336.00	345.00	349.00	364.00	349.00	346.00	336.00	332.00	311.00	364.00	311.00	338.09	0.92
		16.00	184.00	194.00	195.00	200.00	203.00	211.00	202.00	201.00	195.00	193.00	181.00	211.00	181.00	196.27	0.92
	ค่าสูงสุด		439.00	462.00	465.00	477.00	483.00	504.00	482.00	479.00	465.00	459.00	431.00	504.00	181.00		
	ค่าต่ำสุด		137.00	144.00	145.00	149.00	150.00	157.00	150.00	149.00	145.00	143.00	134.00		134.00		
	ค่าเฉลี่ย		307.93	323.87	326.07	334.67	338.80	353.40	338.07	335.60	326.07	321.87	302.13			328.04	0.92

แผนภูมิที่ 4.26 แสดงปริมาณแสง ที่ระนาบทำงานวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ของช่องเปิดแนวยาว 3 แนว วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา





รูปที่ 4.42 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

4.1.6 วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงทางด้าน ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้น ของการทดลองกลุ่มที่ 3 ชุดการทดลองที่ 35 - 51 ที่มีห้องความสูง 9 เมตร มีรายละเอียดดังนี้

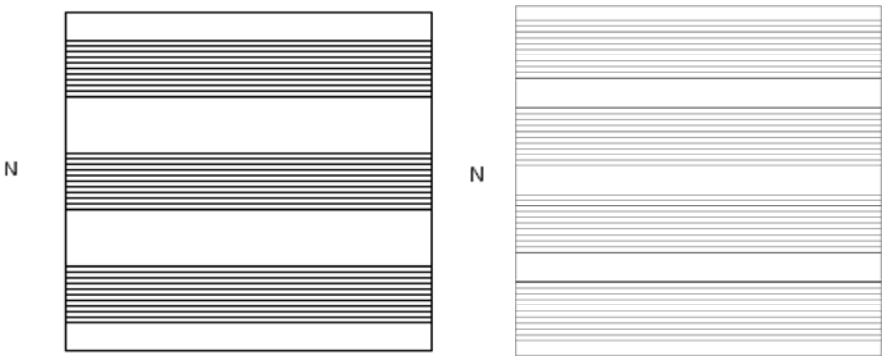
ในการทดลองของกลุ่มที่ 3 นี้ จะเห็นได้ว่า ปริมาณแสงสูงสุดที่ 13 ช่องเปิดแบบจุด และ 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว ทั้ง 2 แนวทิศทางในการวางช่องเปิด มีปริมาณแสงไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งมีค่าที่ 500 ลักซ์ขึ้นไป ตามเกณฑ์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างได้กำหนดไว้ ดังนั้น ในการประเมินผลเพื่อที่จะนำมาใช้งานจริงนั้น จำเป็นจะต้องเพิ่มช่องเปิดจาก 3 ช่องเปิดแบบแนวยาว เป็น 4 ช่องเปิด ทั้ง 2 แนวทิศทางการวาง คือ แนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ หรือ นำแสงประดิษฐ์เข้ามาใช้ควบคู่กัน ตามสัดปริมาณของแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในห้องจำลอง หรือ โดยรายละเอียดมีดังนี้

- เพิ่มช่องเปิดจาก 3 ช่องเปิด เป็น 4 ช่องเปิด ทั้ง 2 แนวทิศทางการวาง โดยจะเห็นได้จาก

จำนวน 3 ช่อง มีปริมาณแสงสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปีมาค่า 328.04 ลักซ์

ถ้า จำนวน 1 ช่อง มีปริมาณแสงสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปีมาค่า 109.34 ลักซ์

ดังนั้น จำนวน 4 ช่อง จะ มีปริมาณแสงสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปีมาค่า 437.38 ลักซ์



(ก) (ข)

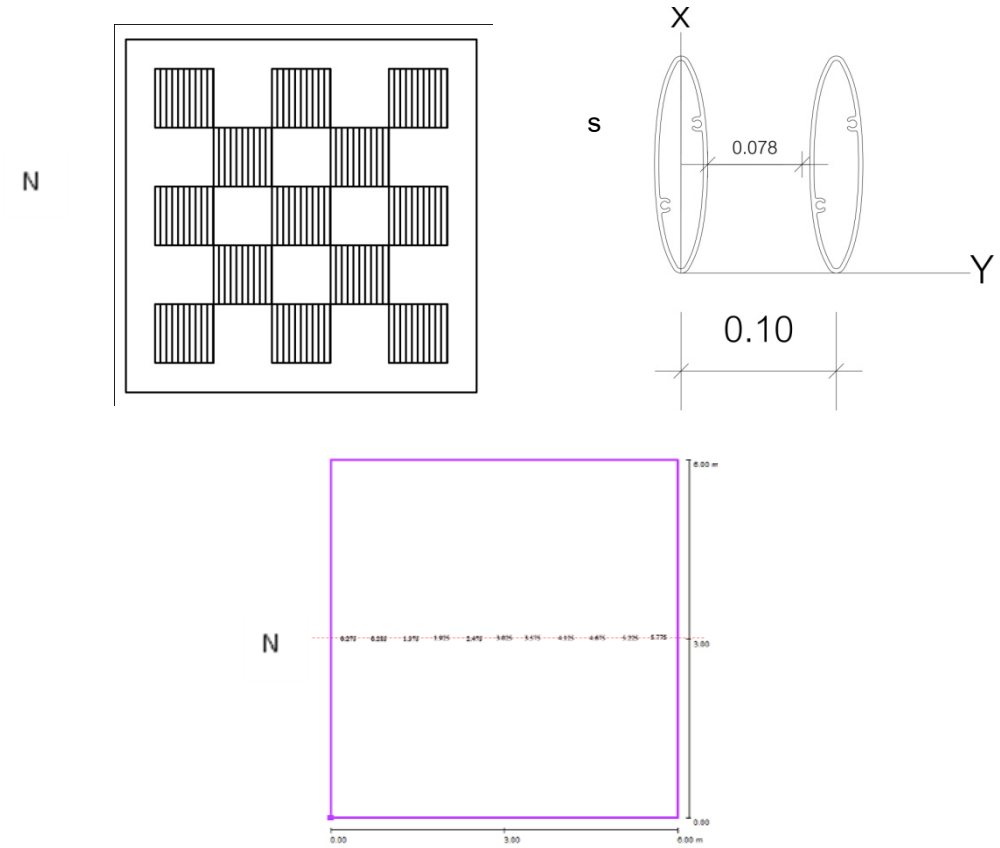
รูปที่ 4.43 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 3 ช่อง แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

(ก) รูปตัดของห้องแสดงปริมาณแสง 3 ช่องเปิด แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ขนานกับพื้นห้อง

(ข) รูปตัดของห้องแสดงปริมาณแสง 4 ช่องเปิด แบบแนวยาว วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ขนานกับพื้นห้อง

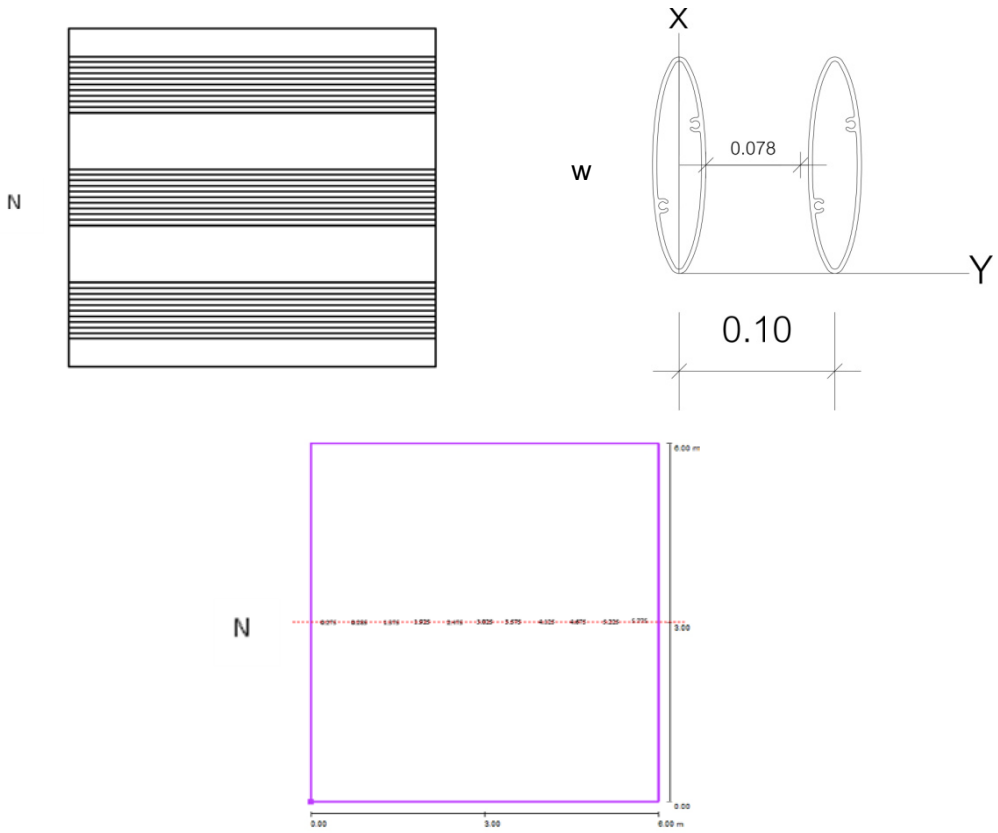
- ใช้แสงประดิษฐ์ควบคู่กับแสงธรรมชาติ โดยจะแบ่งตามประเภทของช่องเปิด

การทดลองที่ 45 ช่องเปิดแบบจุด จำนวน 13 จุดติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.44) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 388 ลักซ์ ที่ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 244.59 ลักซ์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะได้ 77.60 ของพื้นที่ ที่กำหนดจุดในการวัดทั้ง 11 จุดในแนวทิศ เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ดังนั้น จะต้องใช้แสงประดิษฐ์เพิ่มอีก 22.40 หรือ 122 ลักซ์



รูปที่ 4.44 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

การทดลองที่ 51 ช่องเปิดแบบแนวยาว จำนวน 3 แนว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา (รูปที่4.45) ปริมาณของแสงที่เข้ามาภายในอาคารสูงสุดมีค่าความส่องสว่าง 504 ลักซ์ ที่ ปริมาณแสงโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าความส่องสว่าง 328.04 ลักซ์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะได้ 65.68 เป็นเปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ ที่กำหนดจุดในการวัดทั้ง 11 จุดในแนวทิศ เหนือ ไปยัง ทิศใต้ ดังนั้น จะต้องใช้แสงประดิษฐ์เพิ่มอีก 34.32 หรือ 171.96 ลักซ์



