ปัจจัยในการออกแบบช่องแสงและแผ่นสะท้อนแสงสำหรับอาคารกีฬาในร่ม

นายศรีเชียร ตั้งกมลสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 University Graduate School.

DAYLIGHT APERTURE AND REFLECTOR DESIGN FACTORS FOR INDOOR SPORT BUILDING

Mr. Srichien Tangkamolsuk

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยในการออกแบบช่องแสงและแผ่นสะท้อนแสง สำหรับอาคารกีฬาในร่ม
โดย	นายศรีเชียร ตั้งกมลสุข
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

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

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ศรีเชียร ตั้งกมลสุข : ปัจจัยในการออกแบบช่องแสงและแผ่นสะท้อนแสงสำหรับอาคารกีฬาในร่ม. (DAYLIGHT APERTURE AND REFLECTOR DESIGN FACTORS FOR INDOOR SPORT BUILDING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. พรรณชลัท สุริโยธิน, 133 หน้า.

การนำแสงธรรมชาติ (Daylight) มาใช้ในอาคารเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงาน ดังเช่นสนามกีฬาในร่มหลายแห่ง แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระดับความส่องสว่าง (Illuminance) และความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) ภายในพื้นที่เล่นกีฬา และเพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบการให้แสงธรรมชาติสำหรับอาคารสนามกีฬาในร่ม

ผู้ศึกษาทำการวิจัยโดยสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 ขนาดกว้าง 22 เมตร ยาว 44 เมตร สูง 7 เมตร นำแสงธรรมชาติเข้าทางช่องแสงด้านบนที่หันทางทิศเหนือและทิศใต้ เพื่อวัดค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงธรรมชาติที่พื้นสนามที่ระดับ +0.00 เมตร กำหนดจุดวัดข้อมูลเฉพาะพื้นที่เล่นกีฬาทุก 2.5 เมตรในแนวทิศเหนือและทิศใต้ โดยทำการจำลองในสภาพท้องฟ้าโปร่ง ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม เวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น. ตามลำดับ ซึ่งตัวแปรที่ศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน ความสูงของช่องแสงด้านบน และความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความส่องสว่าง ได้แก่ ความสูงของช่องแสงด้านบนและความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง โดยระดับความส่องสว่างจะแปรผันตามความสูงของช่องแสงด้านบน ในขณะที่ระดับความส่องสว่างแปรผกผันกับความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของแสง ได้แก่ ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนและความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง โดยความสม่ำเสมอของแสงจะแปรผันตามระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนและความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5374135025 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: INDOOR SPORT BUILDING / DAYLIGHT APERTURE / REFLECTOR

SRICHIEN TANGKAMOLSUK: DAYLIGHT APERTURE AND REFLECTOR DESIGN FACTORS FOR INDOOR SPORT BUILDING. ADVISOR: ASSOC. PROF. PHANCHALATH SURIYOTHIN, 133 pp.

Bringing daylight into buildings is a way to reduce energy consumption as some indoor sport buildings have adopted this strategy but it has not been as efficient as expected.

The main purposes of this study were to examine the factors that affect the illuminance and the uniformity of light in the sporting areas and to explore daylighting design guidelines for an indoor sport building.

In this research, a model of an indoor sport building, with a width of 22 meters, length of 44 meters and height of 7 meters, was simulated by DIALux 4.11 program. Based on this model, daylight came through the skylight facing the north and the south. The illuminance and the uniformity of daylight were measured at the ground level of +0.00 meters. The measurement was set at every 2.5 meters along the north-south direction of the sporting areas. The measurement was carried out under clear sky condition on June 21, September 21 and December 21 at 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 and 16.00 respectively. The factors taken into consideration were the spacing between the top lighting apertures, the height of the top lighting apertures and the shape of reflector.

It was found that the factors that affected the illuminance level were the height of the top lighting apertures and the curve reflector. The illuminance level varies according to the height of the top lighting apertures while the illuminance level and the length of the curve vary inversely.

The factors that affected the uniformity of daylight were the spacing between the top lighting apertures and the curve reflector. The uniformity of daylight varies according to those two factors.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานดังนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำในงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาริณี รามสูต ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือระหว่างการวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนเทวี ที่ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะอันเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. นวลวรรณ ทวยเจริญ ที่ชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ การกีฬาแห่งประเทศไทย, กรมยุทธโยธาทหารบก, กรมพละศึกษา และกรุงเทพมหานคร ที่เอื้อเฟื้อแบบอาคารกีฬาในร่ม เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฎ
สารบัญแผนภูมิ ..... ต
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย 2
1.5 ระเบียบวิธีการศึกษา 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.7 ผังลำดับขั้นตอนในการทำงานวิจัย 4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง (Illuminance Theory) 5
2.1.1 ความเข้มแสง (Luminous intensity, I) 5
2.1.2 ความสว่าง (Illuminance, E) 5
2.1.3 ความส่องสว่าง (Luminance, L) 5
2.1.4 ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) 5
2.3 การโคจรของดวงอาทิตย์ 6
2.3.1 การโคจรของดวงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้แสงสว่างธรรมชาติ 6

หน้า

2.3.2 แผนผังการโคจรของดวงอาทิตย์ 6
2.3.3 การวางทิศทางอาคารและช่องเปิด 8
2.4 สภาพท้องฟ้า 8
2.4.1 ท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) 8
2.4.2 ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) 8
2.4.3 ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก (Overcast sky) 8
2.5 การออกแบบแสงธรรมชาติ (The Utilize of Daylighting) 9
2.5.1 ช่องแสงด้านบน 9
2.5.2 ช่องแสงด้านบนและมีตัวสะท้อน 10
2.5.3 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งสูง 10
2.5.4 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งกลาง 11
2.5.5 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งต่ำ 11
2.6 การออกแบบสนามกีฬาในร่ม 13
2.6.1 ขนาดสนามกีฬา 13
2.7 การออกแบบแสงสว่างสำหรับสนามกีฬาในร่ม 14
2.7.1 การออกแบบแสงสว่างสำหรับสนามกีฬา 14
2.7.2 มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับกีฬาแต่ละประเภท 15
2.8 โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพแสงสว่าง 16
2.10 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18
2.10.1 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 1 18
2.10.2 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 2 21
2.10.3 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 3 23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 27
3.1 สมมติฐานงานวิจัย 27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.2 การกำหนดตัวแปรในการศึกษา 27
3.3 การกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 28
3.4 รูปแบบการทดลอง 30
3.5 การกำหนดวิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล 31
3.6 การประเมินผลการทดลอง 31
3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง 31
3.8 สรุปผลการทดลอง 32
บทที่ 4 ผลการทดลอง 33
4.1 ผลการทดลองกรณีศึกษาแบบที่ 1.1 - 1.9 33
4.2 ผลการทดลองกรณีศึกษาแบบที่ 2.1 – 2.5 48
4.3 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.1 – 3.4 60
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 72
5.1 บทสรุป 72
5.2 การแนะนำข้อมูลไปใช้ในงานออกแบบสำหรับสถาปนิก 73
5.2.1 โนโมกราฟ 74
5.2.2 ตัวอย่างการใช้โนโมกราฟ 85
5.2.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากโนโมกราฟและโปรแกรม DIALux 4.11 87
5.3 การประยุกต์ใช้งานกับแบบมาตรฐาน 89
5.4 ข้อเสนอแนะ 96
รายการอ้างอิง 97
ภาคผนวก 99
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง 100
ภาคผนวก ข แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงกับวันของกรณีศึกษา 1, 2 และ 3 118

หน้า

ภาคผนวก ค แบบมาตรฐานอาคารกีฬาในร่ม 124
ภาคผนวก ง ตำแหน่งดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้องสำหรับละติจูด 14 องศาเหนือ 132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1ขนาดสนามกีฬา 13

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการส่องสว่างของกีฬาในร่ม 15

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการส่องสว่างของกีฬาแบดมินตัน 15

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการส่องสว่างของกีฬาบาสเกตบอล 16

ตารางที่ 2.5 แบบมาตรฐานอาคารกีฬาในร่ม 17

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าสะท้อนแสงวัสดุ 18

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าการส่องผ่านของกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น 18

ตารางที่ 2.8 ผลการทดลองตัวอย่างงานวิจัยที่ 1 21

ตารางที่ 3.1 กรณีศึกษาที่ 1 30

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 1.1 – 1.9 แนวทิศเหนือ – ทิศใต้ 33

ตารางที่ 4.2 กรณีศึกษาที่ 2 48

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 2.1 – 2.5 แนวทิศเหนือ – ทิศใต้ 49

ตารางที่ 4.4 กรณีศึกษาที่ 3 61

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.1 – 3.4 แนวเหนือ – ทิศใต้ 61

ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบโนโมกราฟและ DIALux 4.11 87

ตารางที่ 5.2 ความแตกต่าง(%)ระหว่างโนโมกราฟและ DIALux 4.11 88

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 สนามกีฬาในร่ม 1

ภาพที่ 2.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ 6

ภาพที่ 2.2 แผนภูมิดวงอาทิตย์ 7

ภาพที่ 2.3 ช่องแสงด้านบน 9

ภาพที่ 2.4 ช่องแสงด้านบนและมีตัวสะท้อน 10

ภาพที่ 2.5 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งสูง 10

ภาพที่ 2.6 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งกลาง 11

ภาพที่ 2.7 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งต่ำ 11

ภาพที่ 2.8 โปรแกรม DIALux 16

ภาพที่ 2.9 รูปแบบอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสาคามพิทยาคม 19

ภาพที่ 2.10 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Clearstory 19

ภาพที่ 2.11 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Sawtooth 20

ภาพที่ 2.12 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Two-story 20

ภาพที่ 2.13 แสดงทิศทางการสะท้อนของแสงที่เกิดจากโคมแต่ละลักษณะ 22

ภาพที่ 2.14 การทดลองโดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน 23

ภาพที่ 2.15 รูปแบบสัดส่วนของช่องเปิดที่รับแสงธรรมชาติ 24

ภาพที่ 2.16 หลังคาแบบ Two- story 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 2. 17 โคมลักษณะโค้งหงาย 25

ภาพที่ 3.1 ตัวแปรในการศึกษา 27

ภาพที่ 3.2 จุดวัดระดับความส่องสว่าง 28

ภาพที่ 3.3 ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ 29

ภาพที่ 4.1 กรณีศึกษาที่ 1.4 เปรียบเทียบการเพิ่มโคมสะท้อนแสง 34

ภาพที่ 4.2 กรณีศึกษาที่ 1.7 เปรียบเทียบการเพิ่มโคมสะท้อนแสง 34

ภาพที่ 4.3 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.4 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 35

ภาพที่ 4.4 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.3 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 36

ภาพที่ 4.5 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.5 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม 36

ภาพที่ 4.6 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.2 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 37

ภาพที่ 4.7 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.7 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 37

ภาพที่ 4.8 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.8 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.9 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.1 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม 38

ภาพที่ 4.10 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.6 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 39

ภาพที่ 4.11 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.3 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม 39

ภาพที่ 4.12 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนมิถุนายน 45

ภาพที่ 4.13 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนกันยายน 45

ภาพที่ 4.14 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนธันวาคม 46

ภาพที่ 4.15 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.5เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 50

ภาพที่ 4.16 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.3 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 50

ภาพที่ 4.17 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.4 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 51

ภาพที่ 4.18 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.2 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 51

ภาพที่ 4.19 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.1 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.20 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน 57

ภาพที่ 4.21 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนกันยายน 57

ภาพที่ 4.22 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนธันวาคม 58

ภาพที่ 4.23 แผ่นสะท้อนแสงโค้ง 60

ภาพที่ 4.24 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.1 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม 62

ภาพที่ 4.25 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.2 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม 62

ภาพที่ 4.26 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.3 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 63

ภาพที่ 4.27 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.4 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม 63

ภาพที่ 4.28 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน 68

ภาพที่ 4. 29 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนกันยายน 69

ภาพที่ 4.30 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนธันวาคม 70

ภาพที่ 5.1 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน 76

ภาพที่ 5.2 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนกันยายน 77

ภาพที่ 5.3 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนธันวาคม 78

ภาพที่ 5.4 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน 80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 5.5 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนกันยายน..... 81

ภาพที่ 5.6 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนธันวาคม 82

ภาพที่ 5.7 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างของเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 83

ภาพที่ 5.8 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงของเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน 84

ภาพที่ 5.9 การใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน 85

ภาพที่ 5.10 การใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน..... 86

ภาพที่ 5.11 อาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบกก่อนปรับปรุง..... 89

ภาพที่ 5.12 อาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบกหลังปรับปรุง 90

ภาพที่ 5.13 จุดวัดแสง อาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก..... 90

ภาพที่ 5.14 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน..... 92

ภาพที่ 5.15 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน..... 93

ภาพที่ 5.16 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน..... 94

ภาพที่ 5.17 แสงธรรมชาติผ่านเกล็ดระบายอากาศ 95

ภาพที่ 6.1โรงกีฬาอเนกประสงค์ กรมยุทธโยธาทหารบก..... 124

ภาพที่ 6.2 โรงกีฬาอเนกประสงค์ 200 คน กรมยุทธโยธาทหารบก 125

ภาพที่ 6.3 โรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก 126

ภาพที่ 6.4 โรงกีฬาอเนกประสงค์ขนาด 30 x 50 เมตร กรมพละศึกษา 127

ภาพที่ 6.5 อาคารกีฬาในร่ม กรุงเทพมหานคร 128

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 6.6 อาคารฝึกซ้อมกีฬาในร่ม กรุงเทพมหานคร 129

ภาพที่ 6.7อาคารโรงพละศึกษา 1000 ที่นั่ง การกีฬาแห่งประเทศไทย 130

ภาพที่ 6.8 อาคารโรงพละศึกษา 4000 ที่นั่ง การกีฬาแห่งประเทศไทย..... 131

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนมิถุนายน..... 40

แผนภูมิที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนกันยายน..... 41

แผนภูมิที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนธันวาคม 41

แผนภูมิที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนมิถุนายน..... 42

แผนภูมิที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนกันยายน..... 43

แผนภูมิที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนธันวาคม 44

แผนภูมิที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน..... 53

แผนภูมิที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนกันยายน..... 53

แผนภูมิที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนธันวาคม 54

แผนภูมิที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน..... 55

แผนภูมิที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนกันยายน..... 55

แผนภูมิที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนธันวาคม 56

แผนภูมิที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน..... 64

แผนภูมิที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนกันยายน..... 65

แผนภูมิที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนธันวาคม 65

แผนภูมิที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน..... 66

แผนภูมิที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนกันยายน..... 67

แผนภูมิที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนธันวาคม 67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาสิ่งแวดล้อมและพลังงานเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์และจะส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังคนรุ่นต่อไป หากมีการใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือย โดยเฉพาะทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานจากธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทและมีส่วนช่วยในด้านการใช้พลังงาน

การประหยัดพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบอาคารในปัจจุบัน จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อหาวิธีลดการใช้พลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร การใช้พลังงานจากธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความนิยม

การนำแสงธรรมชาติ (Daylight) มาใช้ในอาคารเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ เพราะอาคารในปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอย่างต่อเนื่อง การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารจึงสามารถลดปริมาณการใช้แสงประดิษฐ์ลงได้ การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารมีอยู่ 2 วิธีหลัก ได้แก่ การนำแสงเข้าสู่อาคารทางด้านข้าง (Side light) และการนำแสงเข้าสู่อาคารทางด้านบน (Top light) ซึ่งเหมาะสำหรับอาคารที่มีช่วงพาดยาวและมีความสูงมาก

อาคารสนามกีฬาในร่มเป็นอาคารช่วงพาดยาวและมีความสูงมาก แต่จากการศึกษาพบว่าร่มส่วนใหญ่มีพบปัญหาของความสว่างที่ไม่เพียงพอ เป็นอุปสรรคต่อนักกีฬาและผู้ชมการแข่งขัน นอกจากนี้ยังมีการใช้แสงประดิษฐ์เป็นจำนวนมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก เนื่องจากเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่

ภาพที่ 1.1 สนามกีฬาในร่ม

ที่มา:ผู้วิจัย

ผู้ออกแบบอาคารสนามกีฬาในร่มบางแห่งพยายามนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ดังจะเห็นได้จากการเจาะช่องเปิดด้านข้างเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารแต่กลับสร้างปัญหาเรื่องแสงบาดตากับผู้เล่นกีฬา ซึ่งการออกแบบแสงสว่างอาคารสนามกีฬาในร่มที่ดีและถูกต้องตามมาตรฐาน มีส่วนสำคัญที่ช่วยให้นักกีฬาหรือผู้ที่ออกกำลังกายสามารถเล่นกีฬาได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและยังรวมไปถึงผู้ชมให้สามารถชมการแข่งขันได้อย่างชัดเจนและสบายตา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงภายในพื้นที่เล่นกีฬาของอาคารกีฬาในร่ม

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารสนามกีฬาในร่มที่มีการใช้แสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาเฉพาะตัวแปรที่มีผลต่อระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงเท่านั้น

1.3.2 สถานที่ที่ใช้จำลองสภาพตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร (เขตละติจูดที่ 14 องศาเหนือ)

1.3.3 ทำการศึกษาเฉพาะวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายนและ 21 ธันวาคม

1.3.4 ไม่ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความร้อนจากแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นในสนามกีฬาในร่ม

1.3.5 บทสรุปของงานวิจัยสามารถนำไปใช้ได้กับช่องแสงด้านบนที่หันไปทางทิศเหนือและทิศใต้เท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.4.1 ไม่ทำการศึกษาเรื่องแสงบาดตา เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ทำการศึกษา

1.5 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.5.1 สำรวจข้อมูลการออกแบบอาคารกีฬาในร่ม ดังนี้

- ขนาดพื้นที่เล่นกีฬา
- ประเภทวัสดุของพื้น ผนังและฝ้าเพดาน
- รูปแบบช่องแสงและขนาดของช่องแสง

1.5.2 ใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 เพื่อทำการศึกษาระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- แบบจำลองขนาดกว้าง 22 เมตร ยาว 44 เมตร สูง 7 เมตร
- กำหนดลักษณะท้องฟ้าเป็นท้องฟ้าโปร่ง
- กำหนดค่าการสะท้อน พื้น = 25%, ผนัง = 50%, เพดาน = 60%, โคมสะท้อนแสง 90% และกระจก 7% ค่าการส่องผ่าน 89%
- ตำแหน่งทิศทางการวางช่องแสง 2 ทิศ (ทิศเหนือและทิศใต้)
- กำหนดจุดที่วัดข้อมูล ที่ระยะจากขอบพื้นที่เล่นกีฬาทุก 2.5 เมตร ในแนวทิศตะวันตก – ทิศตะวันออกและแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ที่ระดับ +0.00
- ทำการทดลองในวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม เวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น.

1.5.3 สรุปประมวลผลการวิจัย จากข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 ทั้ง 5 เวลาของทั้ง 3 วัน เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพด้านระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง

1.5.4 อภิปรายผลการวิจัยประสิทธิภาพการให้แสงสว่างธรรมชาติของแต่ละรูปแบบ

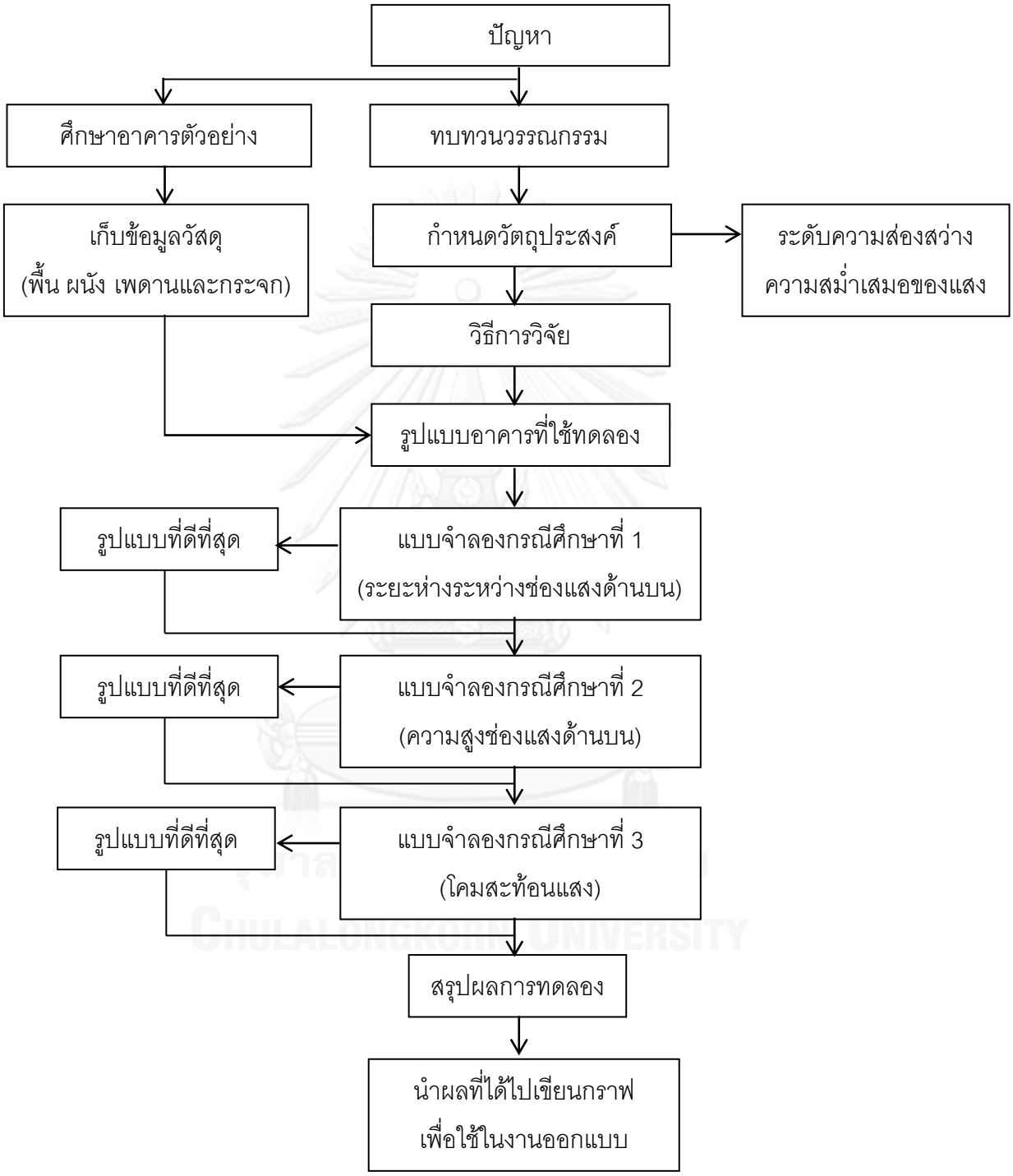
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1เพื่อทราบตัวแปรที่มีผลต่อ ระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงภายในพื้นที่เล่นกีฬา

1.6.2 เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบอาคารสนามกีฬาในร่มที่มีการใช้แสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 ผังลำดับขั้นตอนในการทำงานวิจัย



บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง (Illuminance Theory)

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ คลื่นของแสงประกอบด้วยสเปกตรัมของสีหลายสี ซึ่งทำให้สามารถเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆ โดยนิยามที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่างมีดังนี้

2.1.1 ความเข้มแสง (Luminous intensity, I)

ความเข้มแสงเป็นค่าปริมาณของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่แตกต่างกัน ในแต่ละทิศทางสามารถวัดปริมาณของฟลักซ์แสงสว่าง มีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candlepower, cd)

2.1.2 ความสว่าง (Illuminance, E)

ความสว่าง คือ ปริมาณของแสง 1 หน่วย ที่ตกบนพื้นผิว มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือ ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร หรือเท่ากับ 1 lux ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่าง (illumination) กับความเข้มแสง (intensity)

2.1.3 ความส่องสว่าง (Luminance, L)

ปริมาณแสงที่กระทบพื้นผิวใดๆสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ทำให้มองเห็นวัตถุนั้นมีความส่องสว่าง มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือ ฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert)

2.1.4 ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity)

ระดับความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) มีค่าตั้งแต่ 0-1 ซึ่งค่ามากจะหมายถึงการมีระดับความสม่ำเสมอของแสงที่ดี โดยระดับความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity ratio) สามารถหาได้ดังสมการ

$$\text{Uniformity} = \frac{\text{Emin}}{\text{Eave}}$$

เมื่อ Emin คือ ค่าความสว่างของปริมาณแสงต่ำสุด

Eave คือ ค่าความสว่างของปริมาณแสงโดยเฉลี่ย

2.3 การโคจรของดวงอาทิตย์

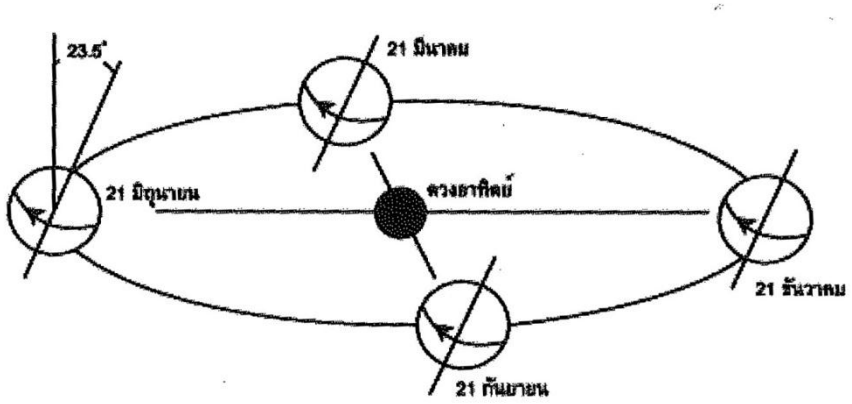
2.3.1 การโคจรของดวงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้แสงสว่างธรรมชาติ

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ ในเวลา 365 วัน และหมุนรอบตนเองในเวลา 1 วัน โดยที่การหมุนรอบแกนเหนือ-ใต้ เอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉาก 23.5 องศา และจากการหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี โดยทิศทางการส่องแสงของดวงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนไป ในวันที่ต่างกันซึ่งมีความสำคัญ คือ

วันที่ 21 มีนาคมและกันยายน เป็นวันที่เวลากลางวันเท่ากับกลางคืน เรียกว่า Equinox

วันที่ 21 มิถุนายน เป็นวันที่เวลากลางวันยาวกว่ากลางคืนมากที่สุด เรียกว่า Summer solstice

วันที่ 21 ธันวาคม เป็นวันที่มีเวลากลางคืนยาวกว่ากลางวันมากที่สุด เรียกว่า Winter solstice



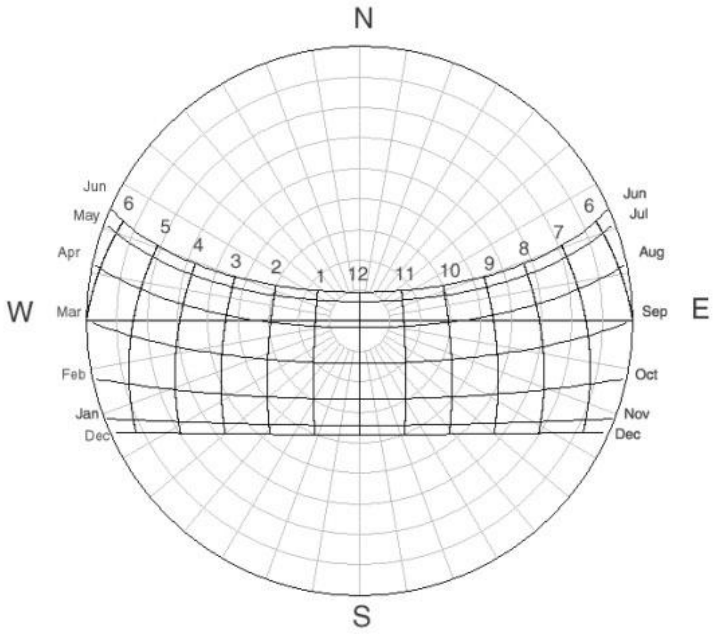
ภาพที่ 2.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
ที่มา: ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2553

งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดวันที่ทำการศึกษา เป็นวันที่ 21 มิถุนายน กันยายนและธันวาคม ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่สำคัญของการโคจร

2.3.2 แผนผังการโคจรของดวงอาทิตย์

แผนผังการโคจรของดวงอาทิตย์ เป็นแผนผังหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งและทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ ข้อมูลในแผนผังประกอบไปด้วยรายละเอียดต่างๆ เช่น ทิศทาง (แนวแกนเหนือ – ใต้ หรือตะวันออก – ตะวันตก) มุมแอลติจูด มุมแอซิมัท เวลา วันและเดือน จุด

ศูนย์กลางของตำแหน่งอาคารอ้างอิง เส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์ เป็นต้น (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ 2553)



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิดวงอาทิตย์

ที่มา: SOLRPATH Oh, 2000

สำหรับกรุงเทพฯ จะใช้แผนผังการโคจรของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 14 องศาเหนือ สำหรับที่ตั้งอื่นๆนั้น อาจจะต้องพิจารณาตามตำแหน่งละติจูดหรือใช้ละติจูดที่ใกล้เคียงกัน

อาคารที่มีช่องแสงหันไปทางทิศตะวันออก จะได้รับอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์ตั้งแต่ช่วงเช้า – เที่ยงวัน ตลอดปี ส่วนช่วงบ่ายจะไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์เนื่องจากดวงอาทิตย์โคจรพ้นช่องแสงไปแล้ว ส่วนช่องแสงที่หันไปทางทิศตะวันตก อิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์จะตรงข้ามกับทิศตะวันออก ในขณะที่อาคารที่มีช่องแสงหันไปทางทิศเหนือหรือทิศใต้ จะได้รับอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ดังนั้นอาคารที่มีช่องแสงหันไปทางทิศเหนือและทิศใต้จึงมีความสม่ำเสมอของแสงมากกว่าหันไปทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

2.3.3 การวางทิศทางอาคารและช่องเปิด

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยความสว่างท้องฟ้าของประเทศไทยในช่วงเวลา 08.00-17.00 น. ตลอดทั้งปี 2542ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) พบว่าความสว่างของท้องฟ้าในทิศต่างๆมีความแตกต่างดังนี้

ทิศเหนือ	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ	10-20	กิโลลักซ์
ทิศใต้	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ	15-40	กิโลลักซ์
ทิศตะวันออก	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ	5-58	กิโลลักซ์
ทิศตะวันตก	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ	7-43	กิโลลักซ์

จากข้อมูลดังกล่าวทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เป็นทิศที่มีความส่องสว่างมาก ซึ่งปริมาณความร้อนจะมากตามไปด้วย และค่าความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำเมื่อเทียบกับทิศเหนือและทิศใต้ โดยค่าความสม่ำเสมอของแสงสังเกตได้จากส่วนต่างของค่ามากที่สุดกับค่าที่น้อยที่สุด ซึ่งทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีค่าของส่วนต่างมากกว่าทิศเหนือและทิศใต้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการศึกษาช่องเปิดในทิศเหนือและทิศใต้ (พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ 2543)

2.4 สภาพท้องฟ้า

2.4.1 ท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)

สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมน้อย โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าประมาณ 0-30 เปอร์เซ็นต์

2.4.2 ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky)

สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเป็นบางส่วน โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าประมาณ 40-70 เปอร์เซ็นต์

2.4.3 ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก (Overcast sky)

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเป็นส่วนมาก โดยปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (CIBSE 2009)

งานวิจัยกำหนดสภาพท้องฟ้าแบบท้องฟ้าโปร่ง เนื่องจากท้องฟ้าในประเทศไทยมีเมฆปกคลุมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และต้องการศึกษาประสิทธิภาพของช่องเปิด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5 **การออกแบบแสงธรรมชาติ** (The Utilize of Daylighting)

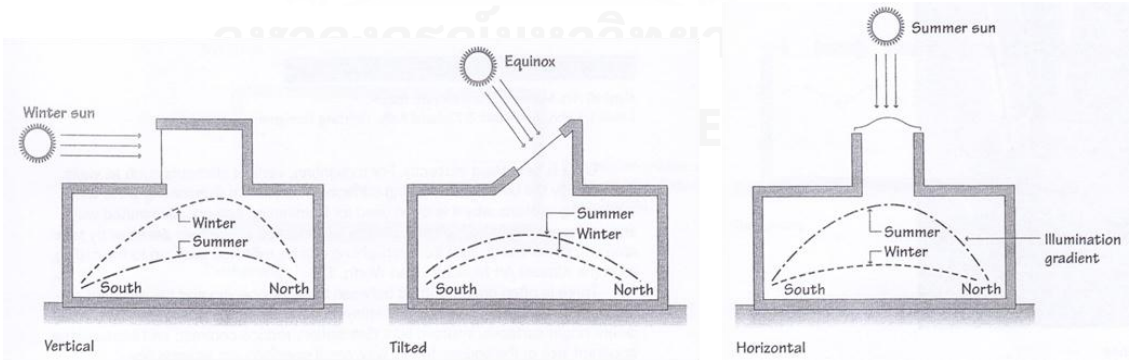
การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารนั้นเพื่อให้เกิดความสว่าง และช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร สามารถทำได้โดยการให้แสงจากดวงอาทิตย์นี้ส่องผ่านช่องแสงด้านบนหลังคา (Skylight) จะต้องมีการควบคุมปริมาณแสงให้มีความพอดีต่อความต้องการ และต้องมีการป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation) (พิรัส 2541)

ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการให้ความสว่างแก่อาคารนั้น ในแต่ละวัน แต่ละฤดูกาลจะมีค่าแตกต่างกันไป ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาการนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคาร เป็นต้นว่า ในช่วงเช้าแสงอาทิตย์จะมีความเข้มน้อยกว่าในช่วงบ่าย หรือแสงที่ได้จากทางด้านทิศเหนือจะมีความเข้มของแสงน้อยกว่าทางด้านทิศใต้ เป็นต้น (รัฐพล รุญเจริญ 2542)

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร จึงได้ทำการศึกษาตัวอย่างของรูปแบบช่องเปิดแบบต่างๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

2.5.1 **ช่องแสงด้านบน**

เป็นการเปิดช่องแสงด้านบนโดยให้แสงจากดวงอาทิตย์เข้ามาโดยตรง (Direct light) ซึ่งจะทำให้ได้รับปริมาณแสงสว่างมากแต่ก็จะมีปัญหาเรื่องความร้อนที่เข้ามามากด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงด้วยการออกแบบส่วนบังแดด เพื่อป้องกันแสงที่ผ่านเข้ามาโดยตรง แต่รูปแบบดังกล่าวนี้เป็นที่นิยมในประเทศเขตหนาวเพราะต้องการความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางช่องแสงด้านบนด้วย(M. David Egan 2002)



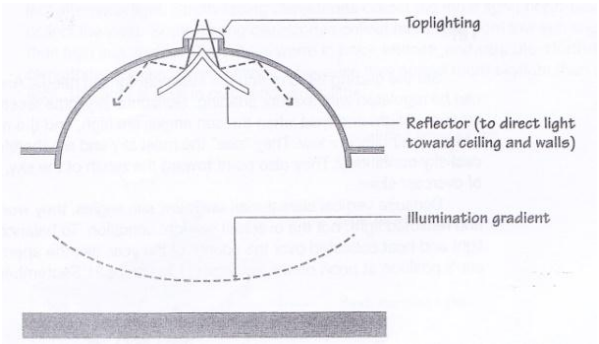
ภาพที่ 2.3 ช่องแสงด้านบน

ที่มา: M. David Egan, 2002

ข้อดี: แสงเข้ามาทั่วถึง

ข้อเสีย: ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง อาจทำให้ปริมาณแสงที่ส่องเข้ามามากเกินไป ทำให้เกิดตาพร่าและมีแสงแยงตาได้ รวมถึงมีปริมาณความร้อนที่เข้ามาจากแสงด้านบนมากด้วยเช่นกัน

2.5.2 **ช่องแสงด้านบนและมีตัวสะท้อน**



ภาพที่ 2.4 ช่องแสงด้านบนและมีตัวสะท้อน

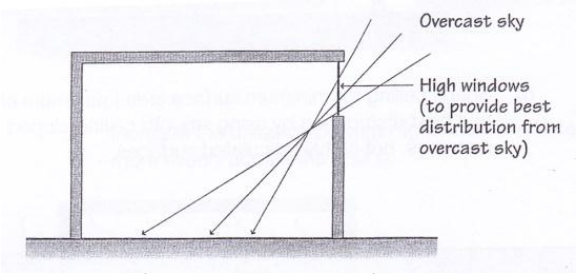
ที่มา: M. David Egan, 2002

ข้อดี: ปริมาณแสงที่ส่องยังรอบๆบริเวณมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากการสะท้อนของเพดานโค้งกับตัวสะท้อนแสงอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสีย: แสงเข้าด้านบนทำให้เกิดปัญหาเรื่องการได้รับความร้อนโดยตรง

2.5.3 **ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งสูง**

ช่องแสงลักษณะนี้จะให้ปริมาณแสงสว่างที่มากในบริเวณใกล้กับช่องแสง และถ้าไม่มีการใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้างในระดับสายตา ห้องดังกล่าวจะขาดการเชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมภายนอกซึ่งถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอาคารที่มีการใช้งานบ่อย



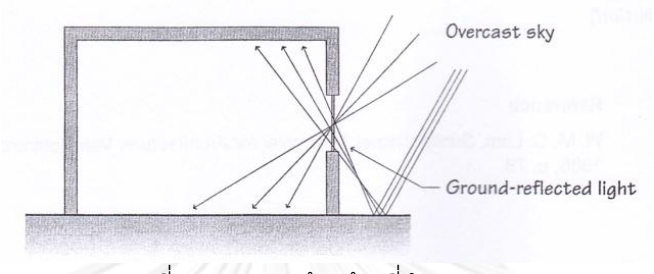
ภาพที่ 2.5 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งสูง

ที่มา: M. David Egan, 2002

ข้อดี: สามารถให้แสงเข้ามาได้ลึกกว่าการเปิดช่องแสงที่ตำแหน่งต่ำๆ ทำให้แสงทั่วถึงกันทั้งห้อง

ข้อเสีย: บริเวณใต้ช่องแสงปริมาณแสงไม่เพียงพอ

2.5.4 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งกลาง



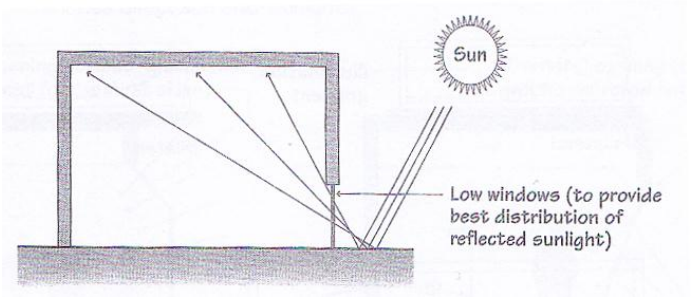
ภาพที่ 2.6 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งกลาง

ที่มา: M. David Egan, 2002

ข้อดี: มีการเชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมภายนอก และทัศนะวิสัยทางการมองที่ดีกว่า

ข้อเสีย: ปริมาณแสงอาจจ้าเกินไปในส่วนที่ติดกับช่องแสง ทำให้ผนังสว่างมากเกินไป

2.5.5 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งต่ำ



ภาพที่ 2.7 ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งต่ำ

ที่มา: M. David Egan, 2002

ข้อดี: ไม่มีปัญหาเรื่องแสงบาดตาและความร้อนจากแสงแดด

ข้อเสีย: ขาดการเชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมภายนอกซึ่งถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอาคารที่มีการใช้งานบ่อย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การใช้ช่องแสงด้านบนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้มากกว่าช่องแสงด้านข้าง เนื่องจากช่องแสงด้านบนอยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถรับความจ้าได้มากกว่าแสงจากหน้าต่างด้านข้าง ทำให้สามารถออกแบบให้รับปริมาณแสงภายนอกได้มากกว่า นอกจากนั้นช่องแสงด้านบนสามารถให้แสงเข้ามาในพื้นที่ที่ต้องการได้ลึก