รูปที่ 4.45 แสดง ผังหลังคา ช่องเปิดแบบจุด 13 ช่อง วางช่องเปิดในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษา ปริมาณของแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง ที่มาจากการ กำหนดช่องเปิด รูปแบบช่องเปิด ทิศทางการวางช่องเปิด องศาที่ใช้นาการติดตั้ง Skylight Shutter โดยการกำหนดห้องจำลองที่มีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร ที่ความสูง 3 เมตร 6 เมตร และ 9 เมตร ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณของแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง ด้วย โปรแกรม Dialux 4.10 โดยเลือกทำการทดลอง ในเวลา 8.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน วันที่ 21 กันยายน และวันที่ 21 ธันวาคม ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast sky) โดยผู้วิจัยเลือกใช้ค่า Illuminance ที่มีหน่วยเป็น ลักซ์ ในการเปรียบเทียบผลของการทดลองในแต่ละตัวแปร การวิจัยนี้แบ่งวัตถุประสงค์ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษา ปริมาณแสง (Illuminance) ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง ที่เข้ามาภายในอาคาร โดยผ่าน Skylight Shutter

ส่วนที่ 2 เสนอแนะแนวทางในการนำ Skylight Shutter ที่ติดตั้ง สำหรับอาคารเขตร้อนชื้น

5.1.1 ส่วนที่ 1 งานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแปร 7 ส่วน และมีการตั้งสมมุติฐานในงานวิจัย ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงตัวแปรที่ทำการศึกษา และสมมุติฐานในงานวิจัย

สมมติฐานงานวิจัย	**ตัวแปรในการศึกษา**
1. จำนวนช่องเปิดที่เพิ่มมากขึ้น	**จำนวนช่องเปิด ได้แก่**
ส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง	**การเจาะช่องเปิดแบบจุด ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง**
และค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มมากขึ้น	- 3 ช่องในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก
ตามจำนวนช่องเปิด	- 3 ช่องเปิดแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้
	- 4 ช่องเปิด
	- 5 ช่องเปิด
	- 6 ช่องในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก
	- 6 ช่องเปิดแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้
	- 9 ช่องเปิด
	- 13 ช่องเปิด
	หมายเหตุ : รูปภาพประกอบดูตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 5.1(ต่อ) แสดงตัวแปรที่ทำการศึกษา และสมมุติฐานในงานวิจัย

สมมติฐานงานวิจัย	**ตัวแปรในการศึกษา**
1. จำนวนช่องเปิดที่เพิ่มมากขึ้น	**การเจาะช่องเปิดแบบแนวยาว ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง**
ส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง	- 1 ช่องในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก
และค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มมากขึ้น	- 1 ช่องเปิดแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้
ตามจำนวนช่องเปิด	- 2 ช่องในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก
	- 2 ช่องเปิดแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้
	- 3 ช่องในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก
	- 3 ช่องเปิดแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้
	หมายเหตุ : รูปภาพประกอบดูตามตารางที่ 3.1
2. การเจาะรูปแบบช่องเปิดที่ต่างกัน	**รูปแบบช่องเปิด แบ่งได้ 2 แบบได้แก่**
ส่งผลให้ ปริมาณของแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง	- แบบจุด
และค่าความสม่ำเสมอของแสงมีค่าต่างกัน	- แบบแนวยาว

ตารางที่ 5.1(ต่อ) แสดงตัวแปรที่ทำการศึกษา และสมมุติฐานในงานวิจัย

สมมติฐานงานวิจัย	ตัวแปรในการศึกษา
3. ทิศทางการวางช่องเปิดที่ต่างกัน	**ทิศทางการวางช่องเปิด แบ่งได้เป็น 2 แบบได้แก่**
ส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทธิภาพการกระจายแสง	- ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ขนานกับพื้นห้อง
และค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มมากขึ้น	- ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ขนานกับพื้นห้อง
4. องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ที่ต่างกัน	**องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter แบ่งได้เป็น 4 ขนาดได้แก่**
ส่งผลให้ ปริมาณของแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง	- ขนาดความเอียงที่ 30 องศา มีระยะห่างระหว่างหัวละท้ายของใบ 68 ม.ม.
และค่าความสม่ำเสมอของแสงมีค่าต่างกัน เนื่องจากระยะห่าง	- ขนาดความเอียงที่ 45 องศา มีระยะห่างระหว่างหัวละท้ายของใบ 62ม.ม.
ระหว่างหัวและท้ายของใบSkylight Shutter ที่องศาต่างกัน	- ขนาดความเอียงที่ 60 องศา มีระยะห่างระหว่างหัวละท้ายของใบ 38 ม.ม
ย่อมมีระยะห่าง ระยะห่างระหว่างหัวและท้าย ของใบต่างกัน	- ขนาดความเอียงที่ 90 องศา มีระยะห่างระหว่างหัวละท้ายของใบ 45ม.ม.
5. ความสูงของอาคารที่ขนาดแตกต่างกัน	**ความสูงของอาคารแบ่งได้เป็น 3 ขนาดได้แก่**
ส่งผลให้ ปริมาณของแสงประสิทิภาพการกระจายแสง	- ที่ความสูง 3 เมตร
และค่าความสม่ำเสมอของแสงมีค่าต่างกัน	- ที่ความสูง 6 เมตร
	- ที่ความสูง 9 เมตร

ตารางที่ 5.1(ต่อ)แสดงตัวแปรที่ทำการศึกษา และสมมุติฐานในงานวิจัย

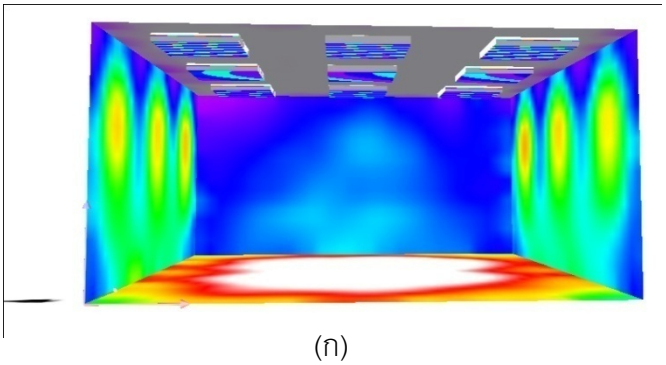
สมมติฐานงานวิจัย	**ตัวแปรในการศึกษา**
6. วัน เวลา และเดือนที่ใช้ทำการทดลอง มีผลต่อ	**วัน เวลา และเดือน ที่ทำการทดลอง**
ปริมาณของแสงประสิทิภาพการกระจายแสง	- วันที่ 21 เดือน มิถุนายน
และค่าความสม่ำเสมอของแสงที่เข้ามาภายในอาคาร	- วันที่ 21 เดือน กันยายน
	- วันที่ 21 เดือน ธันวาคม

จากการเก็บข้อมูลความส่องสว่างในช่วงเวลา 8.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม สามารถสรุปผลที่ได้เป็นดังนี้

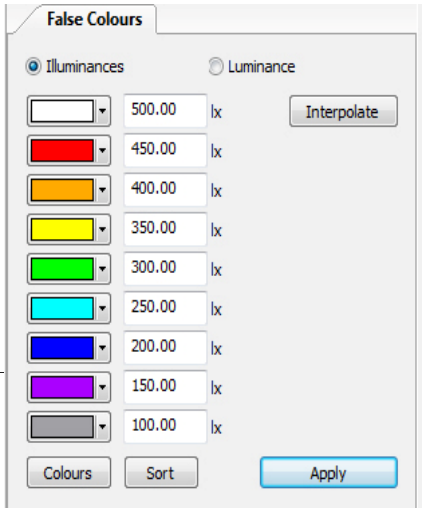
1. <u>จำนวนช่องเปิด ที่ต่างกันมีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง</u> ที่เข้ามาภายในอาคารที่ต่างกัน โดยในการทำการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยเองได้กำหนดช่องเปิด เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทแบบจุด ที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และประเภท แบบแนวยาว ที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร (ตารางที่ 5.1) ทั้งนี้ผู้วิจัยเองได้ยกตัวอย่างการเปรียบเทียบ จำนวนช่องเปิด 9 ช่องแบบจุด และ 13 ช่องแบบจุด ที่ขนาดของจุดที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ดังจะเห็นได้จาก ตัวอย่างดังนี้

- <u>9 ช่องเปิด แบบจุด</u> ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 651 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 404.4 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.79
- <u>13 ช่องเปิด แบบแนวยาว</u> ที่ระนาบแนวตั้ง ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 1052 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 611.47 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.68

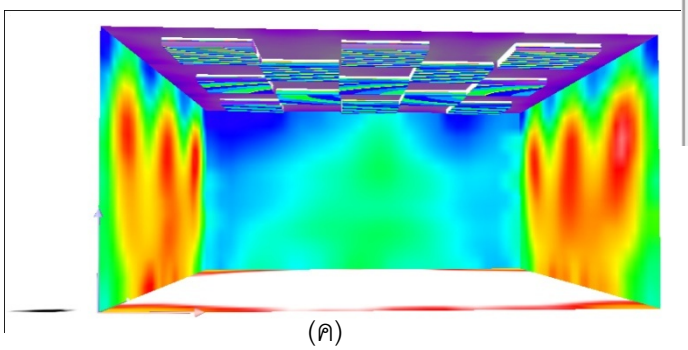
จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มช่องเปิด มากขึ้น ปริมาณแสงจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนช่องเปิด แต่ในขณะเดียวกัน ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงไม่ได้เพิ่มตามจำนวนช่องเปิด (รูปที่ 5.1 และตารางที่ 5.2)



(ก)



(ข)



(ค)