ดังนั้นช่องแสงด้านบนจึงเหมาะสมสำหรับอาคารกีฬาในร่มมากกว่าช่องแสงด้านข้าง เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ได้จากช่องแสงด้านบน มีการกระจายในทุกทิศทาง ส่วนแสงธรรมชาติที่ได้จากช่องแสงด้านข้างจะเพียงพอต่อการใช้งานเพียงบริเวณ 2 – 3 เมตรจากหน้าต่าง ซึ่งลักษณะอาคารกีฬาในร่มมักจะมีขนาดใหญ่ ทำให้บริเวณกลางอาคารมีแสงสว่างไม่เพียงพอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 การออกแบบสนามกีฬาในร่ม

2.6.1 ขนาดสนามกีฬา

จากตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งขนาดของพื้นที่เล่นกีฬาออกเป็น 4 ขนาด โดยงานวิจัยนี้เลือกรูปแบบที่ 2 ขนาด 22x44x7 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.12 มาใช้ในการวิจัย เนื่องจากเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดมาตรฐาน และสามารถจัดแข่งกีฬาได้ทุกประเภท(Ernst and Peter 2000)

ตารางที่ 2.1ขนาดสนามกีฬา

รูปแบบ	ขนาด (ม.)	พื้นที่เล่นกีฬา ($ม^2$)	ชนิดกีฬา	จำนวนสนาม (การฝึกซ้อม)	จำนวนสนาม (การแข่งขัน)
1	15x27x5.5	405	แบดมินตัน	4	-
			บาสเกตบอล	1	-
			วอลเล่ย์บอล	1	-
2	**22x44x7**	**968**	**แบดมินตัน**	**6**	**5**
			บาสเกตบอล	**-**	**1**
			ฟุตซอล	**-**	**1**
			แฮนบอล	**-**	**1**
			ฮ๊อกกี้	**-**	**1**
			วอลเล่ย์บอล	**3**	**1**
3	27x45x7	1215	แบดมินตัน	12	5
			บาสเกตบอล	3	1
			ฟุตซอล	-	1
			แฮนบอล	-	1
			วอลเล่ย์บอล	3	1
4	27x60x7	1620	แบดมินตัน	16	7
			บาสเกตบอล	4	2
			ฟุตซอล	-	1
			แฮนบอล	-	1
			ฮ๊อกกี้	-	1
			วอลเล่ย์บอล	4	1

ที่มา: Ernst and Peter, 2000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 การออกแบบแสงสว่างสำหรับสนามกีฬาในร่ม

2.7.1 การออกแบบแสงสว่างสำหรับสนามกีฬา

การออกแบบแสงสว่างสำหรับสนามกีฬาในร่มจะแตกต่างจากการออกแบบแสงทั่วไป เพราะต้องให้ผู้เล่นและผู้ชมสามารถมองเห็นวัตถุ สี ระยะห่างและการเคลื่อนไหวอย่างชัดเจน ดังนั้นระดับความส่องสว่างในแนวราบและแนวดิ่ง ความสม่ำเสมอของแสง สีและคุณภาพสี จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบแสงสว่างสำหรับสนามกีฬาในร่ม

1. การจัดไฟส่องสว่างในระดับแนวราบ (Illuminance in the horizontal plane)

เนื่องจากบริเวณที่มีการแข่งขันกีฬา เป็นจุดที่มีความสำคัญมากสำหรับการมองเห็นของทั้งผู้แข่งขันและผู้ชม ดังนั้นการจัดไฟส่องสว่างแนวราบในระดับพื้น จึงทำหน้าที่ในการปรับสภาพสายตาให้กับผู้แข่งขันและผู้ชม การจัดไฟให้มีความสว่างในแนวราบอย่างเพียงพอ จึงมีความสำคัญมาก (Sport England 2012)

โดยระนาบวัดแสงในระดับแนวราบแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้

- ที่ระนาบ +0.00 ม. เนื่องมาจากที่ระนาบ +0.00 มีเส้นขอบเขตของสนามและยังมีกีฬาบางประเภทเล่นบนพื้นสนาม เช่น ฟุตบอล
- ที่ระนาบ +1.50 ม. เนื่องมาจากเป็นระดับสายตา ทำให้ผู้เล่นมองเห็นผู้ร่วมแข่งขันได้อย่างชัดเจน

โดยงานวิจัยนี้เลือกระนาบวัดแสงที่ +0.00 ม. เนื่องมาจากระดับ +0.00 ม. อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดมากกว่าระดับ 1.50 ม. ซึ่งมีโอกาสที่ความส่องสว่างที่ระดับ +0.00 ม. จะน้อยกว่าที่ระดับ +1.50 ม.

2. การจัดไฟส่องสว่างในระดับแนวดิ่ง (Illuminance in the vertical plane)

การจัดไฟส่องสว่างในแนวดิ่ง มีความจำเป็นสำหรับการมองวัตถุในแนวดิ่งและเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถมองเห็นตัวผู้เล่น ได้ชัดเจนและแม่นยำสูงสุดในทุกทิศทาง การกำหนดคุณสมบัติของแสงไฟในแนวดิ่ง เพื่อช่วยให้ทั้งผู้เล่นและผู้ชมสามารถมองเห็นลูกบอลหรือวัตถุที่ใช้ในการแข่งขันได้ชัดเจน ไม่ว่าลูกบอลหรือวัตถุนั้นจะอยู่สูงจากบริเวณที่ทำการแข่งขันเพียงใดก็ตาม

3. ความสม่ำเสมอของแสงสว่าง (Uniformity)

ความสม่ำเสมอของแสงสว่างทั้งในระดับแนวราบและแนวดิ่ง มีความสำคัญในการป้องกันการเกิดแสงตัดกันและการมองเห็นที่ไม่ชัดเจนของผู้เล่นและผู้ชม หากแสงไม่มีความสม่ำเสมอมาก

พอ ทำให้เป็นไปได้มากที่ผู้เล่นหรือผู้ชม จะไม่สามารถมองเห็นผู้เล่นอีกฝ่าย ลูกบอลหรือวัตถุอื่นได้ชัดเจนเพียงพอ

4. สีและคุณภาพสี

ในกีฬาหลายประเภทสีของแสงจากหลอดไฟมีผลต่อการแข่งขัน การให้แสงสีที่ต่างกันทำให้การมองเห็นต่างกันด้วย เช่น ลูกบอลที่ใช้เล่นถ้ามีสีขาวเมื่อถูกแสงขาวจากดวงโคมสะท้อนที่พื้นผิวจะทำให้ผู้เล่นสามารถเห็นลูกบอลได้ง่ายขึ้น(John 2001)

2.7.2 มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับกีฬาแต่ละประเภท

มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับกีฬาแต่ละประเภทจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของกีฬาต่างๆ กีฬาที่ใช้สายตาในการเล่นหรือมองอุปกรณ์กีฬา เช่น กีฬาประเภทลูกกลมจะมีความต้องการใช้แสงสว่างที่มากกว่ากีฬาที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ เช่น กีฬาประเภทลู่หรือลาน เป็นต้น สำหรับมาตรฐานที่จะนำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้แสดงในตาราง(IESNA 2000)

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการส่องสว่างของกีฬาในร่ม

ประเภท	รายละเอียด	จำนวนผู้ชม
1	การแข่งขันกีฬาระดับนานาชาติ	มากกว่า 5000 คน
2	**การแข่งขันกีฬาระดับประเทศ**	**น้อยกว่า 5000 คน**
3	การแข่งขันกีฬาระดับทั่วไป	-

ที่มา: IESNA RP-6-01 Sports and Recreational lighting Section 1

โดยงานวิจัยนี้เลือกประเภทที่ 2 มาเป็นเกณฑ์ในการวิจัย เนื่องมาจากการแข่งขันกีฬาระดับประเทศจะมีการจัดแข่งขันอยู่เป็นประจำ

การให้แสงสว่างในอาคารกีฬาในร่มต้องคำนึงถึง ความส่องสว่างในแนวระนาบและแนวตั้ง ความสม่ำเสมอของแสง สีและคุณภาพของแสง ซึ่งกีฬาแต่ละชนิดมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการส่องสว่างของกีฬาแบดมินตัน

ประเภท	ความส่องสว่างแนวราบ (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง	ดัชนีความถูกต้องของสี
1	750	0.7	60
2	**500**	**0.7**	**60**
3	300	0.7	20

ที่มา: IESNA RP-6-01 Sports and Recreational lighting Section 1

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการส่องสว่างของกีฬาบาสเกตบอล

ประเภท	ความส่องสว่างแนวราบ (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง	ดัชนีความถูกต้องของสี
1	750	0.7	60
2	**500**	**0.7**	**60**
3	200	0.5	20

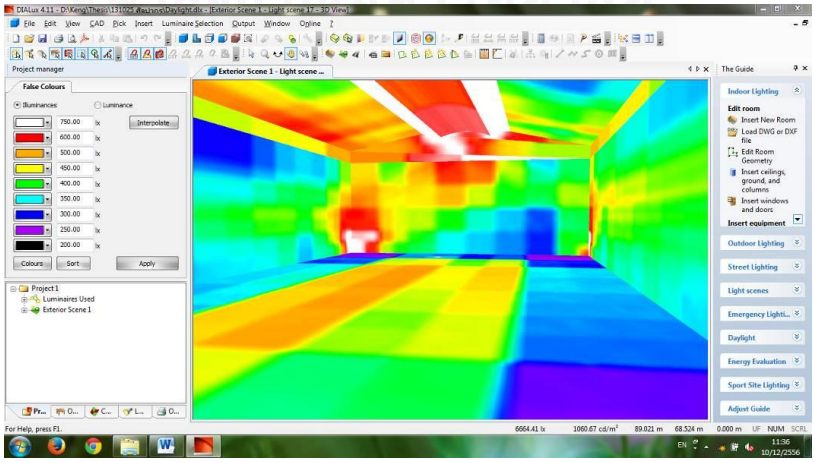
ที่มา: IESNA RP-6-01 Sports and Recreational lighting Section 1

2.8 โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพแสงสว่าง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการวิจัย เนื่องจากสามารถจำลองสภาพแวดล้อมและเงื่อนไขต่างๆได้อย่างสมจริง (Ward and Shakespeare, 1998) โดยสามารถใช้เพื่อประเมินอาคารทั้งก่อนออกแบบและหลังออกแบบได้ จึงทำการใช้โปรแกรมต่างๆที่จำลองลักษณะแสงธรรมชาติรวมถึงแสงประดิษฐ์ได้รับความนิยม โปรแกรมเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์เกี่ยวกับแสงสว่างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น DIALux, Radiance และLightscape 32 เป็นต้น (ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล 2553)

โปรแกรม DIALux 4.11

โปรแกรม DIALux เป็นฟรีแวร์ (freeware) เพื่อการจำลองสภาพแสงสว่างทั้งภายในภายนอกอาคาร และไฟส่องถนน แสดงผลลัพธ์เป็นปริมาณแสงสว่างและภาพ 3 มิติ โดยสามารถดาวน์โหลดแคตตาล็อกของหลอดไฟและดวงโคมจากผู้ผลิตในท้องตลาดเพื่อใช้ในการออกแบบ (ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล 2553)



ภาพที่ 2.8 โปรแกรม DIALux

2.9 แบบอาคารมาตรฐานอาคารกีฬาในร่ม

จากการเก็บข้อมูลอาคารกีฬาในร่มที่เป็นแบบมาตรฐานของหน่วยงานราชการที่มีการใช้งานอยู่ทั่วประเทศ จำนวน 8 แบบ มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.5 แบบมาตรฐานอาคารกีฬาในร่ม

แบบ	หน่วยงาน	กรณีศึกษา	วัสดุ			
			พื้น	ผนัง	ฝ้า	กระจก
1.	กรมยุทธโยธาทหารบก	โรงกีฬาอเนกประสงค์	ปาเก้ขัดเรียบ	ฉาบปูนเรียบทาสีขาว	แสดงโครงสร้างหลังคา	กระจกใส
2.		โรงกีฬาอเนกประสงค์ 200 คน	คอนกรีต			
3.		โรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน				
4.	กรมพละศึกษา	โรงกีฬาอเนกประสงค์ขนาด 30x50 เมตร	ปาเก้ขัดเรียบ			
5.	กรุงเทพมหานคร	อาคารกีฬาในร่ม				
6.		อาคารฝึกซ้อมกีฬาในร่ม	คอนกรีต			
7.	การกีฬาแห่งประเทศไทย	อาคารโรงพละศึกษา 1000 ที่นั่ง	ปาเก้ขัดเรียบ			
8.		อาคารโรงพละศึกษา 4000 ที่นั่ง				

ที่มา: ผู้วิจัย

จากแบบมาตรฐานอาคารกีฬาในร่ม ของหน่วยงานราชการทั้ง 8 อาคาร พบว่าวัสดุพื้น ผนังและฝ้า ส่วนใหญ่เป็นดังนี้

พื้น วัสดุที่ใช้ ปาเก้ขัดเรียบ

ผนัง วัสดุที่ใช้ ฉาบปูนเรียบทาสีขาว

ฝ้า วัสดุที่ใช้ แสดงโครงสร้างหลังคา

กระจก วัสดุที่ใช้ กระจกใส

ดังนั้นงานวิจัยนี้กำหนดวัสดุพื้น ผนัง ฝ้าและกระจก สำหรับใช้ในการทดลอง ตามผลสรุปจากแบบมาตรฐานของหน่วยงานราชการ ดังนี้

วัสดุพื้นเป็นปาเก้ขัดเรียบ ค่าการสะท้อนแสง 25 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างจากค่าการสะท้อนแสงของ ไม้สีอ่อน (ตารางที่ 2.6)

วัสดุผนังเป็นฉาบปูนเรียบทาสีขาว ค่าการสะท้อนแสง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างจากค่าการสะท้อนแสงของ ผนังฉาบปูนเรียบทาสีขาว (ตารางที่ 2.6)

วัสดุฝ้าเป็นแบบแสดงโครงสร้างหลังคา ค่าการสะท้อนแสง 60 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างจากค่าการสะท้อนแสงของ อลูมิเนียม (ตารางที่ 2.6)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระจกเป็นกระจกใส ค่าการส่องผ่าน 88 เปอร์เซ็นต์ โดยอ้างจากค่าการส่องผ่านของกระจกชั้นเดียว clear หนา 6 มม. (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าสะท้อนแสงวัสดุ

วัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง (%)
อลูมิเนียม	60 -70
ผนังฉาบปูนเรียบทาสีขาว	50 - 90
ไม้สีอ่อน	25 - 30

ที่มา: Egan, 2002

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าการส่องผ่านของกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น

ชนิดกระจก (หนา 6 มม.)	ค่าการส่องผ่าน (%)
กระจกชั้นเดียว clear	**89**
กระจกชั้นเดียว tinted grey	43
กระจกชั้นเดียว reflective	20
กระจกสองชั้น clear	78
กระจก Low E สองชั้น (hard coat, argon)	73
กระจก Low E สองชั้น (hard coat, argon, spectrally selective)	55

ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ, 2542

2.10 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 1

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา กรณีศึกษาอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม; นายณวิทย์ มิสาโท มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงสนามกีฬาในร่ม ให้มีสภาพแวดล้อมด้านแสงสว่างที่เหมาะสม ก่อให้เกิดความสบายตาในการทำกิจกรรมการเรียนการสอน การแข่งขันกีฬา และศึกษาแนวทางการใช้แสงธรรมชาติให้เกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง

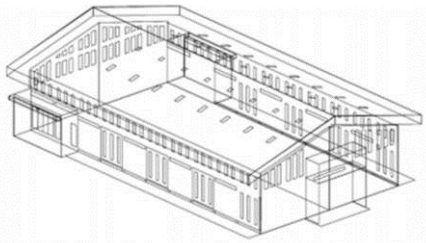
โดยศึกษารูปแบบอาคารสนามกีฬาในร่มของโรงเรียนสารคามพิทยาคม ซึ่งจากการศึกษาอาคารตัวอย่างพบว่ามีปัญหาเรื่องแสงสว่างไม่เพียงพอต่อการเรียนการสอน จึงทำการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 ทำการศึกษาวันที่ 21 ของเดือน

มิถุนายน กันยายน และธันวาคม เวลา 08.00 -16.00 น. ปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ ความส่องสว่าง (Illuminace) และค่าความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) มีขั้นตอนการปรับปรุงดังนี้

ปรับเปลี่ยนรูปแบบช่องแสงทางด้านบน (Top Aperture) เป็น 3 รูปแบบ แบบที่ 1 แบบ Clearstory แบบที่ 2 Saw tooth และแบบที่ 3 Two-story พบว่ารูปแบบที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคือแบบ Clearstory สามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดที่ 400 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.6

วิธีการวิจัย

อาคารตัวอย่าง ทดลองวัดค่าความส่องสว่างในอาคารตัวอย่าง



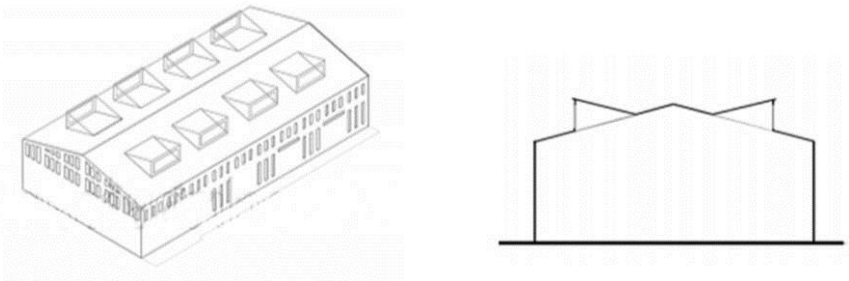
ภาพที่ 2.9 รูปแบบอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสาคามพิทยาคม

ที่มา: ณวิทย์ มิสาโท, 2554

อาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม มีลักษณะทางกายภาพดังนี้

1. ขนาดอาคารกว้าง 25 เมตร ยาว 40 เมตร มีความสูง 11.45 เมตร
2. เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังคา โครงสร้างเหล็กมุงกระเบื้องลอนคู่สีเทา มีกระเบื้องโปร่งแสง ช่วงเสาละ 1 แผ่น ทั้งสองด้านของมุมหลังคา
3. พื้นเป็นพื้น ค.ส.ล. หล่อที่ ผิวขัดมัน
4. ผนังเป็นผนังอิฐฉาบปูนและผนังคอนกรีตบล็อกทาสีเบจ

กรณีที่ 1 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Clearstory

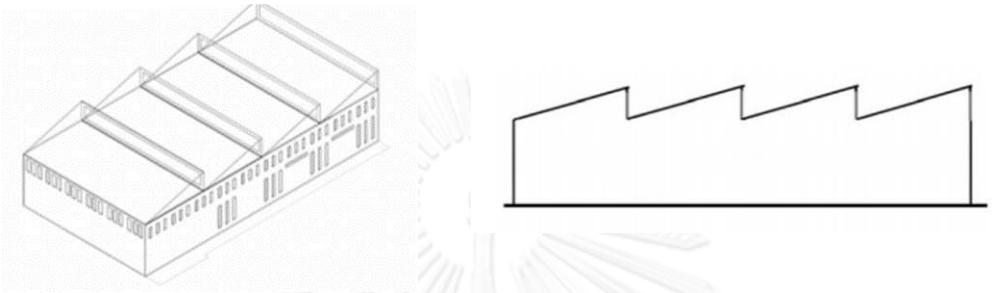


ภาพที่ 2.10 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Clearstory

ที่มา: ณวิทย์ มิสาโท, 2554

ช่องเปิดแบบ Clearstory เพื่อให้แสงที่ได้รับ เกิดการสะท้อนเข้าไปในอาคาร โดยวางแนวช่องเปิดตามแนวยาวของหลังคาทั้ง 2 ด้าน