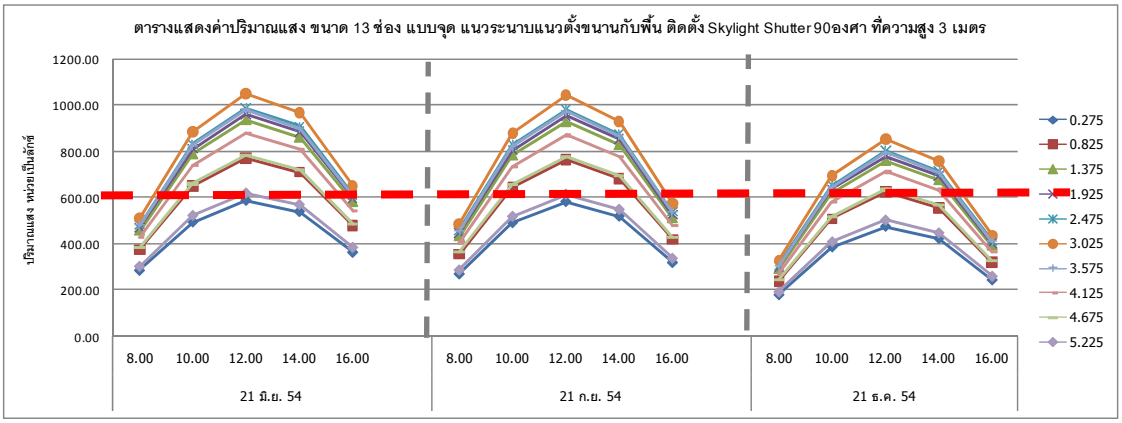
รูปที่ 5.1 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 9ช่องเปิด และ13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

(ก) รูปตัดของห้องแสดงปริมาณแสงของ 9 ช่องเปิด แบบจุด ขนานกับพื้นห้อง

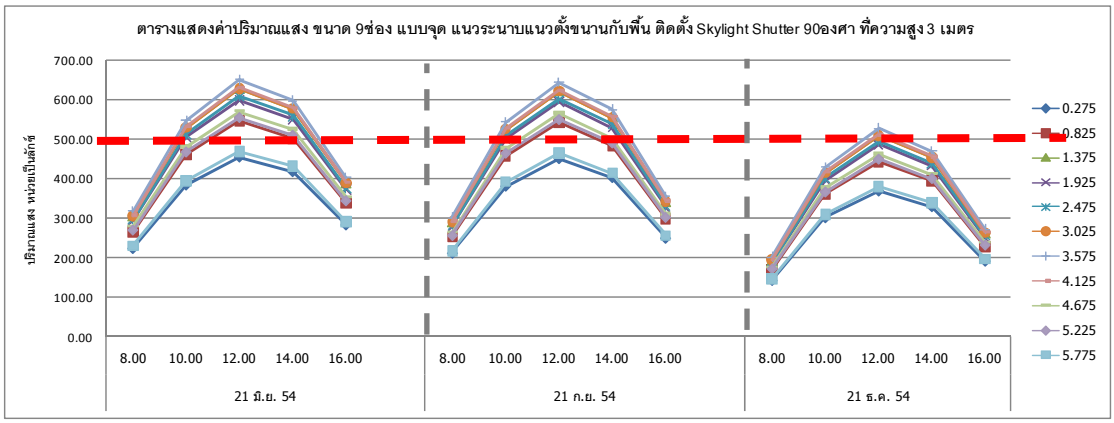
(ข) Fase Coloursแสดงปริมาณแสง ตั้งแต่ 0 - 500 ลักซ์

(ค) รูปตัดของห้องแสดงปริมาณแสงของ 13 ช่องเปิด แบบจุด ขนานกับพื้นห้อง

แผนภูมที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ที่ 13 ช่องเปิดแบบจุด ติดตั้งSkylight Shutter 90 องศาที่ความสูง 3 เมตร



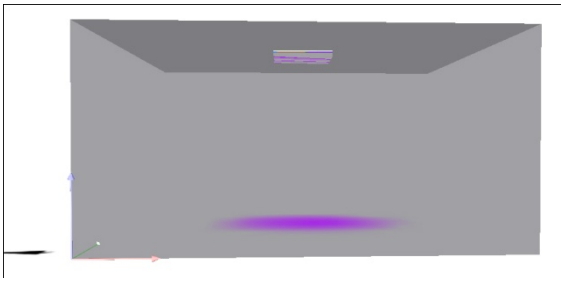
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ที่ 9 ช่องเปิดแบบจุด ติดตั้งSkylight Shutter 90 องศาที่ความสูง 3 เมตร



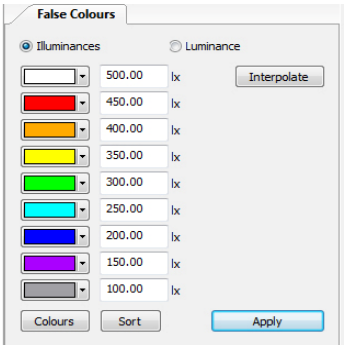
2. ลักษณะของช่องเปิด ที่ต่างกันมีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง ที่เข้ามาภายในอาคารที่ต่างกัน โดยในการทำการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยเองได้กำหนดช่องเปิด เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทแบบจุด ที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และประเภท แบบแนวยาว ที่มีขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 โดยความแตกต่างของรูปแบบทั้ง 2 ช่องเปิด ดังจะเห็นได้จาก ตัวอย่างดังนี้

- 1 ช่องเปิด แบบจุด ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 315 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 126.95 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.26
- 1 ช่องเปิด แบบแนวยาว ที่ระนาบแนวตั้ง ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 1011 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 639.82 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.79

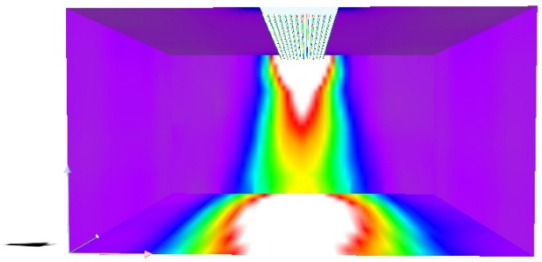
เมื่อนำช่องเปิดที่ต่างกัน มาติดตั้งที่ความสูงที่มีขนาดเท่ากัน จะเห็นได้ ที่ช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นแนวยาว จะมีปริมาณแสงที่เข้ามาภายในอาคารมากกว่า แบบจุด(รูปที่ 5.2) เนื่องจากพื้นที่ของช่องเปิดมีจำนวนพื้นที่ ที่แสงจะเข้ามาภายในอาคารมากกว่าแบบจุด โดยถ้าคิดเป็นสัดส่วนปริมาณแสง ได้ว่า สัดส่วนปริมาณแสงของช่อง เปิดแบบจุด : สัดส่วนปริมาณแสงของช่อง เปิดแบบแนวยาว = 1.3 : 6.4 เท่าโดยประมาณ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.2 แสดง ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1ช่องเปิด แบบจุด และ1 ช่องเปิด แบบยาว ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

(ก) รูปตัดของห้องแสดงปริมาณแสงของ 1 ช่องเปิด แบบจุด ขนานกับพื้นห้อง

(ข) Fase Coloursแสดงปริมาณแสง ตั้งแต่ 0 - 500 ลักซ์

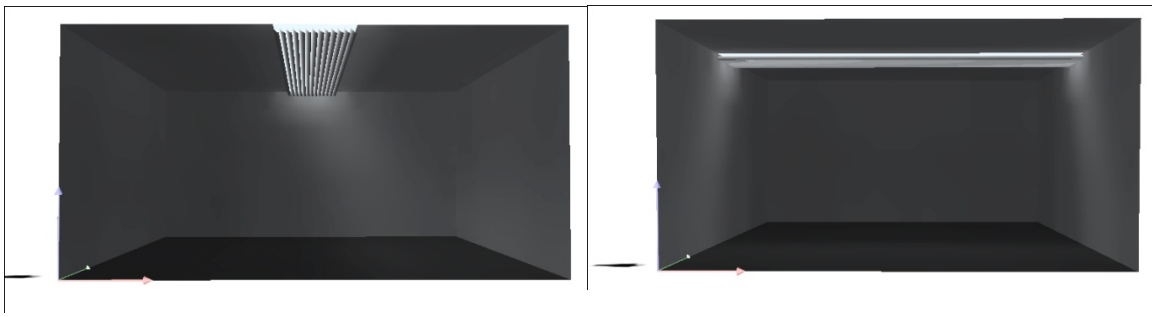
(ค) รูปตัดของห้องแสดงปริมาณแสงของ 1 ช่องเปิด แบบแนวยาว ขนานกับพื้นห้อง

3. ทิศทางการวางช่องเปิด ต่างกันมีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง ที่เข้ามาภายในอาคารที่ต่างกัน โดยในการทำการทดลองครั้งนี้ ได้กำหนดทิศทางการวางของช่องเปิด ออกเป็น 2 แบบได้แก่ แบบวางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และวางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง โดยความแตกต่างของรูปแบบทั้ง 2 ทิศทางการวางช่องเปิด (รูปที่ 5.3 ตารางที่5.3 และตารางที่ 5.4) โดยจะเห็นได้จาก ตัวอย่างดังนี้

- 1 ช่องเปิด แบบแนวยาว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ขนานกับพื้นห้อง โดยขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 1011 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 639.82 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.79

- 1 ช่องเปิด แบบแนวยาว <u>วางในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้</u> โดยขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 1002 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 633.17 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.78

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ช่องเปิดในแนวทิศตะวันตก ไปยังทิศตะวันออกจะมีปริมาณแสงที่เข้ามาในห้องจำลองน้อยกว่า ช่องเปิดในแนวทิศเหนือ ไปยังทิศใต้ (รูปที่ 5.3) เนื่องจาก การวางช่องเปิดในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ สามารถรับอิทธิพลของจากดวงอาทิตย์ผ่านช่องเปิดด้านบนได้ตลอดทั้งวัน(ตารางที่ 5.3)แต่ในขณะเดียวกัน ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงไม่ดีเท่าที่ควร หรือมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับ การวางช่องเปิดในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก(ตารางที่ 5.4)



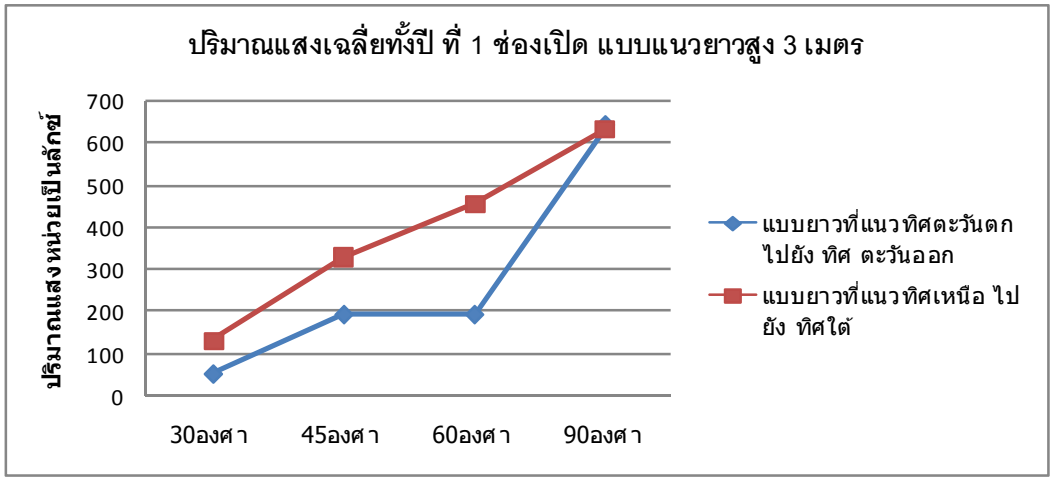
(ก) (ข)

รูปที่ 5.3 แสดง การเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1ช่องเปิด แบบแนวยาว ในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ1 ช่องเปิด แบบยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

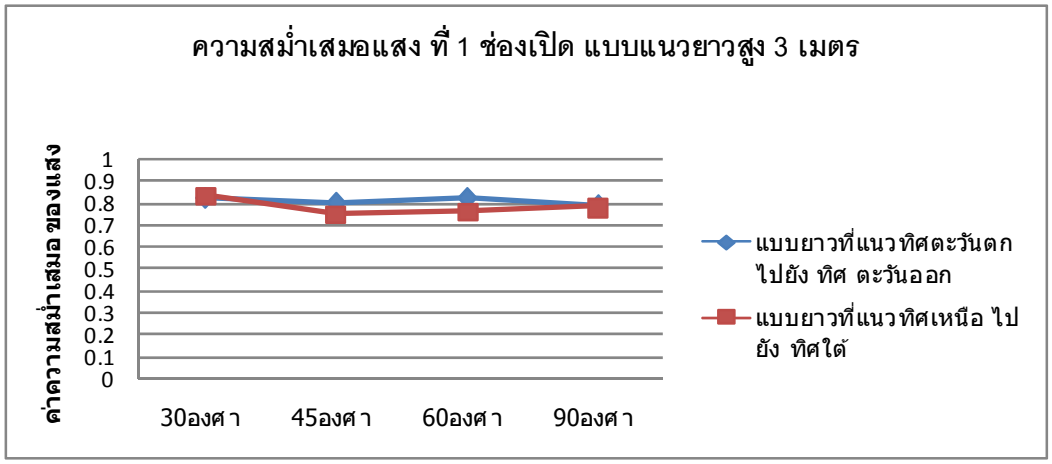
(ก) 1ช่องเปิด แบบแนวยาว วางในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก

(ข) 1ช่องเปิด แบบยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้

แผนภูมิที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสง ของ 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศาที่ความสูง 3 เมตร



แผนภูมิที่5.4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ของ 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และ1 ช่องเปิดแบบแนวยาว วางในแนว ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้ ติดตั้งSkylight Shutter 90 องศาที่ความสูง 3 เมตร



4. <u>องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ที่ต่างกัน มีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง</u> ที่เข้ามาภายในอาคารที่ต่างกัน โดยในการทำการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัย ได้กำหนด องศาที่ใช้ในการติดตั้ง คือ ที่ 30 45 60 และ 90 องศา ทั้งนี้ผู้วิจัยจะยกตัวอย่างที่ 1 ช่องเปิด ที่ขนาด ความกว้างของช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ความสูง 3 เมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง โดยรายละเอียดจะเห็นได้ จากตัวอย่างดังนี้

- 1 ช่องเปิด แบบจุด ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 30 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 35 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 19.23 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.77 ทิศทางของแสง ปริมาณแสงที่มีค่าสูงสุดจะค่อนไปทางผนังด้านทิศใต้ของผนังห้องจำลอง

- 1 ช่องเปิด แบบจุด ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 45 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 123 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 59.73 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.39 ปริมาณแสงที่มีค่าสูงสุดจะค่อนไปทางผนังด้านทิศเหนือของผนังห้องจำลอง

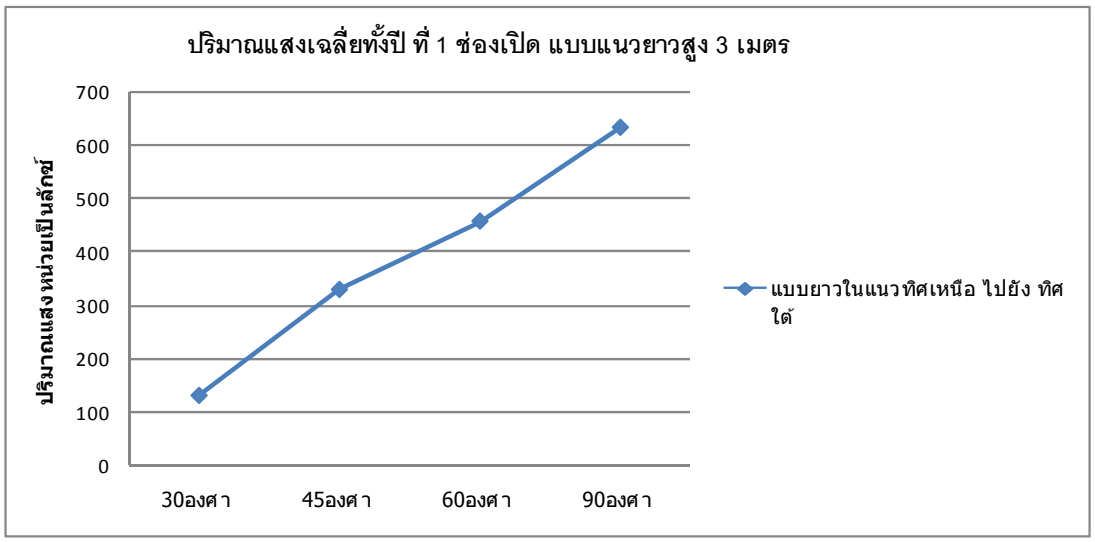
- 1 ช่องเปิด แบบจุด ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 60 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 213 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 90.94 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.32 ปริมาณแสงที่มีค่าสูงสุดจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของห้องจำลอง

- 1 ช่องเปิด แบบจุด ที่ระนาบขนานกับพื้นห้อง ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 315 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 126.95 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.26 ปริมาณแสงที่มีค่าสูงสุดจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของห้องจำลอง

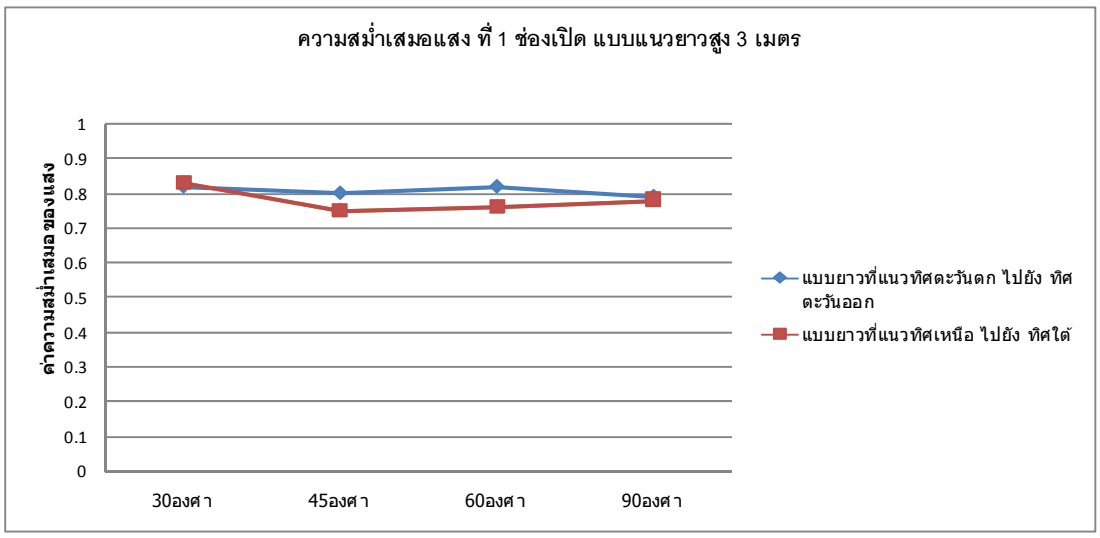
จากการเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง จะเห็นได้ว่า

- ปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้นเมื่อ องศาที่จะติดตั้ง Skylight Shutter เอียงเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึง ยิ่งใกล้ระยะติดตั้งที่ความเอียง 90 องศามากเท่าไหร่ ปริมาณแสงก็จะเพิ่มขึ้นตามความเอียงขององศานั้น(ตารางที่ 5.5)
- ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง จะไม่เพิ่มตามความเอียงขององศาที่จะติดตั้ง ซึ่งหมายถึง ยิ่งใกล้ระยะความเอียง 90 องศา ค่าความสม่ำเสมอก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามความเอียงขององศา(ตารางที่ 5.6)

แผนภูมิที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของแสง ของ 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว ติดตั้งSkylight Shutter 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ90 องศาที่ความสูง 3 เมตร



แผนภูมิที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง 1 ช่องเปิดแบบแนวยาว ติดตั้งSkylight Shutter 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ90 องศาที่ความสูง 3 เมตร

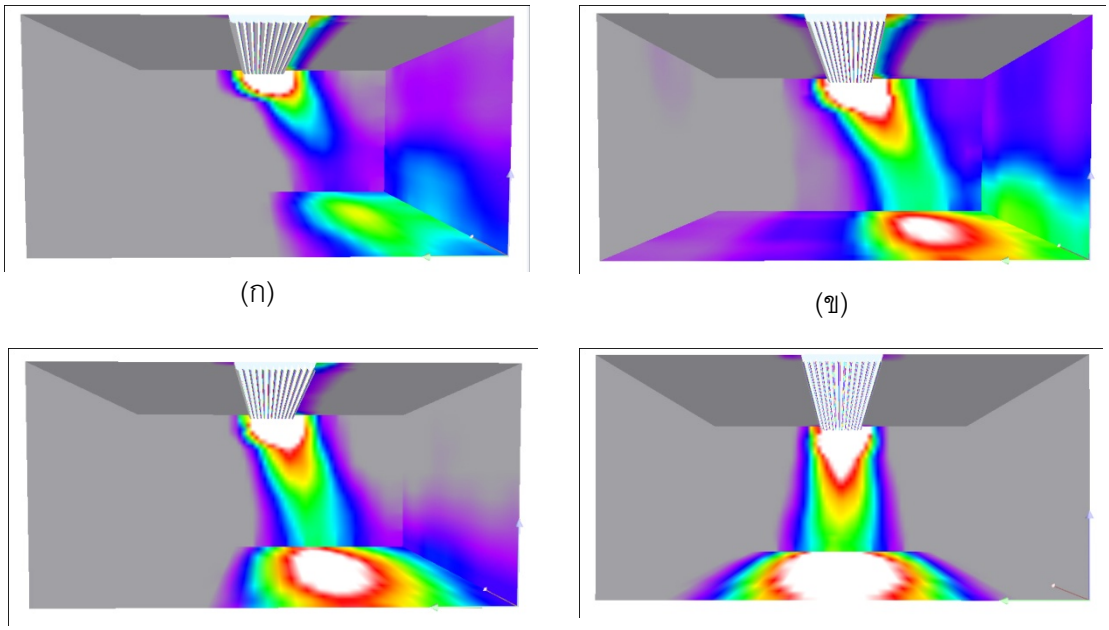


5. <u>องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter ที่ต่างกัน มีผลต่อ ทิศทางของปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง</u> ที่เข้ามาภายในอาคารที่ต่างกัน การทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัย ได้กำหนด องศาที่ใช้ในการติดตั้ง คือ ที่ 30 45 60 และ 90 องศา ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะยกตัวอย่างที่ 1 ช่องเปิด ที่ขนาด ความกว้างของช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่