กรณีที่ 2 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Sawtooth

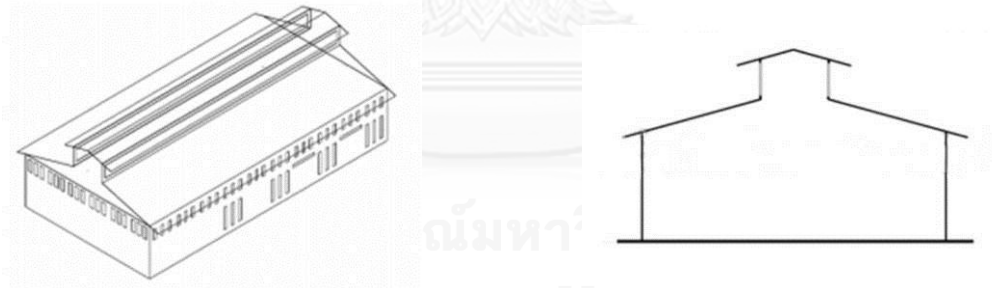


ภาพที่ 2.11 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Sawtooth

ที่มา: ณวิทย์ มิสาโท, 2554

ออกแบบหลังคาให้มีลักษณะคล้ายรูปแบบฟันเลื่อย โดยมีช่องแสงเต็มความยาวของหลังคาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

กรณีที่ 3 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Two-story



ภาพที่ 2.12 การปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Two-story

ที่มา: ณวิทย์ มิสาโท, 2554

ออกแบบให้ช่องแสงมีความยาวตามแนวหลังคาแต่ไม่ต้องการให้ได้รับแสงโดยตรง จึงยกหลังคาขึ้นเป็นสองชั้น เพื่อให้แสงที่เข้าไปภายในอาคารเป็นลักษณะแสงที่สะท้อน

จากนั้นนำอาคารรูปแบบ Clearstory มาปรับปรุงเพิ่มเติมโดยการเพิ่มวัสดุสะท้อนแสงใต้หลังคาแบ่งเป็น 2 แบบ คือ 1 เพิ่มฝ้าด้วยวัสดุแผ่นฝ้าไวนิลสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และแบบที่ 2 เพิ่มแผ่นฝ้าไวนิลสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 86 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

รูปแบบที่สองทำให้อาคารมีค่าความส่องสว่างเพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงเพิ่มขึ้นมาก

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2.8 ผลการทดลองตัวอย่างงานวิจัยที่ 1

รูปแบบช่องเปิดด้านบน	ความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง
อาคารตัวอย่าง	139	0.7
หลังคาแบบ Clearstory	400	0.6
หลังคาแบบ Sawtooth	356	0.5
หลังคาแบบ Two story	290	0.4
หลังคาแบบ Clearstory เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าสะท้อนแสง 75 %	599	0.6
หลังคาแบบ Clearstory เพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าสะท้อนแสง 86 %	756	0.8

ที่มา: ณวิทย์ มิสาโท, 2554

สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงหลังคาแบบ Clearstory จะให้ผลดีที่สุดเมื่อเพิ่มวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงไว้ใต้ช่องแสงของหลังคาจะช่วยเพิ่มค่าความส่องสว่างของภายในอาคารและเพิ่มค่าความสม่ำเสมอของแสงได้ ทั้งนี้ต้องระวังไม่ให้เกิดแสงจ้าที่อาจจะเกิดขึ้นได้ (ณวิทย์ มิสาโท 2554)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

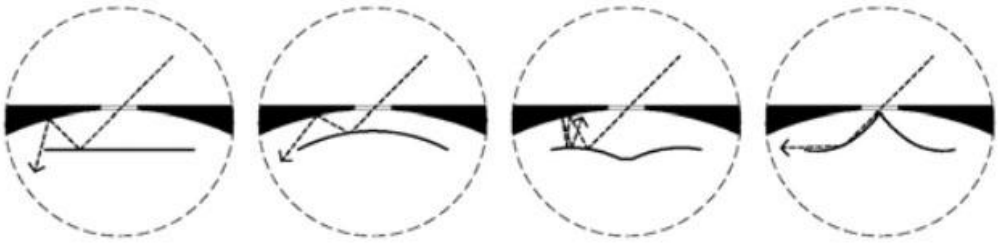
2.10.2 ตัวอย่างงานวิจัยที่ 2

การศึกษาเปรียบเทียบรูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของแสง กรณีศึกษาห้องแสดงภาพศิลปะในกรุงเทพมหานคร; ชนิดา ประชาศิลป์ชัย, 2552

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งทำการศึกษารูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติที่มีการใช้โคมสะท้อนแสงธรรมชาติร่วมกับการให้แสงภายในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน ซึ่ง

สามารถกำหนดรูปลักษณะของโคมสะท้อนแสงธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทั้งสิ้น 4 ลักษณะ

- ลักษณะตรง
- ลักษณะโค้งคว่ำ
- ลักษณะโค้งคว่ำแบบปีกนก
- ลักษณะโค้งหงายแบบปีกคู่



ภาพที่ 2.13 แสดงทิศทางการสะท้อนของแสงที่เกิดจากโคมแต่ละลักษณะ

ที่มา: ชนิดา ประชาศิลป์ชัย, 2552

การทดลองใช้หุ่นจำลองพื้นที่ทดลองขนาดกว้าง 10.00 ม. ยาว 12.00 ม. สูง 7.00 ม. วัดระดับความส่องสว่างของแสงภายใน 5 ตำแหน่งที่ระดับ work plane ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ clear sky และ partly cloudy sky ของวันที่ 21 มิถุนายน กันยายนและธันวาคม เวลา 9.00 น. 10.00 น. 11.00 น. และ 12.00 น.

สรุปผลการทดลอง รูปลักษณะของโคมสะท้อนแสงทีมีผลต่อประสิทธิภาพของแสงนั้นต้องมีรูปลักษณะที่เอื้อให้แสงที่ตกกระทบสู่ตัวโคม สามารถสะท้อนขึ้นสู่เพดานและกระจายตัวลงสู่พื้นที่ด้านล่างได้ง่าย โดยมีจำนวนในการสะท้อนของแสงก่อนตกลงสู่พื้นที่ภายในน้อยครั้งที่สุด เช่น โคมลักษณะโค้งคว่ำที่สามารถรับแสงและสะท้อนได้ดีในทุกทิศทาง

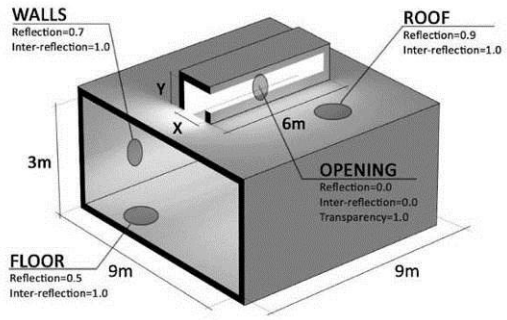
คุณสมบัติทางพื้นผิววัสดุของโคมสะท้อนแสงนั้นสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงระดับความส่องสว่างของโคมแต่ละลักษณะได้ แต่คุณสมบัติทางพื้นผิววัสดุของโคมสะท้อนแสงนั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านความสม่ำเสมอของแสง(Uniformity) เนื่องจากระดับความสม่ำเสมอของแสงนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของโคมและอิทธิพลของแสงจากดวงอาทิตย์(ชนิดา ประชาศิลป์ชัย 2552)

2.10.3 **ตัวอย่างงานวิจัยที่** 3

Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of proportion and spacing under sky conditions โดย Ignacio Acosta, Jaime Navarro, Juan Jose Sendra และ Paula Esquivias Courret Paule

จุดประสงค์ของบทความ เพื่อกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับ lightscoop skylights ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือ ช่องเปิดรับแสงในแนวตั้งและอยู่ในทิศตรงข้ามกับการโคจรของดวงอาทิตย์ เพื่อให้ได้รับแสงมากที่สุดในพื้นที่ศึกษาในห้อง (Acosta 2012)

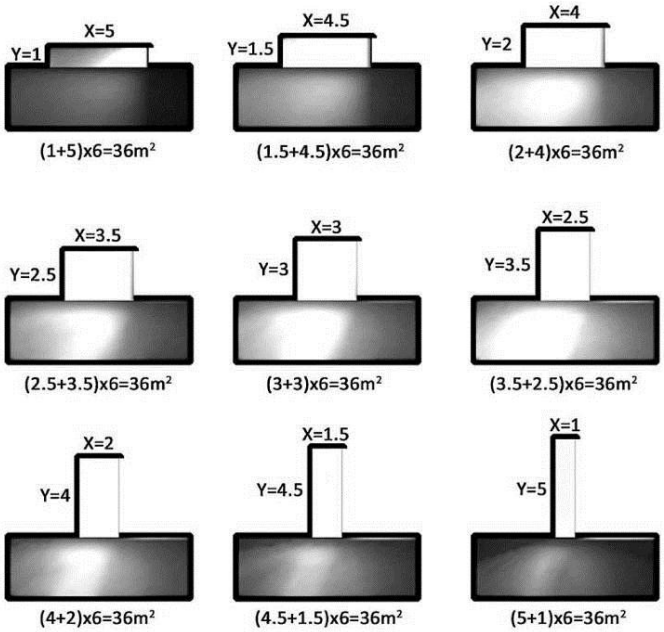
วิธีการทดลองใช้โปรแกรม Lightscape 3.2 ในการสร้างแบบจำลองขนาด 9(กว้าง) x9(ยาว) x3(สูง) เมตร และมีช่องแสงด้านบนบริเวณกึ่งกลางห้อง โดยในการทดลองกำหนดค่าสะท้อนแสงการสะท้อนแสงของพื้นเท่ากับ 0.5 ผนังเท่ากับ 0.7 และหลังคาเท่ากับ 0.9 ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.14 การทดลองโดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน

ที่มา : Acosta, 2012

โดยช่องแสงด้านบนบริเวณกึ่งกลางห้อง จะมีการเปลี่ยนระยะความสูงและความกว้างของช่องแสง ตั้งแต่ระยะ 1 – 5 เมตร ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบการทดลอง 9 รูปแบบ ดังภาพที่ 2.20 ส่วนความยาวของช่องแสงยังคงกำหนดที่ 6 เมตรเท่ากันทุกการทดลอง



ภาพที่ 2.15 รูปแบบสัดส่วนของช่องเปิดที่รับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Acosta, 2012

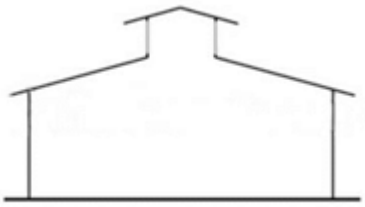
ผลการทดลองรูปแบบช่องแสงขนาด 3.5(สูง) x2.5(กว้าง) เป็นรูปแบบที่มีระดับความส่องสว่างสูงสุด ตามมาด้วย ช่องแสงขนาด 3(สูง) x3(กว้าง)และ 4(สูง) x 2(กว้าง) ตามลำดับ

จากตัวอย่างงานวิจัยทั้ง 3 ตัวอย่าง สิ่งที่งานวิจัยนี้ได้นำมาไปใช้ประโยชน์ และการพัฒนาต่อจากงานวิจัยทั้ง 3 ตัวอย่าง มีดังนี้

ตัวอย่างงานวิจัยที่ 1

การนำตัวอย่างงานวิจัยมาใช้ประโยชน์

รูปแบบของช่องแสงบนหลังคาที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารและระดับความสม่ำเสมอของแสง โดยงานวิจัยนี้เลือกรูปแบบช่องแสงด้านบนหลังคาแบบ Two- story เนื่องจากเป็นช่องแสงที่มีความยาวตลอดตามแนวหลังคา และเป็นหลังคาสองชั้นซึ่งแสงที่เข้ามาภายในอาคารจะมีลักษณะเป็นแสงสะท้อน



ภาพที่ 2.16 หลังคาแบบ Two- story

ที่มา: ณวิทย์ มิสาโท, 2554

การนำตัวอย่างงานวิจัยมาพัฒนาต่อ

- การนำช่องแสงด้านบนแบบ Two – story มาศึกษาต่อโดยเพิ่มตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน ความสูงของช่องแสงด้านบน และโคมสะท้อนแสง

- การปรับเปลี่ยนเกณฑ์มาตรฐาน โดยตัวอย่างงานวิจัยที่ 1 กำหนดเกณฑ์มาตรฐานความส่องสว่างเท่ากับ 400 ลักซ์ และความสม่ำเสมอของแสงเท่ากับ 0.6 ส่วนงานวิจัยนี้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานความส่องสว่างเท่ากับ 500 ลักซ์ และความสม่ำเสมอของแสงเท่ากับ 0.7 ตามเกณฑ์ที่สามารถจัดการแข่งขันกีฬาระดับประเทศได้

ตัวอย่างงานวิจัยที่ 2

การนำตัวอย่างงานวิจัยมาใช้ประโยชน์

- ลักษณะโคมสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการในการกระจายแสงเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของแสงภายในอาคาร โดยเลือกโคมลักษณะโค้งหงายมาใช้ในงานวิจัย ซึ่งเป็นโคมที่สามารถรับแสงและสะท้อนได้ดีในทุกทิศทาง

ภาพที่ 2. 17 โคมลักษณะโค้งหงาย

ที่มา: ชนิดา ประชาศิลป์ชัย, 2552

การนำตัวอย่างงานวิจัยมาพัฒนาต่อ

- งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโคมสะท้อนแสงกับอาคารประเภทอาคารกีฬาในร่ม ที่แตกต่างจากตัวอย่างงานวิจัยที่ 2 ที่ศึกษาอาคารประเภทพิพิธภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผู้ที่สนใจสามารถนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้ได้ครอบคลุมประเภทของอาคารมากขึ้น

ตัวอย่างงานวิจัยที่ 3

การนำตัวอย่างงานวิจัยมาใช้ประโยชน์

- อัตราส่วนระหว่างความสูง : ความกว้างของช่องเปิดด้านบนที่มีอิทธิพลต่อระดับความส่องสว่าง

การนำตัวอย่างงานวิจัยมาพัฒนาต่อ

- เนื่องจากตัวอย่างงานวิจัยที่ 3 ทำการศึกษาโดยปรับเปลี่ยนขนาดความกว้างและความสูงของ light scoop ตั้งแต่ 1 - 5 เมตร ซึ่งรูปแบบที่สูง 4 – 5 เมตร อาจจะมีความเป็นไปได้น้อยในการก่อสร้าง ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะของ light scoop ที่เป็นไปได้ในการก่อสร้างมาพัฒนา

- งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง ซึ่งต่างจากตัวอย่างงานวิจัยที่ 3 ที่ศึกษาความส่องสว่างเพียงอย่างเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวกับแสงสว่างและการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร ตลอดจนการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล กรณีศึกษาอาคารกีฬาในร่ม ผู้วิจัยจึงได้ตั้งคำถามและกำหนดสมมติฐานงานวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 สมมติฐานงานวิจัย

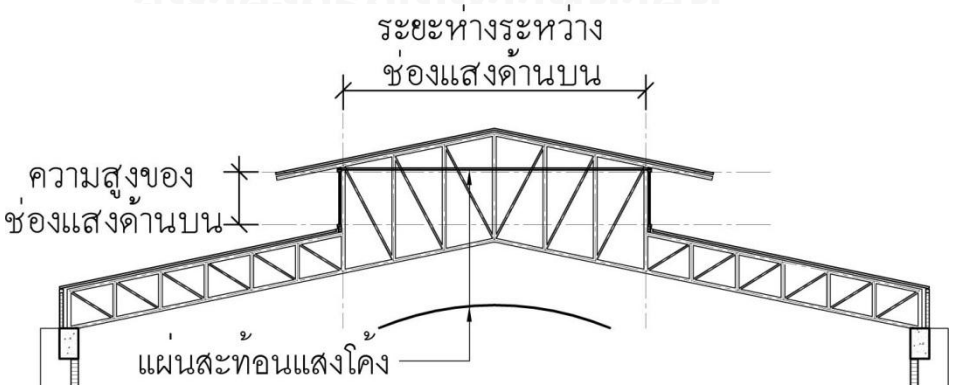
ขั้นตอนและวิธีการศึกษาของงานวิจัยชิ้นนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการพิสูจน์สมมติฐานซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขึ้น ดังนี้

3.2 การกำหนดตัวแปรในการศึกษา

จากสมมติฐานงานวิจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ดังนี้

3.2.1 ตัวแปรมีผลต่อระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง โดยกำหนดขึ้นจากการจำลองห้องทดลองที่มีการให้แสงภายในอาคารผ่านช่องเปิดด้านบน ซึ่งสามารถกำหนดตัวแปรในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

- ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน
- ความสูงของช่องแสงด้านบน
- ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง



ภาพที่ 3.1 ตัวแปรในการศึกษา

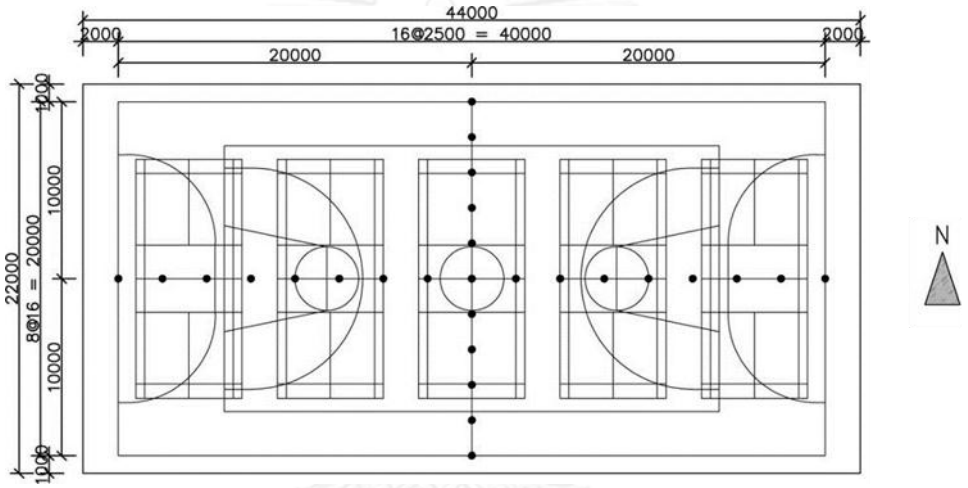
3.3 การกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ห้องจำลองและชุดการทดลอง

เนื่องจากผู้วิจัยได้กำหนดให้งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง โดยการสร้างหุ่นจำลองเพื่อทำการวัดค่าความส่องสว่างภายใน ดังนั้นขนาดของหุ่นจำลองได้ถูกกำหนดขึ้นโดย

- ขนาด 22(กว้าง) x 44(ยาว) x 7(สูง) เมตร

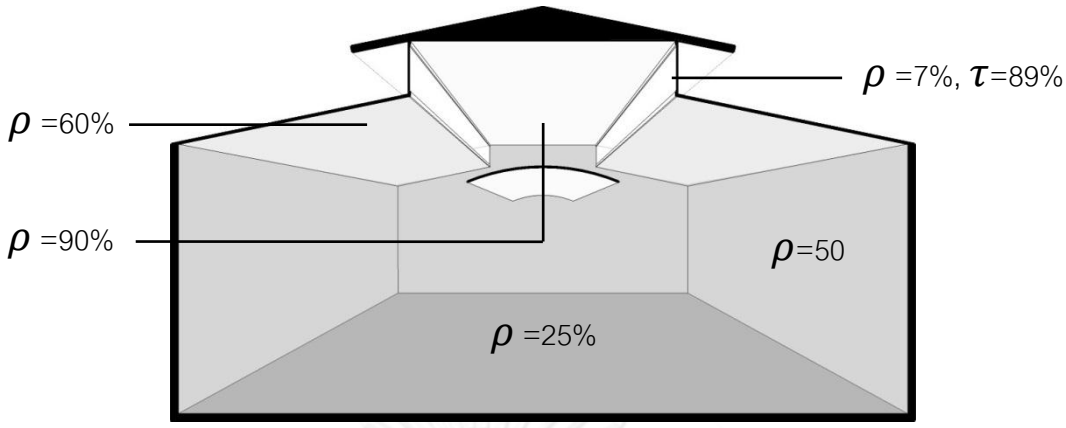
จากขนาดที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้กำหนดจุดเพื่อทำการวัดค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง โดยจุดที่กำหนดมีระยะห่างเท่ากันกันทุกๆ 2.5 เมตร ในแนวทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก และในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้