ความสูง 3 เมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง โดยรายละเอียดจะเห็นได้ จากตัวอย่างดังนี้

จากการเปรียบเทียบทิศทางของปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง จะเห็นได้ว่า

การติดตั้ง Skylight Shutter ที่มีความเอียง 30 45 60 องศา ทิศทางของปริมาณแสงที่มีค่าสูงสุดจะเอียงไปทางด้านผนังของห้อง ส่วนการติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 90 องศา ทิศทางของปริมาณแสงที่มีค่าสูงสุดจะอยู่บริเวณ กึ่งกลางของห้อง (รูปที่ 5.4)



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 5.4 แสดง การเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ช่องเปิด 1ช่องเปิด แบบแนวยาว ในแนวทิศ ตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก ติดตั้ง Skylight Shutter 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ90 องศา

(ก) ติดตั้ง Skylight Shutter 30 องศา

(ข) ติดตั้ง Skylight Shutter 45 องศา

(ค) ติดตั้ง Skylight Shutter 60 องศา

(ง) ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

6. <u>ความสูงของอาคารที่ต่างกัน ต่างกันมีผลต่อ ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง ที่เข้ามาภายในอาคารที่ต่างกัน</u> โดยในการทำการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยเองได้กำหนดความสูงของอาคาร ได้แก่ความสูงที่มีขนาด 3 เมตร 6 เมตร และ 9 เมตร

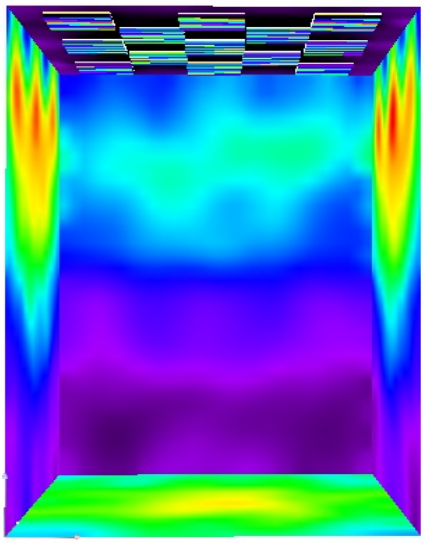
ทั้งนี้ผู้วิจัยจะยกตัวอย่างที่ 13 ช่องเปิดแบบจุด ที่ขนาด ความกว้างของช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่การติดตั้ง Skylight Shutter ที่90 องศา เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสง โดยรายละเอียดจะเห็นได้ จากตัวอย่างดังนี้

- <u>ความสูง 3 เมตร 13 ช่องเปิดแบบจุด</u> ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 1052 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 611.47 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.68

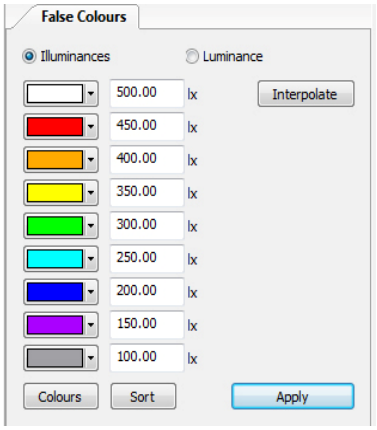
- <u>ความสูง 6 เมตร 13 ช่องเปิดแบบจุด</u> ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 677 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 425.83 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.83

- <u>ที่ความสูง 9 เมตร 13 ช่องเปิดแบบจุด</u> ที่ขนาดช่องเปิด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ที่ขนาดความกว้างของห้อง 6 เมตร ยาว 6 เมตร ติดตั้ง Skylilght Shutter ที่ 90 องศา มีปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด ที่ 388 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี มีค่า 244.59 ลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.86

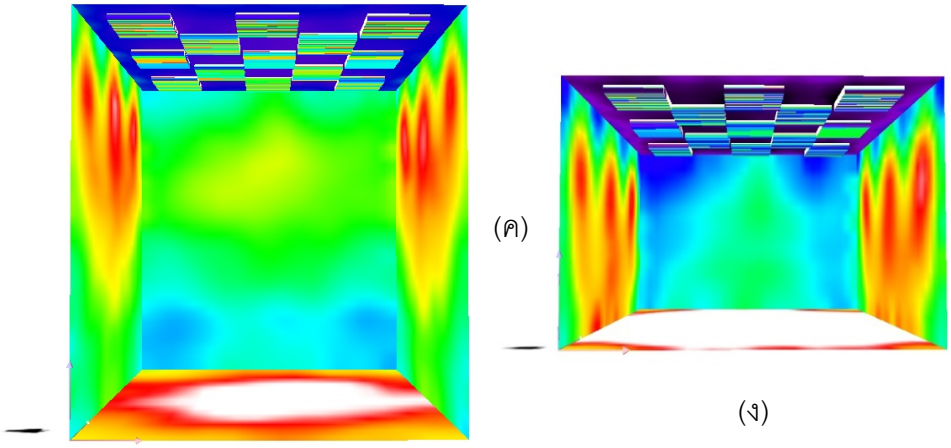
จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ความสูงของอาคารมีผลต่อปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ซึ่งจะเห็นได้จาก ความสูงยิ่งเพิ่มปริมาณแสง จะลดลง แต่ในขณะเดียวกัน ค่าความสม่ำเสมอของแสง จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของห้องจำลอง (รูปที่ 5.5)



(ก)



(ข)



รูปที่ 5.5 แสดง การเปรียบเทียบปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 3 เมตร 6 เมตร และ9 เมตร ช่องเปิด 13 ช่องเปิด แบบจุด ติดตั้ง Skylight Shutter 90 องศา

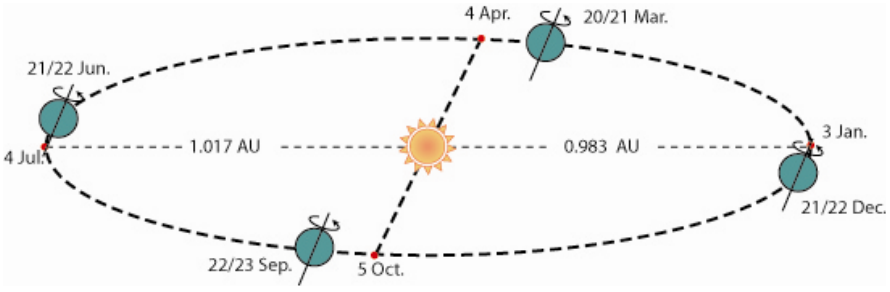
(ก) ห้องจำลองความสูง 3 เมตร

(ข) Fase Coloursแสดงปริมาณแสง ตั้งแต่ 0 - 500 ลักซ์

(ค) ห้องจำลองความสูง 6 เมตร

(ง) ห้องจำลองความสูง 9 เมตร

7. <u>จากการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง ในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่า</u> ปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดจะอยู่ที่ช่วงเวลา 12 .00 น. ของเดือน มิถุนายน เนื่องจากโลกจะหันซีกเหนือเข้าหาดวงอาทิตมากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน หรือ โซลส์ติกส์ฤดูร้อน (Summer solstice) ณ ตำแหน่งนี้ กลางวันของซีกโลกเหนือจะยาวที่สุด โลกจะหันซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม หรือโซลส์สติกส์ฤดูหนาว (Winter solstice) เป็นวันที่ซีกโลกเหนือจะเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดจึงทำให้ ปริมาณแสงมีค่าความส่องสว่างน้อยสุดที่ช่วงเวลา 8.00 น. ของเดือน ธันวาคม(เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2547)



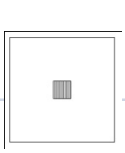
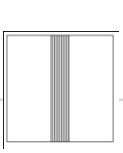
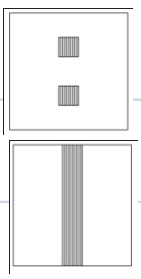
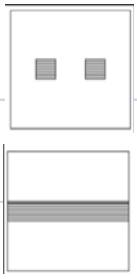
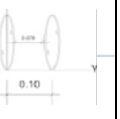
รูปที่ 5.6 แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ที่มา : เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2547

จากที่กล่าวมาข้างต้น อาคารทั้ง 3 ขนาดให้ปริมาณแสงที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ในการเลือก Skyliht shutter ผู้ออกแบบ หรือผู้ที่มีความสนใจ ควรเลือก จำนวนช่องเปิด ประเภทของช่องเปิด และองศาที่จะนำไปใช้ในการติดตั้ง ให้เหมาะสมกับความสูงในแต่ละประเภทอาคาร เพื่อให้ได้ตามเกณฑ์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างได้กำหนดไว้

5.1.2 ส่วนที่ 2 เสนอแนะแนวทางในการนำ Skylight Shutter ที่ติดตั้ง สำหรับอาคาร เขตร้อนชื้น โดยแบ่งความสูงของอาคารเป็น 3 ขนาด ซึ่งได้แก่ อาคารที่มีความสูง 3 เมตร โดยอ้างอิงความสูงจาก อาคารประเภทอาคารสำนักงาน อาคารที่มีความสูง 6 เมตร โดยอ้างอิงความสูงจาก อาคารประเภทอาคารห้างสรรพสินค้า และอาคารที่มีความสูง 9 เมตร โดยอ้างอิงความสูงจาก อาคารประเภทโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นนำมาประกอบ กับข้อมูลเบื้องต้นของการนำ Skyligh Shutter ไปใช้กับอาคารประเภท ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของการนำ Skylight Shutter ไปใช้งานทั้ง 3 ประเภทอาคาร

ประเภทอาคาร	ผังหลังคาแสดง ประเภทช่องเปิด		ผังหลังคาแสดง ทิศทางการวางช่องเปิด		องศาที่ใช้ในการติดตั้ง	
	แบบจุด	แบบแนวยาว	ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก	ทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้		
อาคารสำนักงาน					30 องศา	45 องศา
อาคารห้างสรรพสินค้า					60 องศา	 90 องศา
อาคารโรงงานอุตสาหกรรม						

ทั้งนี้ในการนำไปใช้ในทั้ง 3 ประเภทอาคารนั้นจะต้องคำนึงถึง

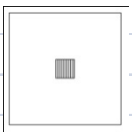
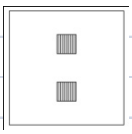
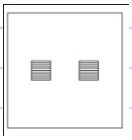
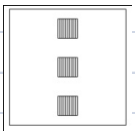
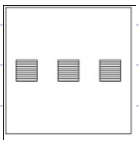
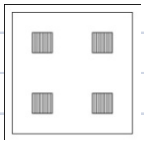
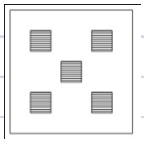
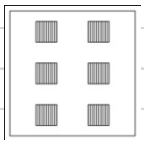
1. พื้นที่ และความสูงของอาคาร เพื่อหาจำนวนช่อง ประเภทของช่องเปิด และทิศทางในการวางช่องเปิดเของ Skylight Shutter ที่ต้องการ

2. องศาที่ต้องการ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความส่องสว่าง และค่าความสม่ำเสมอของแสง ที่ต้องการ เพื่อได้ค่าความส่องสว่างตามเกณฑ์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศได้ได้กำหนดไว้ ตามความเหมาะสมของทั้ง 3 ประเภทอาคาร

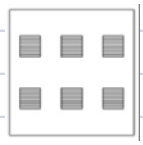
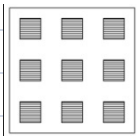
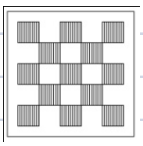
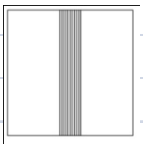
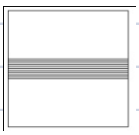
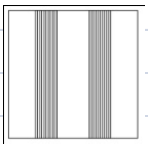
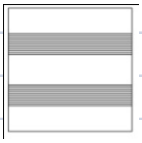
3. ค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทอาคาร ในกรณีที่ อาคารประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีความสูงของอาคารมาก อาจทำให้ค่าความส่องสว่างสูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปี ที่วัดได้มีค่าความส่องสว่างไม่ถึงเกณฑ์ที่สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศได้กำหนดไว้ จำเป็นจะต้องใช้แสงประดิษฐ์ควบคู่ กันเพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม และตามเกณฑ์ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างได้กำหนดไว้

จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในตารางที่ 5.3 ตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5 เพื่อพิจารณาจำนวนช่องเปิด ทิศทางการวางช่องเปิด และองศาของSkylight Shutter ที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน โดยข้อมูลพื้นฐานที่นำมาแสดงนั้น เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองในสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky และเก็บข้อมูลเฉพาะปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงเท่านั้น ในส่วนของสภาพท้องฟ้าลักษณะอื่น และในการพัฒนาลำดับต่อไปซึ่งต้องเพิ่มเติมระบบรับแสงและระบบกระจายแสง อาจทำให้ข้อมูลที่ได้คลาดเคลื่อนจากนี้

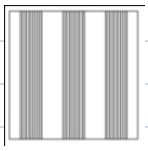
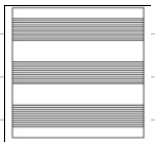
ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 3 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 3 เมตร						
	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
ช่องเปิดแบบจุด						
1		30 องศา	68.00	24.75	4.95	0.50
		45 องศา	123.00	90.94	18.19	0.32
		60 องศา	213.00	90.94	18.19	0.32
		90 องศา	315.00	126.95	25.39	0.26
2		30 องศา	162.00	69.83	13.97	0.35
		45 องศา	255.00	110.10	22.02	0.28
		60 องศา	286.00	118.00	23.60	0.14
		90 องศา	357.00	156.73	31.35	0.21
3		30 องศา	99.00	52.34	10.47	0.70
		45 องศา	213.00	116.59	23.32	0.64
		60 องศา	320.00	169.58	33.92	0.50
		90 องศา	469.00	228.51	45.70	0.39
4		30 องศา	190.00	96.88	19.38	0.37
		45 องศา	290.00	153.38	30.68	0.38
		60 องศา	319.00	169.12	33.82	0.20
		90 องศา	367.00	228.14	45.63	0.74
5		30 องศา	128.00	73.05	14.61	0.75
		45 องศา	54.00	159.86	31.97	0.76
		60 องศา	395.00	235.40	47.08	0.77
		90 องศา	528.00	312.01	62.40	0.75
6		30 องศา	227.00	122.35	24.47	0.80
		45 องศา	277.00	171.36	34.27	0.70
		60 องศา	244.00	150.23	30.05	0.72
		90 องศา	125.00	67.16	13.43	0.67
7		30 องศา	253.00	151.56	30.31	0.76
		45 องศา	363.00	219.71	43.94	0.66
		60 องศา	381.00	214.37	42.87	0.62
		90 องศา	457.00	220.38	44.08	0.49
8		30 องศา	292.00	153.79	30.76	0.48
		45 องศา	53.00	240.03	48.01	0.50
		60 องศา	423.00	227.72	45.54	0.26
		90 องศา	530.00	318.09	63.62	0.77

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 3 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 3 เมตร						
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
9		30 องศา	297.00	187.07	37.41	0.87
		45 องศา	450.00	272.30	54.46	0.80
		60 องศา	401.00	244.31	48.86	0.80
		90 องศา	373.00	219.68	43.94	0.78
10		30 องศา	358.00	223.24	44.65	0.84
		45 องศา	545.00	337.83	67.57	0.79
		60 องศา	552.00	343.37	68.67	0.79
		90 องศา	651.00	404.34	80.87	0.79
11		30 องศา	626.00	348.68	69.74	0.73
		45 องศา	860.00	501.70		0.73
		60 องศา	899.00	530.03		0.71
		90 องศา	1052.00	611.47		0.68
ช่องเปิดแบบแนวยาว						
12		30 องศา	81.00	53.44	10.69	0.82
		45 องศา	300.00	193.30	38.66	0.80
		60 องศา	228.00	193.38	38.68	0.82
		90 องศา	1011.00	639.82		0.79
13		30 องศา	204.00	131.26	26.25	0.83
		45 องศา	525.00	329.52	65.90	0.75
		60 องศา	741.00	457.53	91.51	0.76
		90 องศา	1002.00	633.17	126.63	0.78
14		30 องศา	415.00	260.89	52.18	0.76
		45 องศา	796.00	495.91	99.18	0.74
		60 องศา	755.00	452.12	90.42	0.73
		90 องศา	663.00	417.41	83.48	0.74
15		30 องศา	439.00	324.65	64.93	0.77
		45 องศา	886.00	564.37		0.78
		60 องศา	769.00	472.04	94.41	0.76
		90 องศา	654.00	410.04	82.01	0.79

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 3 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 3 เมตร						
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
16		30 องศา	489.00	340.90	68.18	0.80
		45 องศา	974.00	616.65		0.78
		60 องศา	818.00	511.53		0.77
		90 องศา	901.00	788.92		0.79
17		30 องศา	628.00	400.84	80.17	0.81
		45 องศา	863.00	650.11	130.02	0.79
		60 องศา	1057.00	665.65	133.13	0.79
		90 องศา	845.00	753.75	150.75	0.79

โดย แถวที่ 1 แสดง ลำดับประเภทช่องเปิด

แถวที่ 2 แสดง ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด

แถวที่ 3 แสดง องศาที่ใช้ในการติดตั้ง

แถวที่ 4 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุดในแต่ละจุด

แถวที่ 5 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีจากจำนวนจุดทั้ง11 จุด ที่ทำการวัดปริมาณแสงตามแนวทิศทางการวางช่องเปิด ได้แก่ ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้

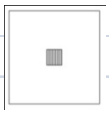
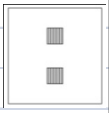
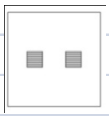
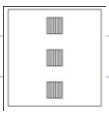
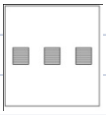
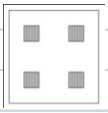
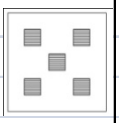
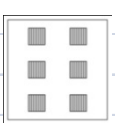
แถวที่ 6 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติโดยคิดเป็นเปอเซ็นต์ จากค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีจากจำนวนจุดทั้ง 11 จุด ที่ทำการวัดปริมาณแสงตามแนวทิศทางการวางช่องเปิด

แถวที่ 7 แสดง สัดส่วนปริมาณแสงประดิษฐ์โดยคิดเป็นเปอเซ็นต์ ที่จะต้องนำมาใช้ควบคู่กับ สัดส่วนปริมาณแสงธรรมชาติเพื่อได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

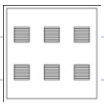
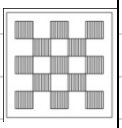
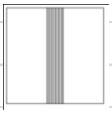
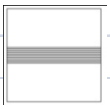
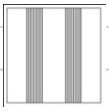
แถวที่ 8 แสดง ค่าความสม่ำเสมอของแสงตลอดทั้งปีโดยเฉลี่ย

หมายเหตุ : แถวที่ 3 ถึง แถวที่ 8 คือ ปริมาณแสงที่ค่าความส่องสว่างตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป ในแง่ของการนำไปใช้งาน ไม่ต้องนำแสงประดิษฐ์มาใช้ควบคู่กัน