ภาพที่ 3.2 จุดวัดระดับความส่องสว่าง

หลังจากที่ได้มีการกำหนดจุดวัดผลการทดลองแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการกำหนดรายละเอียดภายในห้องจำลองดังนี้

- พื้น มีค่าการสะท้อนแสง 25%
- ผนังทั้ง 4 ด้าน มีค่าการสะท้อนแสง 50%
- เพดาน มีค่าการสะท้อนแสง 60%
- กระจก มีค่าการสะท้อนแสง 7% และค่าการส่องผ่าน 89%
- แผ่นสะท้อนแสงโค้ง มีค่าการสะท้อนแสง 90%



ภาพที่ 3.3 ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ

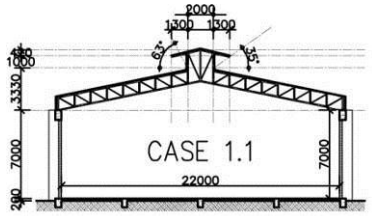
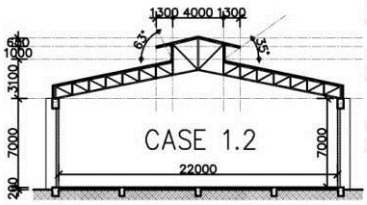
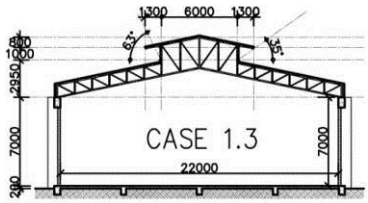
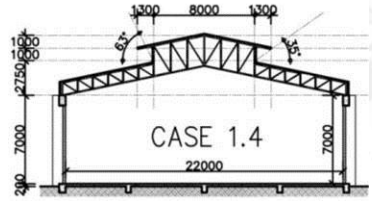
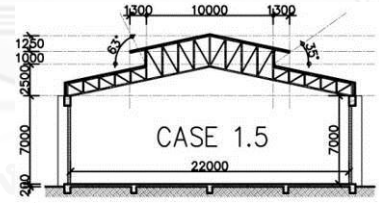
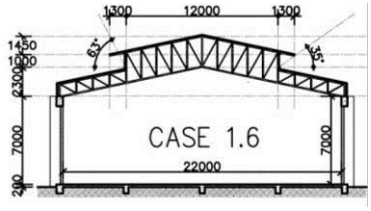
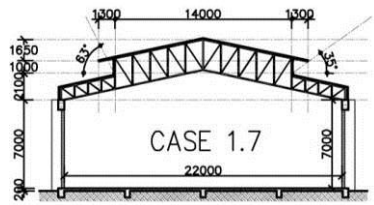
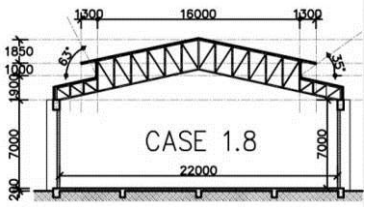
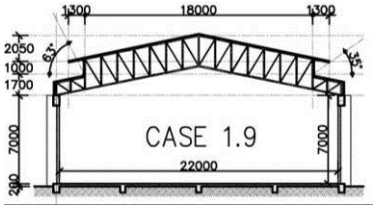
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 รูปแบบการทดลอง

กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1.1 – 1.9 เป็นการทดลองนำแสงธรรมชาติเข้าทางด้านบน โดยกำหนดความสูงของช่องแสงด้านบน 1 เมตร เท่ากันทุกกรณีศึกษา โดยแต่ละกรณีศึกษาจะแตกต่างกันที่ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนตั้งแต่ 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1.1	กรณีศึกษาที่ 1.2	กรณีศึกษาที่ 1.3
- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 4 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 6 ม.
		
กรณีศึกษาที่ 1.4	กรณีศึกษาที่ 1.5	กรณีศึกษาที่ 1.6
- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 10 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 12 ม.
		
กรณีศึกษาที่ 1.7	กรณีศึกษาที่ 1.8	กรณีศึกษาที่ 1.9
-ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 เมตร - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 เมตร - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 16 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 เมตร - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 18 ม.
		

3.5 การกำหนดวิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง จากการคำนวณด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 ดังนี้

- จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ทุกๆ 2.50 เมตรที่ระนาบ 0.00 เมตรทั้งหมด 17 ตำแหน่ง โดยมีระยะห่างจากผนังด้านละ 2 เมตร

- จากทิศเหนือไปยังทิศใต้ ทุกๆ 2.50 เมตรบนพื้นสนามที่ระนาบ ±0.00 เมตรทั้งหมด 9 ตำแหน่ง โดยมีระยะห่างจากผนังด้านละ 1 เมตร

เพื่อให้ค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง ที่วัดได้จากการทดลองสามารถใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และสรุปการเปลี่ยนแปลงของแสงที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ทดลองที่ใช้ในการศึกษาได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวันเพื่อทำการทดสอบทั้งหมด 3 วัน

- วันที่ 21 มิถุนายน (Summer solstice) เนื่องจากเป็นวันที่ซีกโลกเหนือจะเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด

- วันที่ 21 กันยายน (Equinox) เนื่องจากเป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากที่สุด

- วันที่ 21 ธันวาคม (Winter solstice) เนื่องจากเป็นวันที่ซีกโลกเหนือจะเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด

- การทดสอบจะทดสอบในเวลา 8.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น.

3.6 การประเมินผลการทดลอง

ประเมินผลการทดลองในห้องจำลอง โดยการคำนวณระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 โดยแบ่งเนื้อหาดังต่อไปนี้

- ค่าระดับความส่องสว่างของแสงที่ระนาบ +0.00 (DIALux 4.11)

- ค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ระนาบ +0.00 (DIALux 4.11)

3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่กำหนดไว้ เปรียบเทียบประเมินความส่องสว่างของแสงและความสม่ำเสมอของแสง โดยแยกพิจารณาในประเด็นต่อไปนี้

- ด้านระดับความส่องสว่าง พิจารณาจากค่าความส่องสว่างในอาคาร ในวันและเวลาที่กำหนด ให้เป็นไปตามเกณฑ์ตามเกณฑ์ของ IESNA Sports and Recreational lighting

- ด้านความสม่ำเสมอของแสง พิจารณาจากสมการความสม่ำเสมอของแสง ในแต่ละวันและเวลาตามที่กำหนด ให้เป็นไปตามเกณฑ์ของ IESNA Sports and Recreational lighting

3.8 สรุปผลการทดลอง

ทำการสรุปผลการวิจัยเพื่อหารูปแบบช่องแสงด้านบนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้กับอาคารสนามกีฬาในร่ม เพื่อให้ได้ระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอเป็นไปตามเกณฑ์ ดังนี้

ระดับความส่องสว่าง	มากกว่า 500 ลักซ์ (IESNA)
ความสม่ำเสมอของแสง	มากกว่า 0.7 (IESNA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนการแสดงผลการทดลองกรณีศึกษาในบทที่ 3 เพื่อศึกษาแนวโน้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในซึ่งผลที่ได้จะทำการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบช่องแสงต่อไป และในส่วนที่สองจะเป็นผลการทดลองของกรณีศึกษาที่ได้พัฒนาแล้ว

ผลการทดลองจะแสดงเฉพาะแนวทิศเหนือ – ใต้เท่านั้น เนื่องจากเป็นทิศทางเดียวกับช่องเปิด ซึ่งจะเห็นผลลัพธ์ของระดับความส่องสว่างชัดเจนกว่าทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

4.1 ผลการทดลองกรณีศึกษาแบบที่ 1.1 - 1.9

แนวทิศเหนือ – ทิศใต้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 1.1 – 1.9 แนวทิศเหนือ – ทิศใต้

กรณีศึกษา	ความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	เวลา	วัน	ค่าเฉลี่ย (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง
1.1	762	12.00	21 ธันวาคม	429	0.57
1.2	922	14.00	21 มิถุนายน	487	0.64
1.3	938	14.00	21 มิถุนายน	492	0.61
1.4	1009	14.00	21 มิถุนายน	491	0.62
1.5	926	12.00	21 ธันวาคม	490	0.66
1.6	748	14.00	21 มิถุนายน	447	0.67
1.7	866	14.00	21 กันยายน	500	0.73
1.8	772	12.00	21 ธันวาคม	450	0.75
1.9	724	12.00	21 ธันวาคม	439	0.79

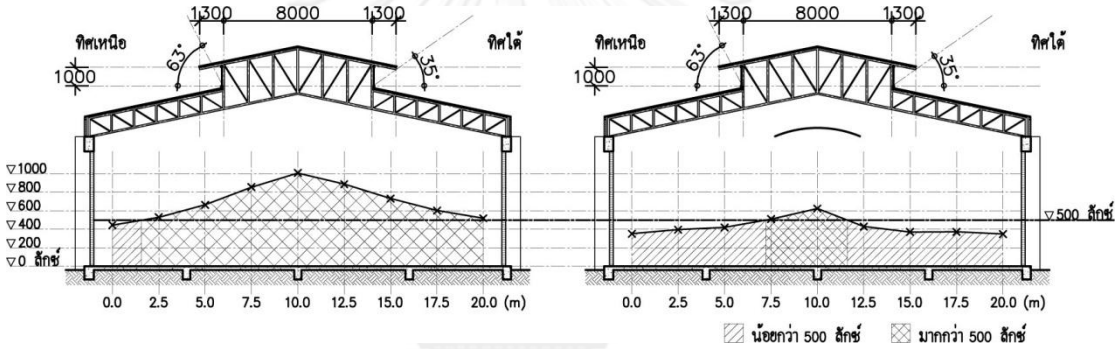
ระดับความส่องสว่าง

จากผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 1.1 – 1.9 แนวทิศเหนือ – ทิศใต้ พบว่า กรณีศึกษาที่ 1.4 มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด รองลงมาคือ กรณีศึกษาที่ 1.3, 1.5, 1.2, 1.7, 1.8, 1.1, 1.6 และ 1.9 ตามลำดับ

สาเหตุในการเลือกความส่องสว่างสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน มีดังนี้

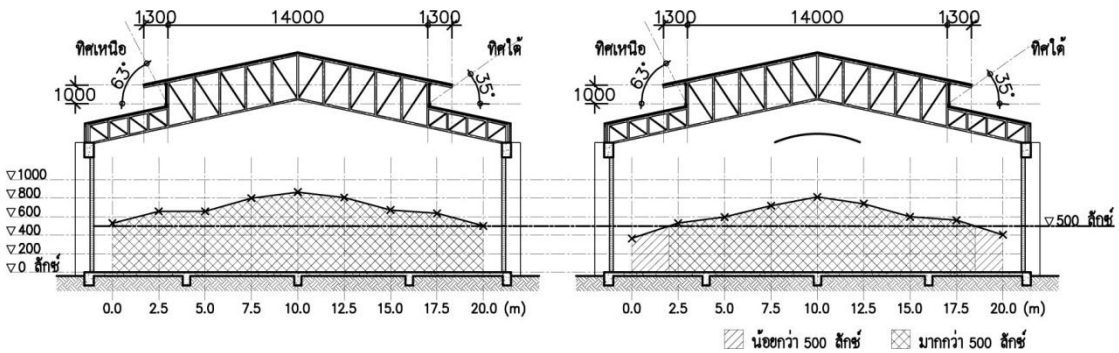
ค่าความส่องสว่างสูงสุดเป็นค่าที่ตามแนวที่กำหนด ณเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยค่ามากที่สุดเท่ากับ 1009 ลักซ์ และค่าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 724 ลักซ์ แตกต่างกัน 285 ลักซ์ ซึ่งมีความแตกต่างกันชัดเจน ส่วนค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากการนำค่าความส่องสว่างของทุกช่วงเวลามาเฉลี่ย ซึ่งทำผลที่ของทุกกรณีศึกษามีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่ามากที่สุดเท่ากับ 500 ลักซ์ และค่าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 429 ลักซ์ แตกต่างกัน 71 ลักซ์ ซึ่งมีความแตกต่างไม่ชัดเจน

จากนั้นจะเลือกกรณีที่ดีที่สุดของการทดลองนั้นไปพัฒนาต่อ เช่น การใส่แผ่นสะท้อนแสงโค้ง ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่ความส่องสว่างของกรณีศึกษาจะลดลง การเลือกกรณีศึกษาไปพัฒนาต่อ จึงมีความจำเป็นต้องใช้เกณฑ์ ความส่องสว่างสูงสุดในการตัดสิน ตัวอย่างเช่น



ภาพที่ 4.1 กรณีศึกษาที่ 1.4 เปรียบเทียบการเพิ่มโคมสะท้อนแสง

ในกรณีศึกษาที่ 1.4 เป็นกรณีศึกษาที่มีความส่องสว่างสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 1 โดยมีความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 1009 ลักซ์ เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 491 ลักซ์ ซึ่งเมื่อเพิ่มความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 เมตรเข้าไป ความส่องสว่างสูงสุดลดลงเหลือ 625 ลักซ์ และค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีลดลงเหลือ 301 ลักซ์



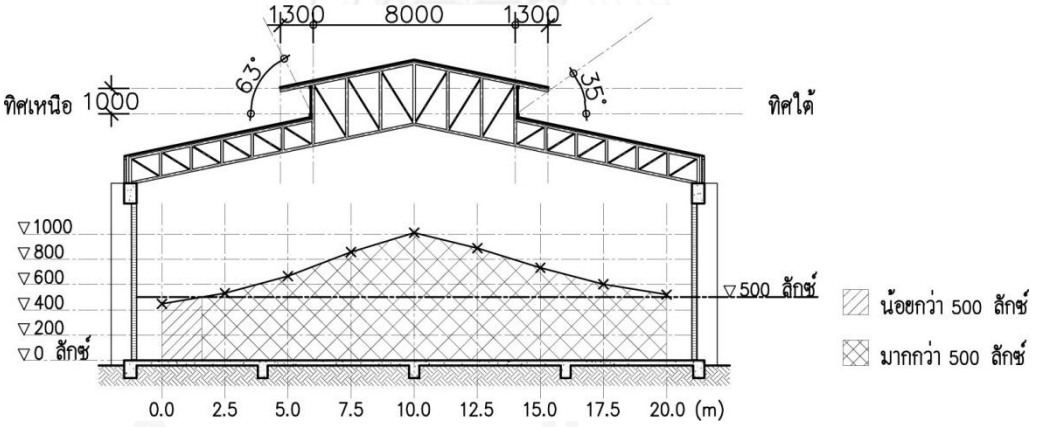
ภาพที่ 4.2 กรณีศึกษาที่ 1.7 เปรียบเทียบการเพิ่มโคมสะท้อนแสง

ในกรณีศึกษาที่ 1.7 เป็นกรณีศึกษาที่มีความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีสูงสุดของกรณีศึกษาที่1 โดยมีความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 866 ลักซ์ เวลา 14.00 น. วันที่ 21 กันยายน ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 500 ลักซ์ ซึ่งเมื่อเพิ่มความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 เมตรเข้าไป ความส่องสว่างสูงสุดลดลงเหลือ 814 ลักซ์ และค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีลดลงเหลือ 431 ลักซ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกความส่องสว่างสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน เนื่องจากเมื่อนำกรณีศึกษาไปทำการพัฒนาต่อไป ความส่องสว่างจะลดลงเรื่อยๆ

ระดับความส่องสว่าง (แนวทิศเหนือ – ทิศใต้)

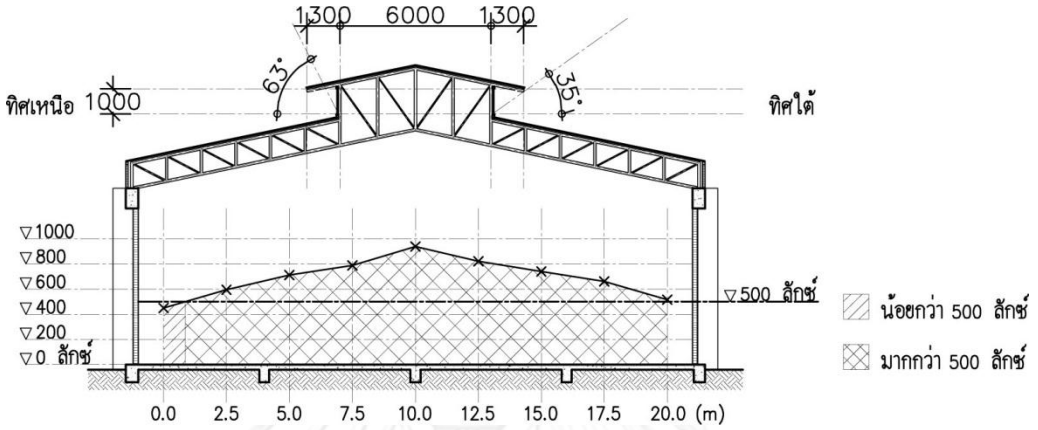
กรณีศึกษาที่ 1.4 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุดในชุดกรณีศึกษาที่ 1 โดยมีความส่องสว่างสูงสุด 1009 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 491 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.62 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด



Chulalongkorn University

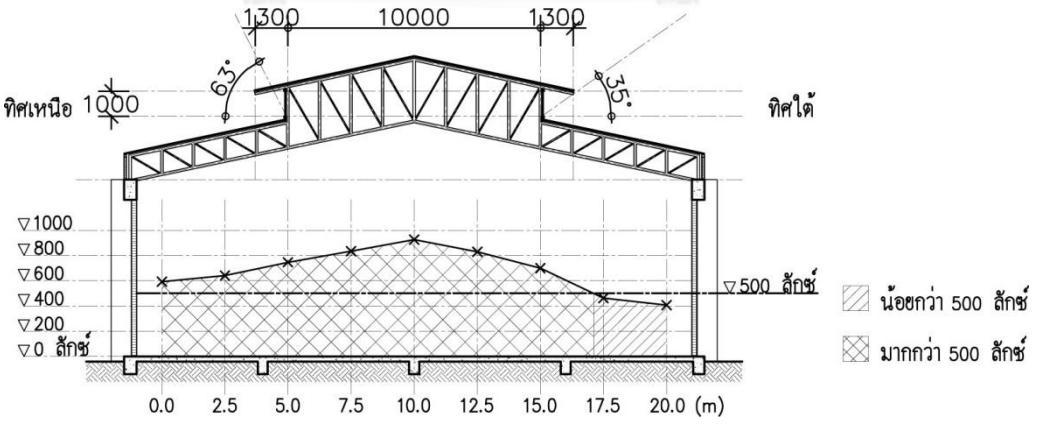
ภาพที่ 4.3 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.4 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 1.3 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 6 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 938 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 492 และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.61 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด



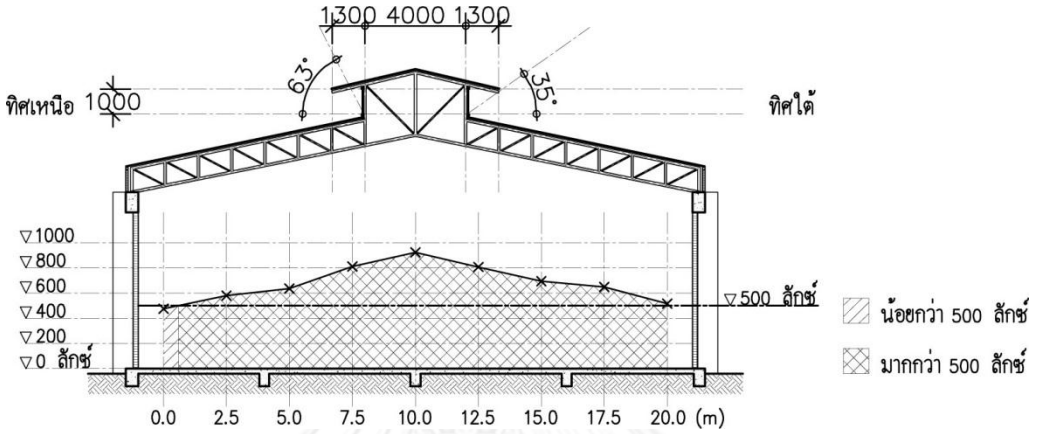
ภาพที่ 4.4 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.3 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 1.5 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 10 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 926 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 490 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.66 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด



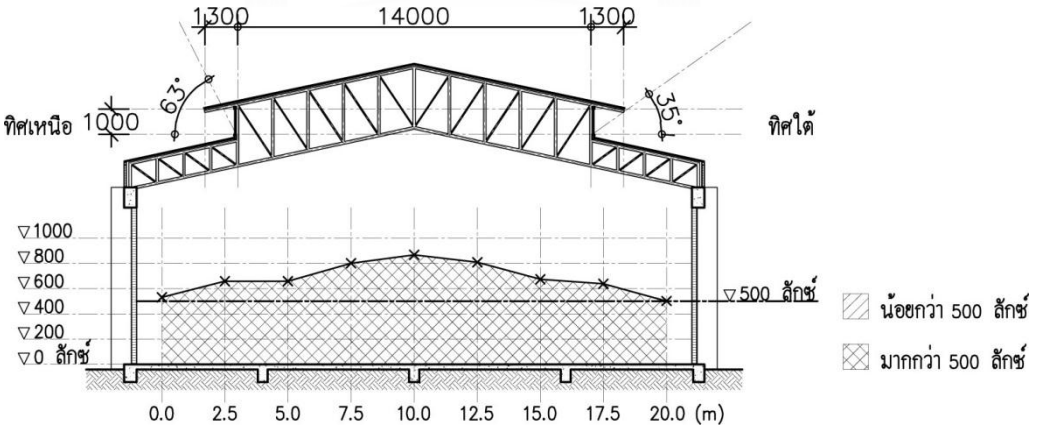
ภาพที่ 4.5 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.5 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม

กรณีศึกษาที่ 1.2 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 4 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 922 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 487 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.64 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด



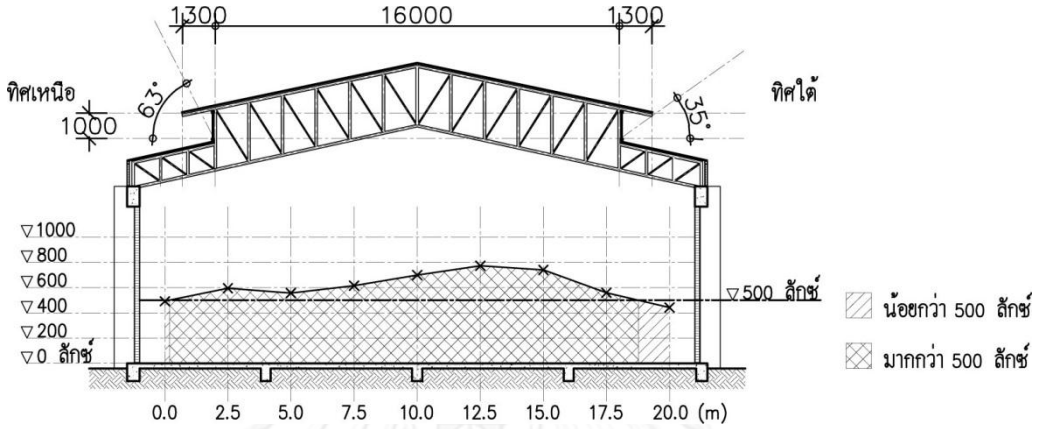
ภาพที่ 4.6 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.2 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 1.7 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 866 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 กันยายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 500 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.73 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด แต่ยังมีจุดวัดแสงอีกจำนวนมากที่ยังต่ำกว่าเกณฑ์



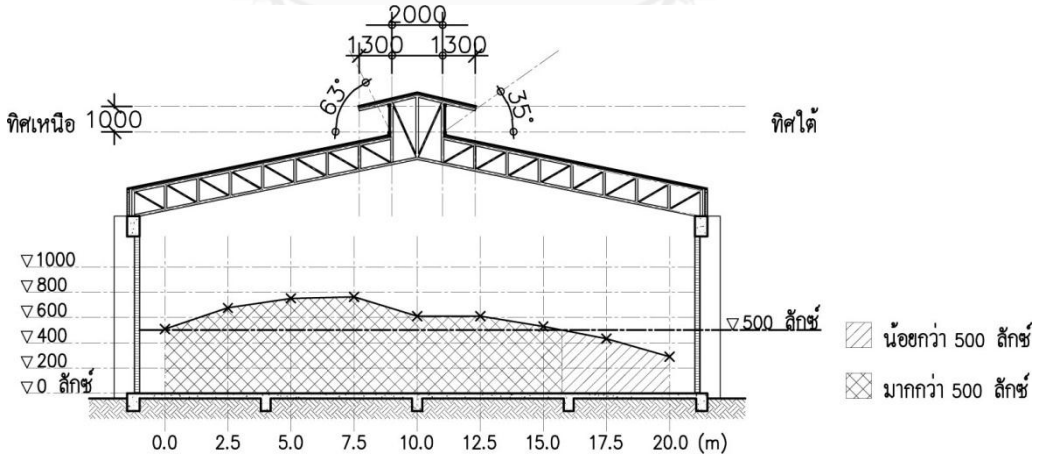
ภาพที่ 4.7 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.7 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 1.8 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 16 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 772 ลักซ์ ที่ระยะ 12.5 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 450 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.75 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสม่ำเสมอของแสงเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



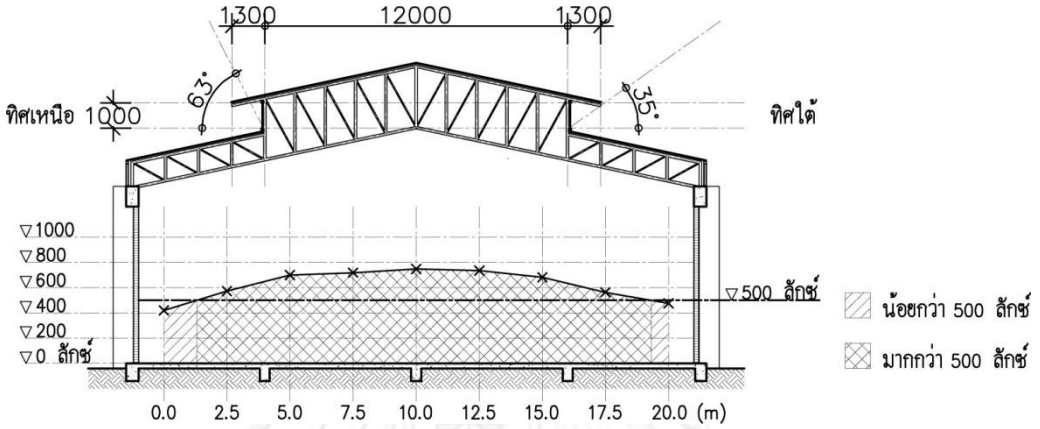
ภาพที่ 4.8 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.8 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 1.1 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 762 ลักซ์ ที่ระยะ 7.5 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 429 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.57 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



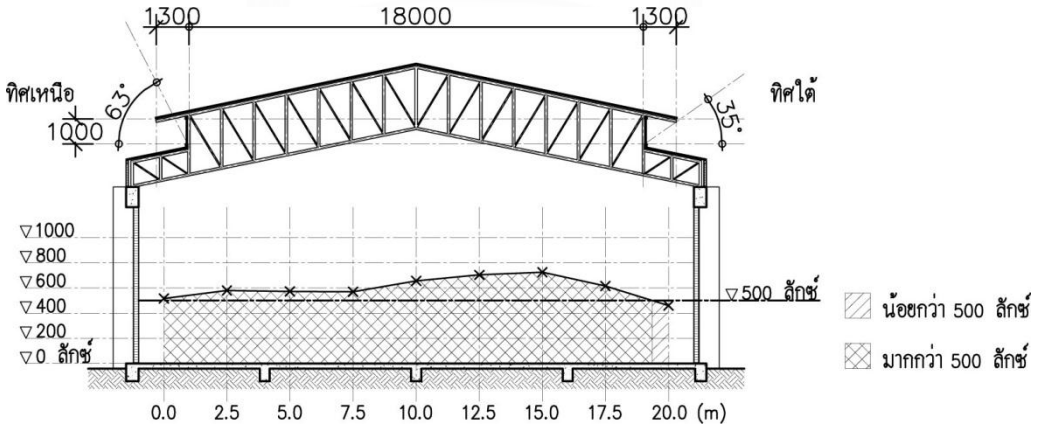
ภาพที่ 4.9 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.1 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม

กรณีศึกษาที่ 1.6 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 12 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 748 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 447 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.67 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 4.10 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.6 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 1.9 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 18 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 724 ลักซ์ ที่ระยะ 15.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปี 439 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.79 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสม่ำเสมอของแสงเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



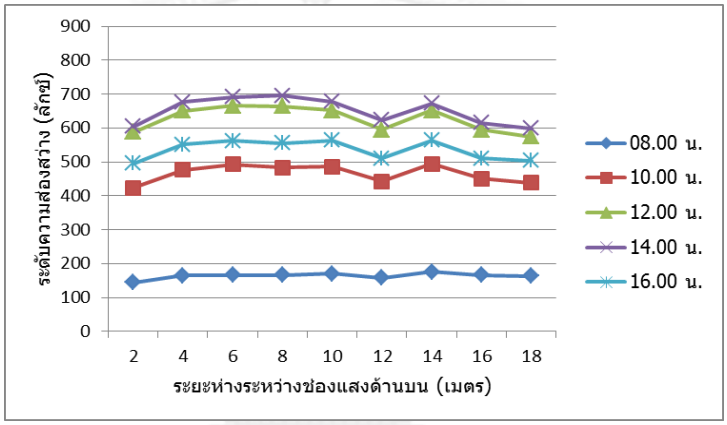
ภาพที่ 4.11 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 1.3 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม

ความสม่ำเสมอของแสง (แนวทิศเหนือ – ทิศใต้)

จากผลการทดลองพบว่า กรณีศึกษาที่ 1.9 ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 18 เมตร มีค่าความสม่ำเสมอของแสงสูงสุดในกรณีศึกษาที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.79 รองลงมาคือ กรณีศึกษาที่ 1.8, 1.7, 1.6, 1.5, 1.2, 1.4, 1.3 และ 1.1 ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนจะแปรผันตรงกับค่าความสม่ำเสมอของแสง โดยระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนยิ่งมีค่ามาก ยิ่งทำให้ความสม่ำเสมอของแสงมาก

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลา (08.00 – 16.00) **ของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนมิถุนายน**



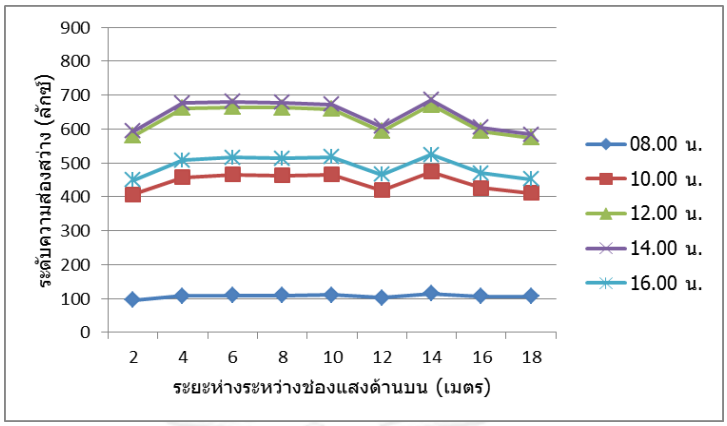
แผนภูมิที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนมิถุนายน

ช่วงเวลา 08.00 – 10.00 น. เดือนมิถุนายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 1.8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 16.00 น. เดือนมิถุนายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 1.8 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เดือนกันยายน



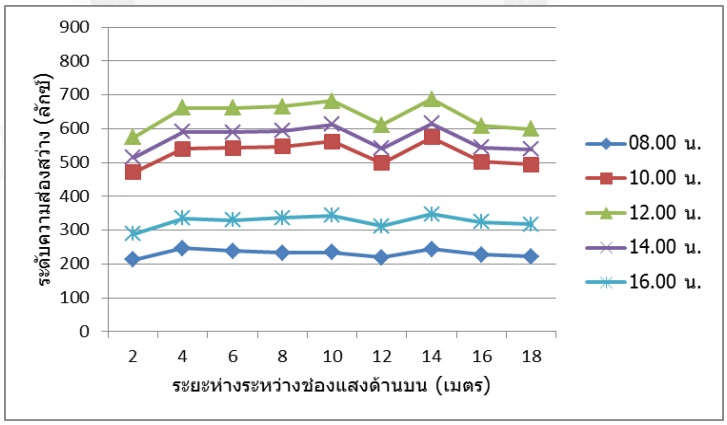
แผนภูมิที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนกันยายน

ช่วงเวลา 08.00 – 10.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 18 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 18 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2, 12 และ 16 - 18 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 4 – 10 และ 14 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



แผนภูมิที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนธันวาคม

ช่วงเวลา 08.00 และ 16.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 18 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

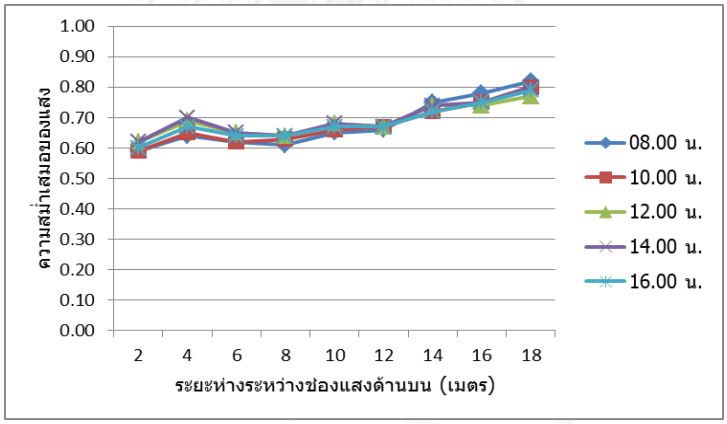
ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 และ 12 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 4 – 10 และ 14 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 18 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับวัน (21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม) ของกรณีศึกษาที่ 1 แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลา (08.00 – 16.00) ของกรณีศึกษาที่ 1

เดือนมิถุนายน

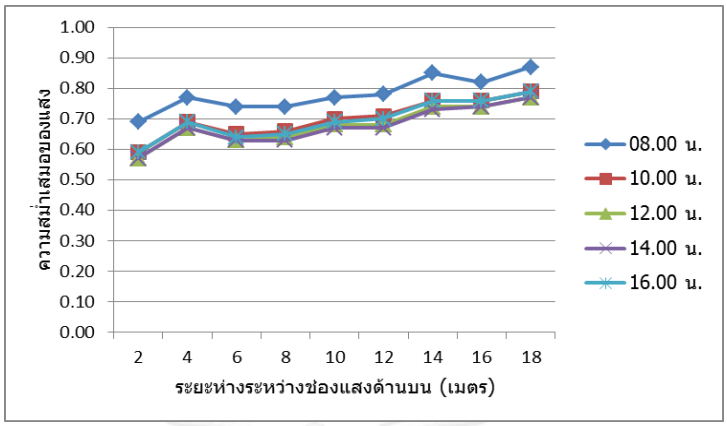


แผนภูมิที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนมิถุนายน

ช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. เดือนมิถุนายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 12 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 14 - 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เดือนกันยายน



แผนภูมิที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนกันยายน

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 4 - 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

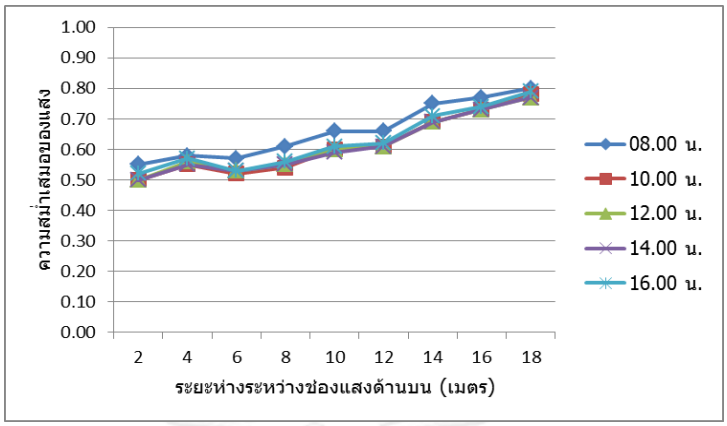
ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 - 8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 10 - 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 - 12 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 14 - 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 - 10 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 12 - 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เดือนธันวาคม



แผนภูมิที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนธันวาคม

ช่วงเวลา 08.00 และ 16.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 - 12 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 14 - 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

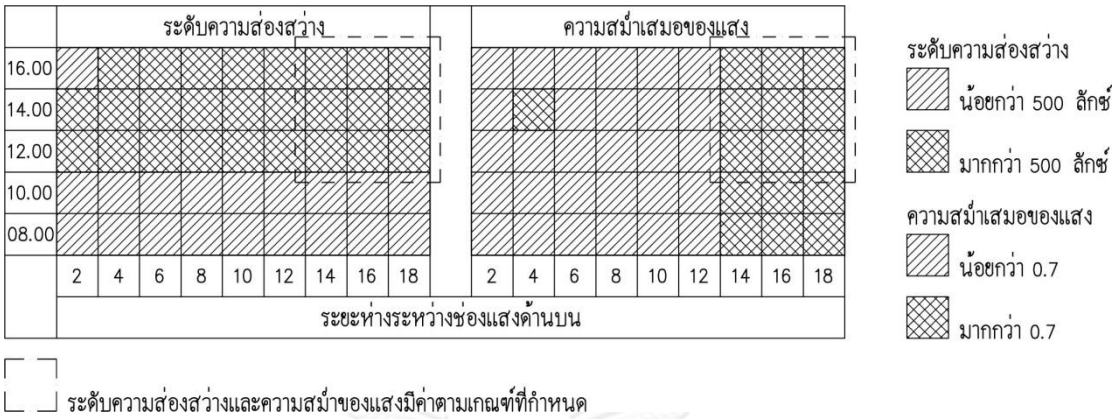
ช่วงเวลา 10.00 - 14.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 - 14 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 16 - 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับวัน (21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม) ของกรณีศึกษาที่ 1 แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพ 4.4 – 4.6 แสดงช่วงเวลาที่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานของกรณีศึกษาที่1 โดยแบ่งเป็นเดือนมิถุนายน กันยายนและธันวาคม ในแต่ละเดือนจะแบ่งเป็นช่วงเวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น. ทั้งนี้เพื่อให้คลอบคลุมตลอดปี ซึ่งแต่ละภาพยังแบ่งเป็นระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง

เดือนมิถุนายน



ภาพที่ 4.12 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนมิถุนายน

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. เดือนมิถุนายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 18 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

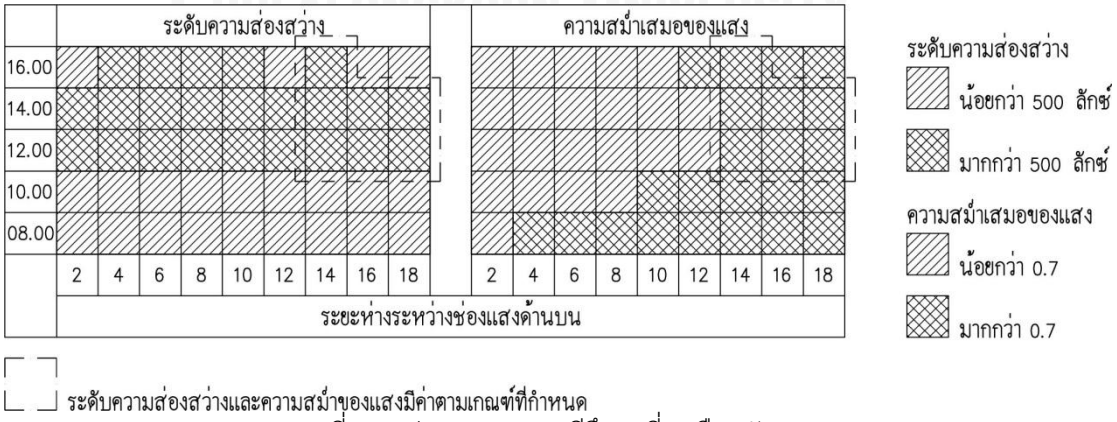
ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนมิถุนายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 4 – 18 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความสม่ำเสมอของแสง

ช่วงเวลา 08.00 -16.00 น. เดือนมิถุนายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 – 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามที่กำหนด

โดยช่วงเวลา 12.00 – 16.00 น. เดือนมิถุนายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 – 18 เมตร มีระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนกันยายน



ภาพที่ 4.13 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนกันยายน

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 18 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 4 – 10 และ14 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความสม่ำเสมอของแสง

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 4 – 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามที่กำหนด

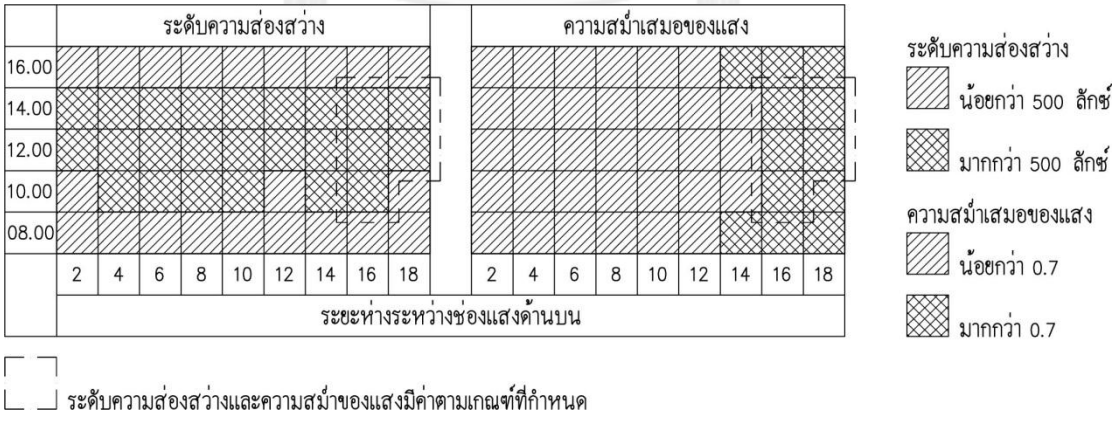
ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 10 – 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 – 16 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 12 – 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามที่กำหนด

โดยช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนกันยายน ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 – 18 เมตร และช่วงเวลา 16.00 น. ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 16 เมตร มีระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



ภาพที่ 4.14 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 1 เดือนธันวาคม

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 10 และ14 - 16 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 2 – 18 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความสม่ำเสมอของแสง

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 – 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 – 14.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 16 – 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 14 – 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยช่วงเวลา 10.00 น. เดือนธันวาคม ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 16 เมตร และช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 16 - 18 เมตร มีระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมจากกรณีศึกษาที่ผ่านมา โดยเลือกกรณีศึกษา 1.4 มาพัฒนาเพราะเป็นกรณีศึกษาที่มีความส่องสว่างสูงสุด ด้วยการกำหนดค่าความสูงของช่องแสงด้านบนเท่ากับ 1 เมตรเป็นเกณฑ์ และศึกษาอัตราส่วนเพิ่มขึ้นอีก 4 ค่า ได้แก่ 0.6, 0.8, 1, 1.2 และ 1.4 เมตร

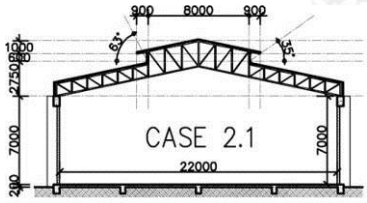
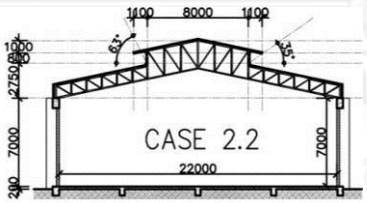
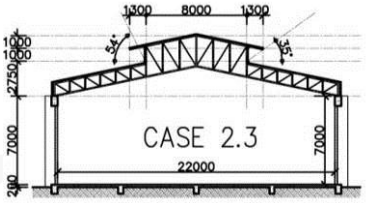
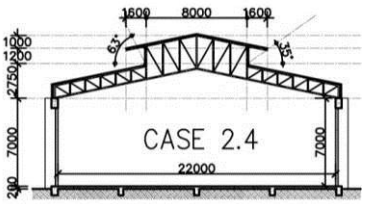
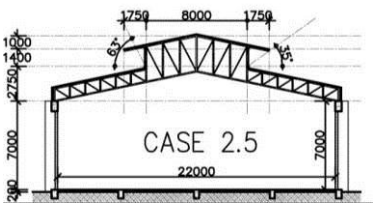
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ผลการทดลองกรณีศึกษาแบบที่ 2.1 – 2.5

กรณีศึกษาแบบที่ 2.1 – 2.5 เป็นการนำกรณีศึกษาที่ 1.4 มาพัฒนา โดยกำหนดความสูงของช่องแสงด้านบน 1 เมตรเป็นเกณฑ์ ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 เมตรเท่ากันทุกกรณีศึกษา โดยแต่ละกรณีศึกษาจะแตกต่างกันที่ความสูงของช่องแสงด้านบนตั้งแต่ 0.6, 0.8, 1, 1.2 และ 1.4 เมตร ตามลำดับ

เนื่องจากกรณีศึกษาที่ 2 เป็นการทดลองศึกษาความสูงของช่องแสงด้านบน ตั้งแต่ 0.6 – 1.4 เมตร ดังนั้นระยะยื่นของหลังคาของแต่ละกรณีศึกษาจะมีระยะที่ไม่เท่ากัน เพื่อป้องกันไม่ให้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยตรง ซึ่งระยะยื่นที่ไม่เท่ากันจะขึ้นอยู่กับมุมอัลจิจูดหรือมุมแนวตั้งที่แสงอาทิตย์ทำมุมกับโลก ในทิศเหนือเท่ากับ 63 องศา และทิศใต้ 35 องศา ซึ่งถ้ายึดตามองศาของทิศเหนือและทิศใต้แล้วระยะยื่นของหลังคาทั้งสองทิศจะยาวไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อความสวยงามของอาคาร จึงกำหนดให้ชายคาทั้งสองทิศมีระยะยื่นที่เท่ากัน โดยยึดมุมอัลจิจูดของทิศใต้เป็นเกณฑ์ เนื่องจากค่าจะต่ำกว่าทิศเหนือ

ตารางที่ 4.2 กรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2.1	กรณีศึกษาที่ 2.2	กรณีศึกษาที่ 2.3
- ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 ม. - ระยะยื่นของหลังคา 0.9 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.8 ม. - ระยะยื่นของหลังคา 1.1 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1 ม. - ระยะยื่นของหลังคา 1.3 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม.
		
กรณีศึกษาที่ 2.4	กรณีศึกษาที่ 2.5	
- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 ม. - ระยะยื่นของหลังคา 1.6 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 ม. - ระยะยื่นของหลังคา 1.75 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม.	
		

แนวทิศเหนือ – ทิศใต้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 2.1 – 2.5 แนวทิศเหนือ – ทิศใต้

กรณีศึกษา	ความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	เวลา	วัน	ค่าเฉลี่ย (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง
2.1	714	14.00	21 มิถุนายน	366	0.67
2.2	866	14.00	21 มิถุนายน	438	0.62
2.3	1009	14.00	21 มิถุนายน	491	0.62
2.4	980	14.00	21 มิถุนายน	547	0.63
2.5	1112	12.00	21 ธันวาคม	599	0.58

จากผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 2.1 – 2.5 แนวทิศเหนือ – ทิศใต้ พบว่า กรณีศึกษาที่ 2.5 มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด รองลงมาคือ กรณีศึกษาที่ 2.3, 2.4, 2.2 และ 2.1 ตามลำดับ

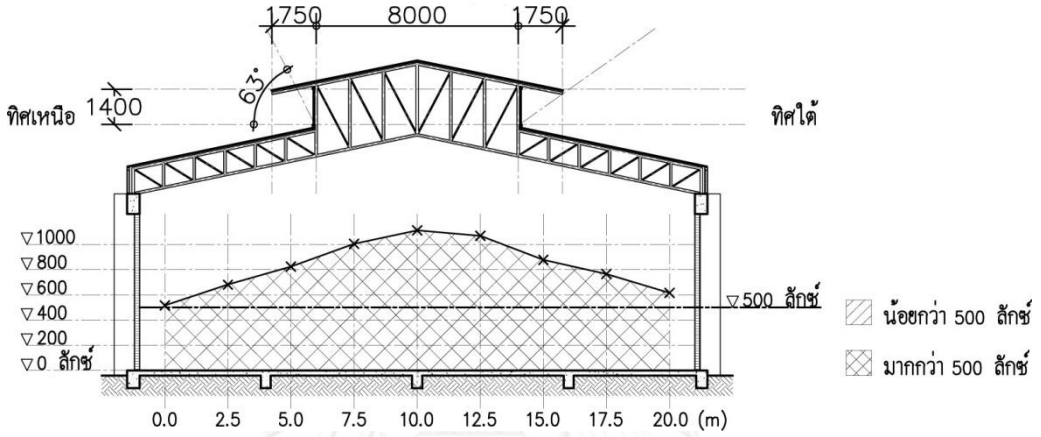
โดยที่ใช้ความส่องสว่างสูงสุดเป็นเกณฑ์เนื่องจาก ค่าความส่องสว่างสูงสุดเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยของช่วงเวลาหนึ่ง โดยค่ามากที่สุดเท่ากับ 1112 ลักซ์ และค่าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 714 ลักซ์ แตกต่างกัน 398 ลักซ์ ซึ่งมีความแตกต่างกันชัดเจน

ค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากการนำค่าความส่องสว่างของทุกช่วงเวลามาเฉลี่ย ซึ่งทำผลได้ของทุกกรณีศึกษามีผลที่ใกล้เคียงกัน โดยค่ามากที่สุดเท่ากับ 599 ลักซ์ และค่าที่น้อยที่สุดเท่ากับ 366 ลักซ์ แตกต่างกัน 233 ลักซ์ ซึ่งมีความแตกต่างไม่ชัดเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

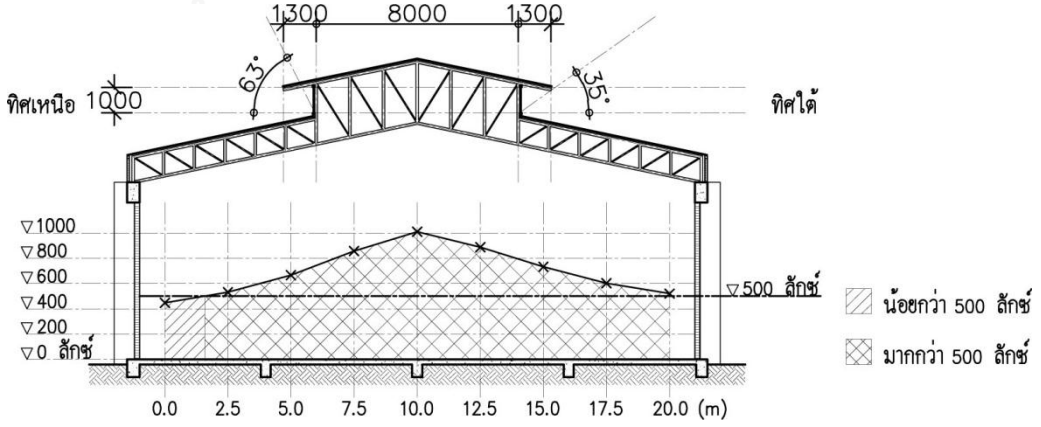
ระดับความส่องสว่าง (แนวทิศเหนือ – ทิศใต้)

กรณีศึกษาที่ 2.5 ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุดในชุดกรณีศึกษาที่ 2 โดยมีความส่องสว่าง 1112 ลักซ์ ที่ระยะ 7.5 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 599 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.58 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



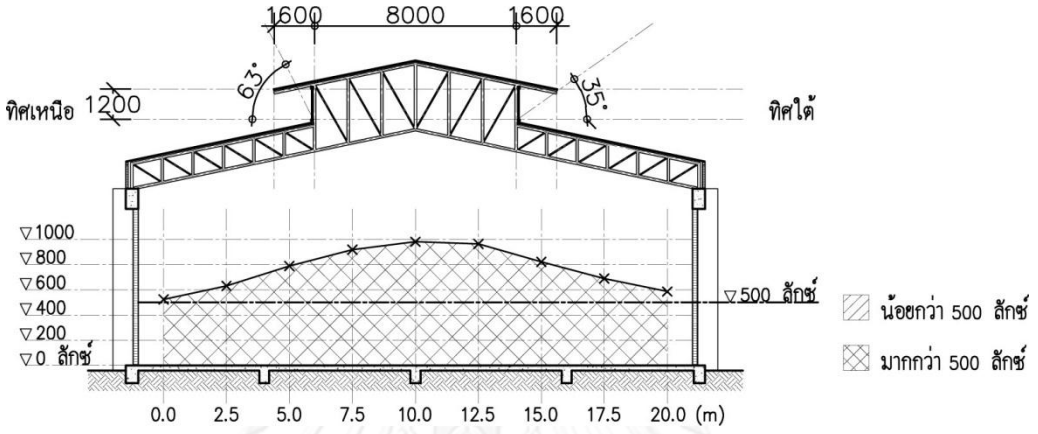
ภาพที่ 4.15 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.5เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 2.3 ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.0 เมตร มีความส่องสว่าง 1009 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 491 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.62 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงยังต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด



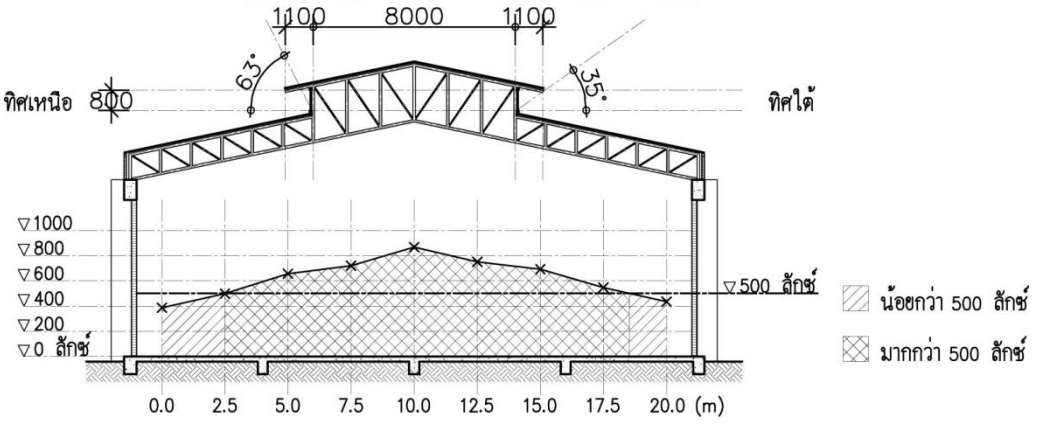
ภาพที่ 4.16 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.3 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 2.4 ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 เมตร มีความส่องสว่าง 980 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 547 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.63 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



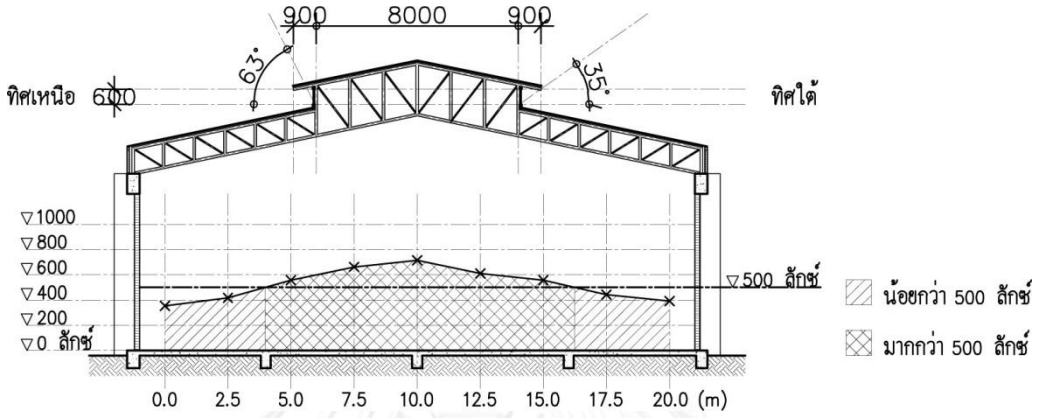
ภาพที่ 4.17 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.4 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 2.2 ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.8 เมตร มีความส่องสว่าง 866 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 438 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.62 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 4.18 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.2 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 2.1ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 เมตร มีความส่องสว่าง 714 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 366 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.67 โดยความส่องสว่างเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 4.19 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 2.1 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

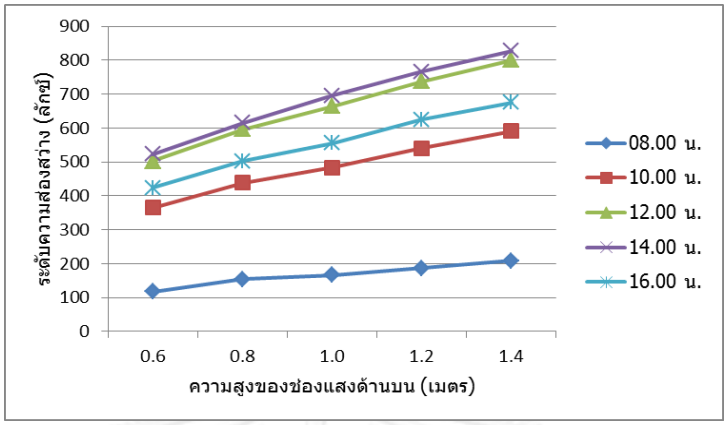
ความสม่ำเสมอ (แนวทิศเหนือ – ทิศใต้)

จากผลการทดลองพบว่า กรณีศึกษาที่ 2.1 ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 เมตร มีค่าความสม่ำเสมอของแสงสูงสุดในกรณีศึกษาที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.67 รองลงมาคือ กรณีศึกษาที่ 2.4, 2.2, 2.3 และ 2.5 ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าความสูงของช่องแสงด้านบน จะแปรผันผกผันกับความสม่ำเสมอของแสง โดยความสูงของช่องแสงด้านบนยิ่งมีค่าน้อย ยิ่งทำให้ความสม่ำเสมอของแสงมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน



แผนภูมิที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน

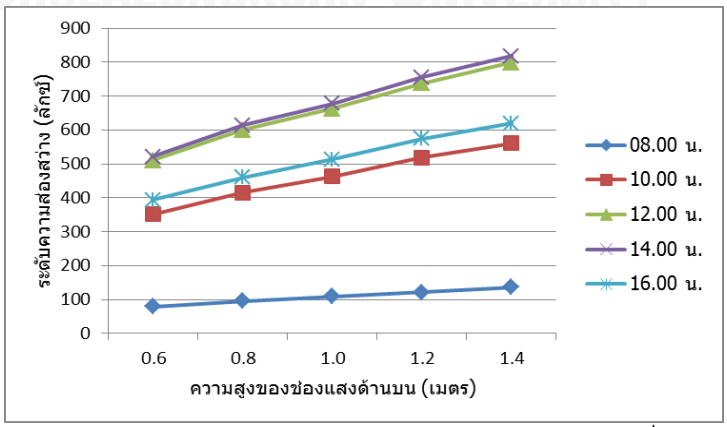
ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.0 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 0.8 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนกันยายน