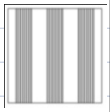
ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 6 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 6 เมตร							
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
ช่องเปิดแบบจุด							
18		30 องศา	71.00	9.45	1.89	98.11	0.82
		45 องศา	30.00	19.49	3.90	96.10	0.70
		60 องศา	50.00	29.98	6.00	94.00	0.76
		90 องศา	52.00	46.76	9.35	90.65	0.71
19		30 องศา	71.00	40.50	8.10	91.90	0.48
		45 องศา	55.00	23.88	4.78	95.22	0.42
		60 องศา	94.00	45.79	9.16	90.84	0.26
		90 องศา	120.00	67.77	13.55	86.45	0.76
20		30 องศา	29.00	18.01	3.60	96.40	0.71
		45 องศา	31.00	18.25	3.65	96.35	0.71
		60 องศา	71.00	40.45	8.09	91.91	0.73
		90 องศา	132.00	83.47	16.69	83.31	0.77
21		30 องศา	106.00	63.60	12.72	87.28	0.51
		45 องศา	74.00	35.53	7.11	92.89	0.48
		60 องศา	143.00	71.09	14.22	85.78	0.34
		90 องศา	181.00	100.53	20.11	79.89	0.78
22		30 องศา	45.00	26.24	5.25	94.75	0.83
		45 องศา	90.00	56.61	11.32	88.68	0.80
		60 องศา	135.00	81.67	16.33	83.67	0.82
		90 องศา	204.00	128.75	25.75	74.25	0.86
23		30 องศา	88.00	48.21	9.64	90.36	0.76
		45 องศา	154.00	84.40	16.88	83.12	0.79
		60 องศา	134.00	84.96	16.99	83.01	0.84
		90 องศา	217.00	131.52	26.30	73.70	0.79
24		30 องศา	105.00	63.16	12.63	87.37	0.80
		45 องศา	168.00	101.54	20.31	79.69	0.84
		60 องศา	162.00	101.78	20.36	79.64	0.83
		90 องศา	309.00	168.34	33.67	66.33	0.76
25		30 องศา	127.00	73.48	14.70	85.30	0.64
		45 องศา	222.00	123.96	24.79	75.21	0.58
		60 องศา	252.00	130.71	26.14	73.86	0.43
		90 องศา	311.00	189.94	37.99	62.01	0.74

ตารางที่ 5.4 (ต่อ) แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 6 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 6 เมตร							
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์))	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
26		30 องศา	105.00	65.35	13.07	86.93	0.86
		45 องศา	186.00	120.13	24.03	75.97	0.92
		60 องศา	228.00	140.02	28.00	72.00	0.81
		90 องศา	319.00	216.75	43.35	56.65	0.87
27		30 องศา	162.00	102.38	20.48	79.52	0.88
		45 องศา	245.00	186.60	37.32	62.68	0.82
		60 องศา	311.00	190.56	38.11	61.89	0.84
		90 องศา	443.00	278.83	55.77	44.23	0.87
28		30 องศา	229.00	144.30	28.86	71.14	0.96
		45 องศา	397.00	277.36	55.47	44.53	0.81
		60 องศา	420.00	267.70	53.54	46.46	0.88
		90 องศา	677.00	425.83	85.17	14.83	0.83
ช่องเปิดแบบแนวยาว							
29		30 องศา	63.00	38.90	7.78	92.22	0.84
		45 องศา	155.00	98.21	19.64	80.36	0.84
		60 องศา	211.00	133.32	26.66	73.34	0.87
		90 องศา	356.00	234.64	46.93	53.07	0.88
30		30 องศา	65.00	42.23	8.45	91.55	0.85
		45 องศา	158.00	96.54	19.31	80.69	0.81
		60 องศา	171.00	113.15	22.63	77.37	0.88
		90 องศา	366.00	228.70	45.74	54.26	1.12
31		30 องศา	168.00	106.55	21.31	78.69	0.85
		45 องศา	340.00	222.70	44.54	55.46	0.89
		60 องศา	370.00	236.41	47.28	52.72	0.82
		90 องศา	579.00	381.09	76.22	23.78	0.90
32		30 องศา	175.00	104.84	20.97	79.03	1.54
		45 องศา	373.00	239.18	47.84	52.16	0.85
		60 องศา	377.00	241.16	48.23	51.77	0.86
		90 องศา	587.00	381.32	76.26	23.74	0.88

ตารางที่ 5.4 (ต่อ) แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 6 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 6 เมตร							
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์))	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
33		**30 องศา**	271.00	165.55	33.11	66.89	0.84
		45 องศา	527.00	314.12	62.82	37.18	0.83
		60 องศา	555.00	352.56	70.51	29.49	0.84
		90 องศา	779.00	505.67			0.88
34		**30 องศา**	263.00	168.64	33.73	66.27	0.82
		45 องศา	495.00	320.10	64.02	35.98	0.86
		60 องศา	421.00	325.19	65.04	34.96	0.99
		90 องศา	787.00	511.73			0.86

โดย แถวที่ 1 แสดง ลำดับประเภทช่องเปิด

แถวที่ 2 แสดง ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด

แถวที่ 3 แสดง องศาที่ใช้ในการติดตั้ง

แถวที่ 4 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุดในแต่ละจุด

แถวที่ 5 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีจากจำนวนจุดทั้ง11 จุด ที่ทำการวัดปริมาณแสงตามแนวทิศทางการวางช่องเปิด ได้แก่ ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้

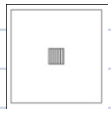
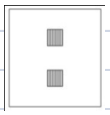
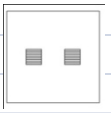
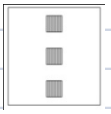
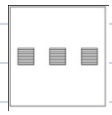
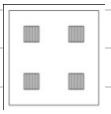
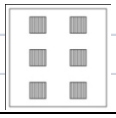
แถวที่ 6 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติโดยคิดเป็นเปอเซ็นต์ จากค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีจากจำนวนจุดทั้ง 11 จุด ที่ทำการวัดปริมาณแสงตามแนวทิศทางการวางช่องเปิด

แถวที่ 7 แสดง สัดส่วนปริมาณแสงประดิษฐ์โดยคิดเป็นเปอเซ็นต์ ที่จะต้องนำมาใช้ควบคู่กับ สัดส่วนปริมาณแสงธรรมชาติเพื่อได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

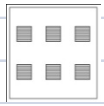
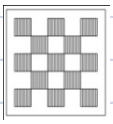
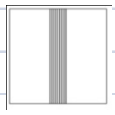
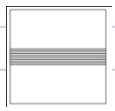
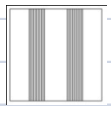
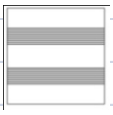
แถวที่ 8 แสดง ค่าความสม่ำเสมอของแสงตลอดทั้งปีโดยเฉลี่ย

หมายเหตุ : แถวที่ 3 ถึง แถวที่ 8 คือ ปริมาณแสงที่ค่าความส่องสว่างตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป ในแง่ของการนำไปใช้งาน ไม่ต้องนำแสงประดิษฐ์มาใช้ควบคู่กัน

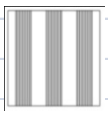
ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 9 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 9 เมตร							
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
ช่องเปิดแบบจุด							
35		30 องศา	16.00	9.77	1.95	98.05	0.81
		45 องศา	12.00	5.52	1.10	98.90	0.74
		60 องศา	27.00	17.09	3.42	96.58	0.84
		90 องศา	35.00	20.78	4.16	95.84	0.73
36		30 องศา	31.00	12.19	2.44	97.56	0.75
		45 องศา	51.00	23.61	4.72	95.28	0.66
		60 องศา	64.00	26.13	5.23	94.77	0.43
		90 องศา	75.00	42.05	8.41	91.59	0.75
37		30 องศา	31.00	12.19	2.44	97.56	0.75
		45 องศา	30.00	19.69	3.94	96.06	0.99
		60 องศา	54.00	31.02	6.20	93.80	0.79
		90 องศา	74.00	40.18	8.04	91.96	0.90
38		30 องศา	37.00	18.00	3.60	96.40	0.75
		45 องศา	65.00	33.76	6.75	93.25	0.72
		60 องศา	12.50	39.55	7.91	92.09	0.43
		90 องศา	99.00	59.59	11.92	88.08	0.80
39		30 องศา	29.00	15.69	3.14	96.86	0.80
		45 องศา	45.00	29.56	5.91	94.09	0.80
		60 องศา	82.00	47.02	9.40	90.60	0.89
		90 องศา	106.00	61.83	12.37	87.63	0.79
40		30 องศา	39.00	23.99	4.80	95.20	0.78
		45 องศา	71.00	41.22	8.24	91.76	0.86
		60 องศา	78.00	45.03	9.01	90.99	0.82
		90 องศา	128.00	23.99	4.80	95.20	2.60
41		30 องศา	48.00	29.84	5.97	94.03	0.78
		45 องศา	88.00	53.67	10.73	89.27	0.85
		60 องศา	72.00	45.03	9.01	90.99	0.82
		90 องศา	167.00	29.84	5.97	94.03	2.84
42		30 องศา	71.00	36.43	7.29	92.71	0.74
		45 องศา	123.00	68.78	13.76	86.24	0.65
		60 องศา	119.00	74.09	14.82	85.18	0.54
		90 องศา	199.00	118.48	23.70	76.30	0.72

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 9 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 9 เมตร							
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
43		30 องศา	52.00	33.59	6.72	93.28	0.89
		45 องศา	100.00	62.94	12.59	87.41	0.88
		60 องศา	119.00	78.64	15.73	84.27	0.82
		90 องศา	192.00	122.36	24.47	75.53	0.84
44		30 องศา	95.00	52.26	10.45	89.55	0.87
		45 องศา	154.00	96.70	19.34	80.66	0.87
		60 องศา	183.00	103.44	20.69	79.31	0.89
		90 องศา	271.00	167.43	33.49	66.51	0.88
45		30 องศา	131.00	81.72	16.34	83.66	0.84
		45 องศา	223.00	139.34	27.87	72.13	0.88
		60 องศา	266.00	152.68	30.54	69.46	0.80
		90 องศา	388.00	244.59	48.92	51.08	0.86
ช่องเปิดแบบแนวยาว							
46		30 องศา	38.00	24.36	4.87	95.13	0.87
		45 องศา	89.00	56.95	11.39	88.61	0.89
		60 องศา	103.00	67.52	13.50	86.50	0.87
		90 องศา	187.00	123.55	24.71	75.29	0.93
47		30 องศา	38.00	24.36	4.87	95.13	0.88
		45 องศา	84.00	55.27	11.05	88.95	0.89
		60 องศา	108.00	72.69	14.54	85.46	0.86
		90 องศา	170.00	114.04	22.81	77.19	0.94
48		30 องศา	80.00	54.44	10.89	89.11	0.89
		45 องศา	180.00	119.10	23.82	76.18	0.87
		60 องศา	210.00	134.17	26.83	73.17	0.86
		90 องศา	365.00	236.20	47.24	52.76	0.91
49		30 องศา	95.00	60.85	12.17	87.83	0.87
		45 องศา	212.00	138.44	27.69	72.31	0.85
		60 องศา	218.00	140.65	28.13	71.87	0.83
		90 องศา	324.00	211.48	42.30	57.70	0.88

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) แสดงปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ความสูง 9 เมตร

ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสงที่มีความสูง 9 เมตร							
ลำดับ	ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด	องศาที่ใช้ในการติดตั้ง skylight shutter	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างทั้งปีโดยเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีที่มีค่าตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิการกระจายแสง (Uniformity)
50		30 องศา	111.00	81.30	16.26	83.74	0.85
		45 องศา	259.00	169.10	33.82	66.18	0.87
		60 องศา	307.00	200.22	40.04	59.96	0.86
		90 องศา	488.00	324.16			0.92
51		30 องศา	121.00	78.19	15.64	84.36	0.85
		45 องศา	280.00	182.32	36.46	63.54	0.87
		60 องศา	298.00	194.99	39.00	61.00	0.86
		90 องศา	504.00	328.04	65.61	34.39	0.94

โดย แถวที่ 1 แสดง ลำดับประเภทช่องเปิด

แถวที่ 2 แสดง ผังหลังคาแสดงรูปแบบช่องเปิด

แถวที่ 3 แสดง องศาที่ใช้ในการติดตั้ง

แถวที่ 4 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุดในแต่ละจุด

แถวที่ 5 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีจากจำนวนจุดทั้ง11 จุด ที่ทำการวัดปริมาณแสงตามแนวทิศทางการวางช่องเปิด ได้แก่ ทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก และทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้

แถวที่ 6 แสดง ปริมาณแสงธรรมชาติโดยคิดเป็นเปอเซ็นต์ จากค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปีจากจำนวนจุดทั้ง 11 จุด ที่ทำการวัดปริมาณแสงตามแนวทิศทางการวางช่องเปิด

แถวที่ 7 แสดง สัดส่วนปริมาณแสงประดิษฐ์โดยคิดเป็นเปอเซ็นต์ ที่จะต้องนำมาใช้ควบคู่กับ สัดส่วนปริมาณแสงธรรมชาติเพื่อได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

แถวที่ 8 แสดง ค่าความสม่ำเสมอของแสงตลอดทั้งปีโดยเฉลี่ย

หมายเหตุ : แถวที่ 3 ถึง แถวที่ 8 คือ ปริมาณแสงที่ค่าความส่องสว่างตั้งแต่ 500 ลักซ์ขึ้นไป ในแง่ของการนำไปใช้งาน ไม่ต้องนำแสงประดิษฐ์มาใช้ควบคู่กัน

ตัวอย่างการนำข้อมูลไปใช้งาน

1. ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการที่อยากจะให้แสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร ที่มีค่าความส่องสว่าง ตั้งแต่ 300 – 500 ลักซ์ ที่ความสูงของอาคาร 3 เมตร แต่ไม่ทราบว่าควรจะเปิดช่องเปิดจำนวนกี่ช่อง หรือ เป็นช่องเปิดประเภทไหน ผู้ออกแบบสามารถ ดูในตารางที่ 5.3 โดยวิธีการเลือกประเภทช่องเปิดหรือ จำนวนช่องเปิดได้ดังนี้

- ดูตารางแถวที่ 5 ที่แสดงปริมาณแสงธรรมชาติที่มีค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปี ซึ่งผู้ออกแบบต้องการปริมาณแสงที่เข้ามาภายในอาคาร 300-500 ลักซ์
- เมื่อได้ค่าความส่องสว่างที่ต้องการแล้ว ให้ดูตารางแถวที่ 2 เพื่อเลือกจำนวนช่องเปิดและประเภทของช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างตั้งแต่ 300 – 500 ลักซ์ ซึ่งประเภทของช่องเปิดที่เลือกนั้น ผู้ออกแบบสามารถเลือกนำไปใช้งานให้มีความเหมาะสมตามตามประเภทของอาคาร

ทั้งนี้ในการเลือกจำนวนช่องเปิดหรือ ประเภทช่องเปิด ผู้ออกแบบสามารถเลือกองศาที่จะติดตั้ง Skylight Shutter ไปพร้อมๆกัน เพื่อให้ได้ปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างที่ตามต้องการ ซึ่งจะสามารถ ดูได้ตารางแถวที่ 3

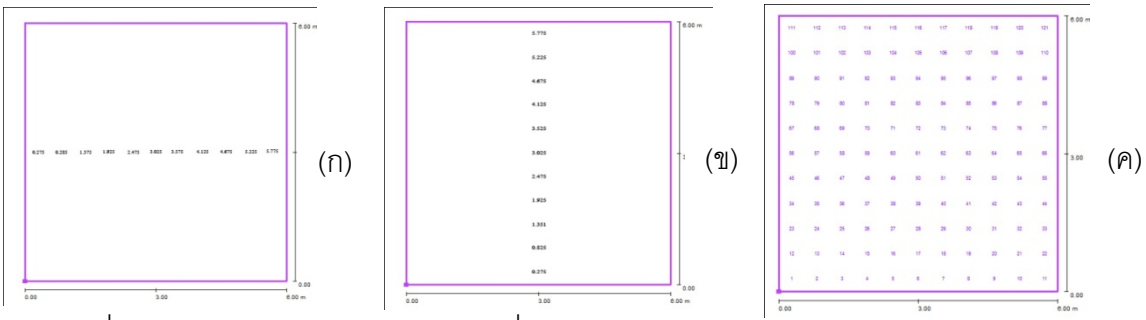
2. ในกรณีที่ผู้ออกแบบจะเปิดช่องเปิดแบบจุดที่ 13 จุด และติดตั้ง Skylight Shutter ที่ 45 องศา ที่ความสูง 6 เมตร แต่ผู้ออกแบบไม่ทราบว่าปริมาณแสง ที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าความส่องสว่างกี่ลักซ์ ดังนั้นวิธีการเลือกนำไปใช้งานสามารถดูได้ตามตารางที่ 5.4 โดยมีวิธีการดังนี้

- ดูตารางแถวที่ 2 ที่แสดงรูปภาพประกอบจำนวนช่องเปิด หลังจากนั้น ดูตารางแถวที่ 3 ว่าติดตั้ง Skylight Shutter ที่กี่องศา
- พอทราบประเภทช่องเปิด และองศาที่จะติดตั้งแล้ว หลังจากนั้น ให้ดูตารางแถวที่ 4 ถึง ตารางแถวที่ 7 ซึ่งเป็นแถวที่แสดงปริมาณแสงที่มีค่าความส่องสว่างสูงสุดเฉพาะจุด และปริมาณแสงที่ค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยทั้งปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการศึกษาวิจัย ทำให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องจำกัดขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้ลงบางส่วน ส่งผลให้ยังคงมีเนื้อหาและประเด็นที่น่าสนใจซึ่งไม่ได้นำมารวมอยู่ในงานวิจัยชิ้นนี้ ดังนั้นเพื่อให้องค์ความรู้ดังกล่าวเกิดความสมบูรณ์และครบถ้วนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะบางประการ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1. งานวิจัยครั้งนี้ควรกำหนดจุดในการทดลองเพื่อหาค่าปริมาณ ทั้งห้อง ไม่ควรคำหนดเพียง 1แนว หรือ 2 แนว เนื่องจาก องศาที่ใช้ในการติดตั้ง Skylight Shutter มีผลต่อ ปริมาณแสงที่เข้ามาภายในอาคาร หากกำหนดเพียงแค่แนวใดแนวหนึ่ง อาจทำให้ ค่าของปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และความสม่ำเสมอของแสง ที่ได้ออก มีความคลาดเคลื่อน



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะการกำหนดจุดเพื่อหาปริมาณของแสงโดยใช้โปรแกรม Dialux 4.10

(ก) จุดที่ทำการวัดปริมาณแสงทั้ง 11 จุด ในแนวทิศเหนือ ไปยัง ทิศใต้

(ข) จุดที่ทำการวัดปริมาณแสงทั้ง 11 จุด ในแนวทิศตะวันตก ไปยัง ทิศตะวันออก

(ค) จุดที่ทำการวัดปริมาณแสงทั้งห้อง จำนวน 121 จุด

1. เนื่องจากในการทดลองไม่ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของแสงในทุกสภาพท้องฟ้า ดังนั้นเพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น จึงควรทำการทดสอบประสิทธิภาพของแสงในสภาพท้องฟ้าแบบอื่น ๆ ด้วย

2. งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาและวิเคราะห์เฉพาะปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจ่ายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสง เท่านั้น ไม่พิจารณาด้านความร้อนที่มาจาก SkylightShutter ที่ผ่านช่องเปิดด้านบนของอาคาร

3. ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรเพิ่มตัวแปรในการเก็บข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น วัสดุใช้ทำ Skylight Shutter เพื่อหาประสิทธิภาพในการสะท้อนของแสง ซึ่งอาจจะทำให้ปริมาณแสง ประสิทธิภาพการกระจายแสง และค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มขึ้น เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กนกวรรณ อุสันโน. รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน: การให้แสงสว่างธรรมชาติ และลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย. เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ชนิดา ประชาศิลป์ชัย. การเปรียบเทียบรูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของแสง กรณีศึกษาห้องแสดงภาพศิลปะในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

นศมา เพี้ยนภักดิ์. รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงที่หลังคาเพื่อการนำแสงธรรมชาติ มาใช้ในอาคารประเภท ซุปเปอร์สโตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

พรรณชลัท สุริโยธิน. วัสดุและการก่อสร้าง : หลอดไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

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

พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสร็จชลธิชา. รูปแบบของช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

มานะ หุตินทะ. แนวทางการออกแบบโดยใช้แสงธรรมชาติในโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

รวิช ควรประเสริฐ. ประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในสำนักงานทั่วไป. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

เสริม จันทร์ฉายและคณะ. การพัฒนาแผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย . กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน / กระทรวงพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

ภาษาอังกฤษ

Ander, D. Daylighting Performance and Design. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

Hopkinson, R.,G. and Kay, J.D. The Lighting of Building. Second Edition. London : Faber and Faber, 1972

IES Lighting Handbook 1983 Reference Volume. New York, 1981.

Moore, F. Concept and Practice of Architectural Daylighting. New York : Van Nostrand Reinhold, 1985.

Stein, B. and John S. R. Mechanical and Electrical Equip : ment for building. 8 th ed., New York : Jhon Wiley & Sons, 1992

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ประไพพักตร์ เทียงดาห์ เกิดเมื่อวันที่ 10 เมษายน พ.ศ.2526 ที่จังหวัดสระบุรี เข้ารับการศึกษาจนถึงระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่โรงเรียนสารคามพิทยาคม และเข้ารับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา จนสำเร็จการศึกษาหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในปีการศึกษา 2549 ปัจจุบันประกอบอาชีพ สถาปนิก ที่บริษัท ปริญสิริ จำกัด (มหาชน)