แผนภูมิที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนกันยายน

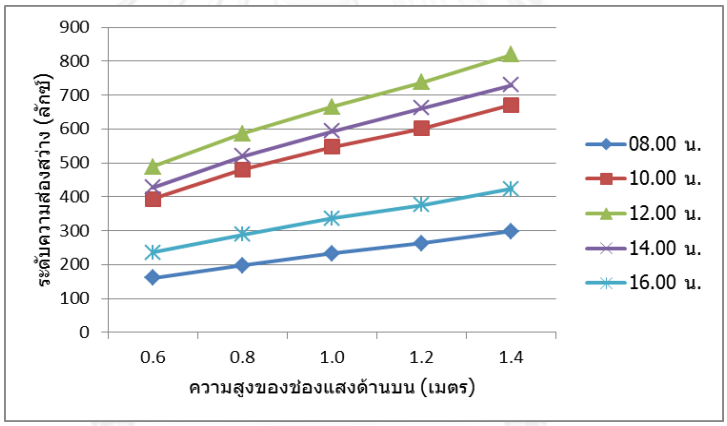
ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.0 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 -0.8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 1.0 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



แผนภูมิที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนธันวาคม

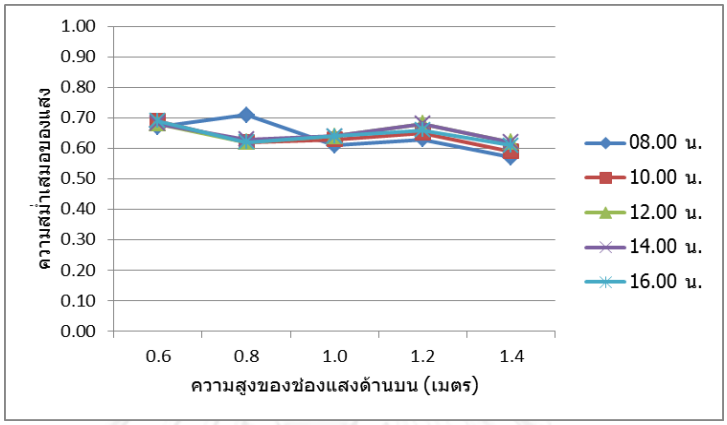
ช่วงเวลา 08.00 และ 16.00 น. เดือนธันวาคม ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนธันวาคม ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 0.8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 1.0 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนธันวาคม ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 0.8 – 1.4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับวัน (21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม) ของกรณีศึกษาที่ 2 แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน

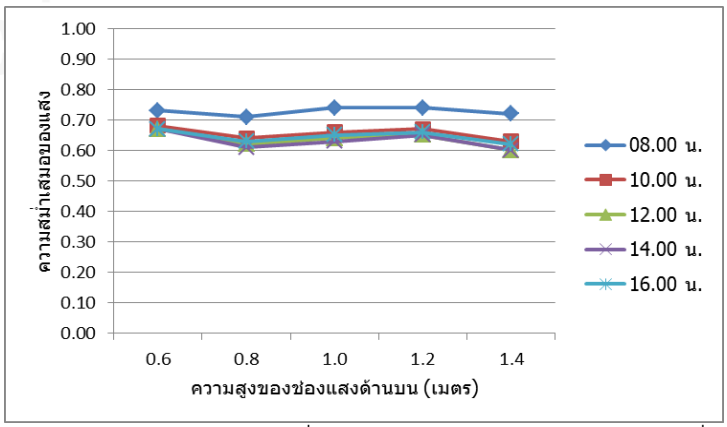


แผนภูมิที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 และ 1.0 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 0.8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนกันยายน

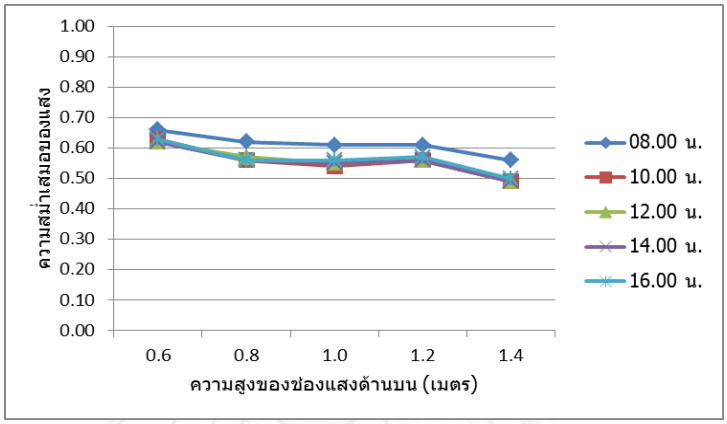


แผนภูมิที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนกันยายน

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



แผนภูมิที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนธันวาคม

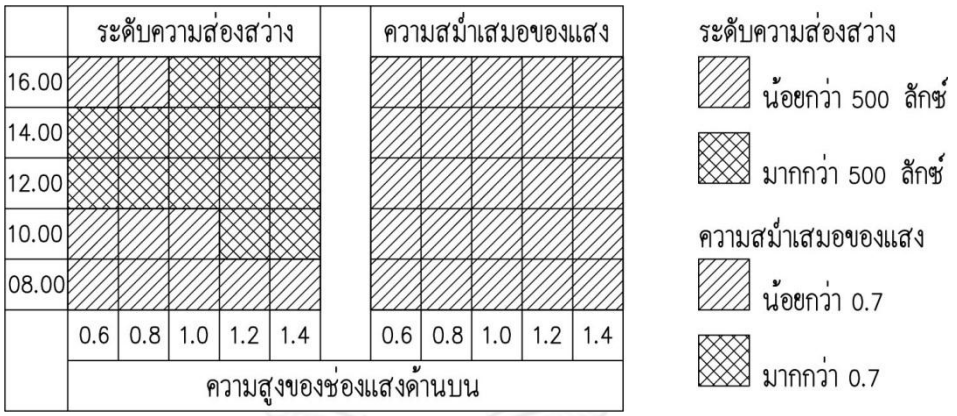
ช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

โดยแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับวัน (21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม) ของกรณีศึกษาที่ 2 แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพ 4.10 – 4.12 แสดงช่วงเวลาที่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานของกรณีศึกษาที่2 โดยแบ่งเป็นเดือนมิถุนายน กันยายนและธันวาคม ในแต่ละเดือนจะแบ่งเป็นช่วงเวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น. ทั้งนี้เพื่อให้คลอบคลุมตลอดปี ซึ่งแต่ละภาพยังแบ่งเป็นระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง

เดือนมิถุนายน



ภาพที่ 4.20 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนมิถุนายน

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

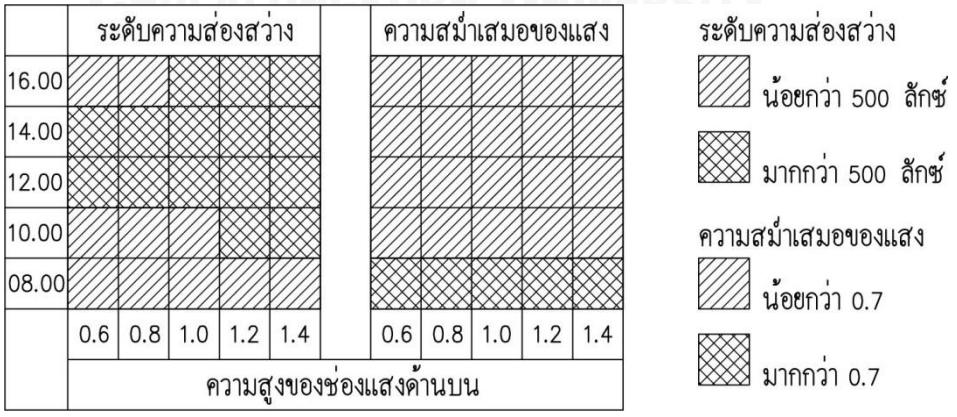
ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.0 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความสม่ำเสมอของแสง

ทุกช่วงเวลาของเดือนมิถุนายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เดือนกันยายน



ภาพที่ 4.21 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนกันยายน

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

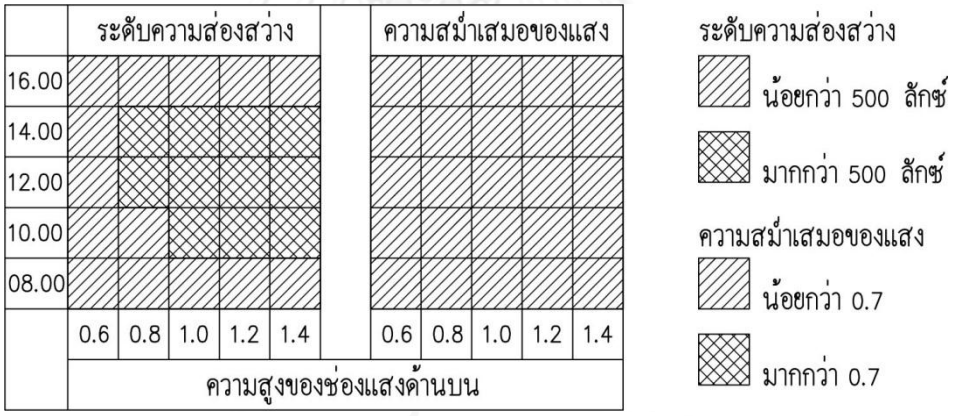
ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.0 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความสม่ำเสมอของแสง

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



ภาพที่ 4.22 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 2 เดือนธันวาคม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนธันวาคม ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.0 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนธันวาคม ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.8 – 1.4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความสม่ำเสมอของแสง

ทุกช่วงเวลาของเดือนธันวาคม ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 – 1.4 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

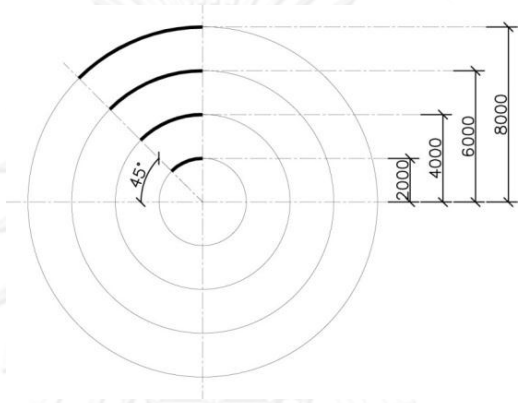
ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมจากกรณีศึกษาที่ผ่านมา โดยเลือกกรณีศึกษา 2.5 มาพัฒนาเพราะเป็นกรณีศึกษาที่มีระดับความส่องสว่างสูงสุด ด้วยการเพิ่มโคมสะท้อนแสงรัศมีความโค้ง 2, 4, 6 และ 8 เมตร บริเวณกึ่งกลางห้องทดลอง เพื่อกระจายแสงจากช่องแสงด้านบนไปยังด้านข้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.1 – 3.4

กรณีศึกษาที่ 3.1 – 3.4 เป็นการนำกรณีศึกษาที่ 2.5 มาพัฒนา โดยกำหนดความสูงของช่องแสงด้านบน 1 เมตร ความกว้างช่องเปิดด้านบน 8 เมตรเท่ากันทุกกรณีศึกษา ซึ่งแต่ละกรณีศึกษาจะแตกต่างกันที่ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2, 4, 6 และ 8 เมตร ตามลำดับ

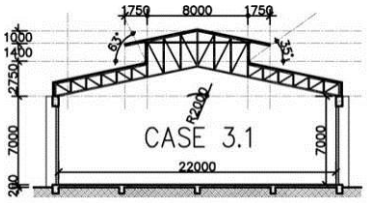
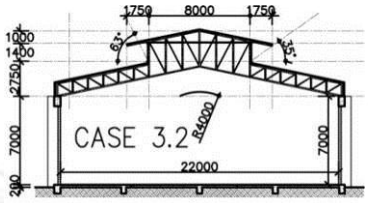
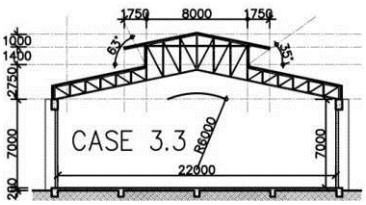
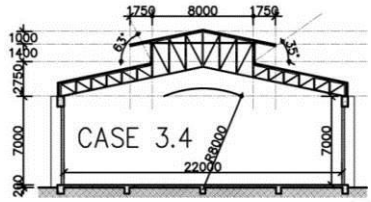
ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง เกิดจากการนำส่วนโค้งของวงกลมรัศมี 2, 4, 6 และ 8 เมตร ดังภาพที่ 4.21 มาเพื่อช่วยให้เกิดการกระจายแสงภายในอาคารมากขึ้น



ภาพที่ 4.23 แผ่นสะท้อนแสงโค้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4 กรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3.1	กรณีศึกษาที่ 3.2	กรณีศึกษาที่ 3.3
- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม. - ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม. - ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 4 ม.	- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม. - ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 ม.
		
กรณีศึกษาที่ 3.4		
- ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 ม. - ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 ม. - ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 8 ม.		
		

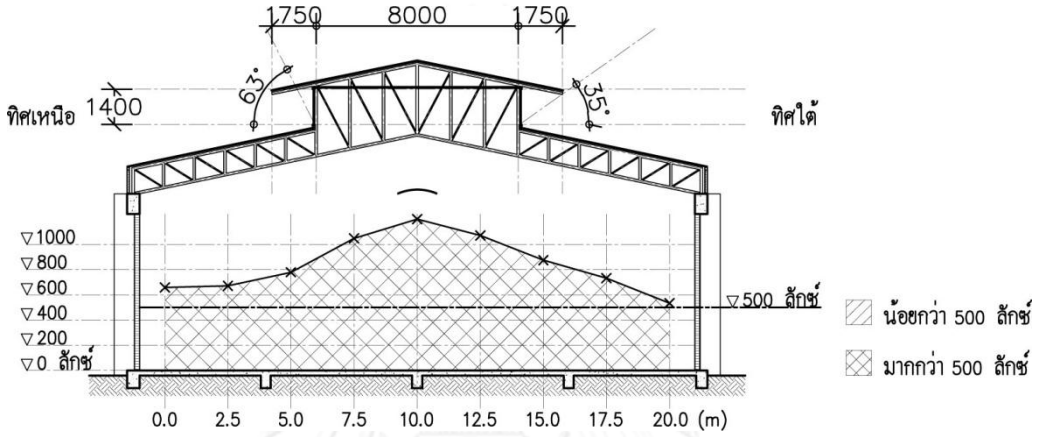
แนวทิศเหนือ – ทิศใต้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.1 – 3.4 แนวเหนือ – ทิศใต้

กรณีศึกษา	ความส่องสว่างสูงสุด (ลักซ์)	เวลา	วัน	ค่าเฉลี่ย (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง
3.1	1199	12.00	21 ธันวาคม	609	0.68
3.2	1022	12.00	21 ธันวาคม	551	0.76
3.3	883	12.00	21 ธันวาคม	479	0.81
3.4	848	12.00	21 ธันวาคม	413	0.67

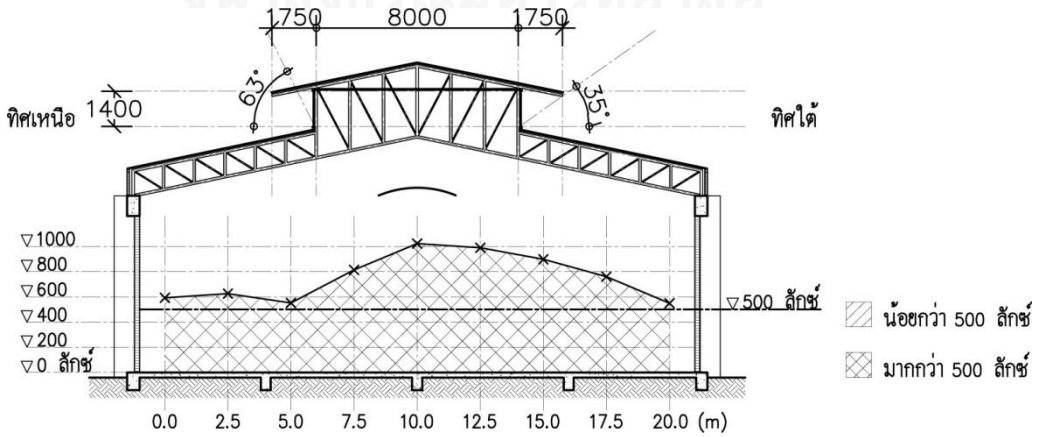
ระดับความส่องสว่าง (แนวทิศเหนือ – ทิศใต้)

กรณีศึกษาที่ 3.1 ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุดในชุดกรณีศึกษาที่ 3 โดยมีความส่องสว่าง 1199 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 609 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.68 โดยความส่องสว่างทุกระยะเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



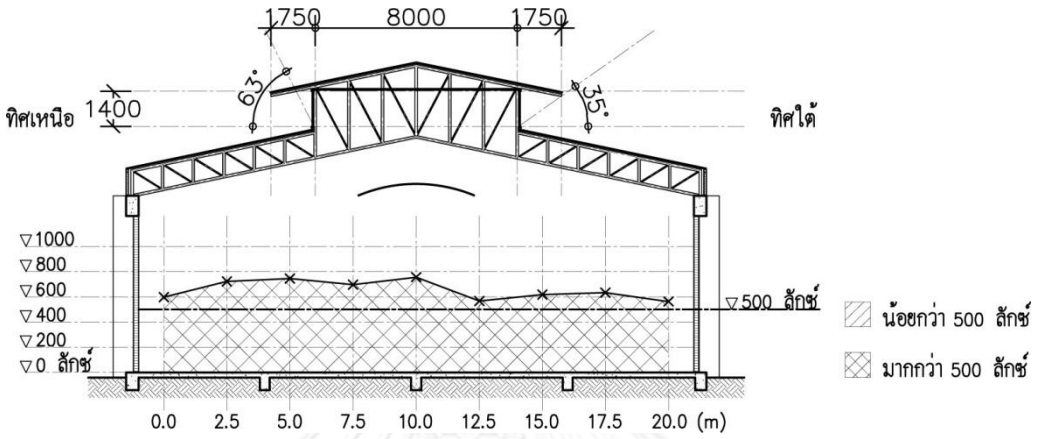
ภาพที่ 4.24 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.1 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม

กรณีศึกษาที่ 3.2 ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 4 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 1022 ลักซ์ ที่ระยะ 10.0 เมตร ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 551 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.7 โดยความส่องสว่างทุกระยะและความสม่ำเสมอของแสงเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



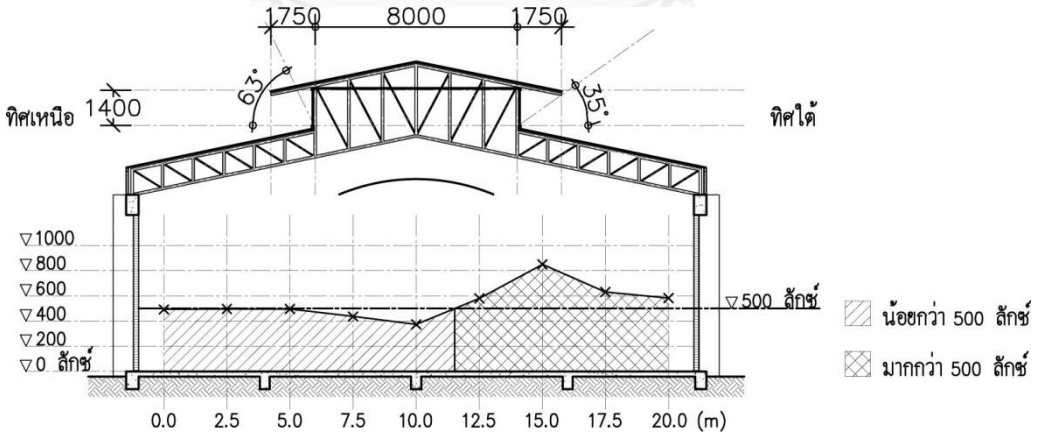
ภาพที่ 4.25 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.2 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม

กรณีศึกษาที่ 3.3 ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 883 ลักซ์ ที่ระยะ 15.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 479 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.81 โดยความส่องสว่างทุกระยะและความสม่ำเสมอของแสงเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 4.26 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.3 เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

กรณีศึกษาที่ 3.4 ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 8 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุด 848 ลักซ์ ที่ระยะ 15.0 เมตรจากขอบสนาม ในช่วงเวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม ความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ 413 ลักซ์และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยตลอดปี 0.67 โดยความส่องสว่างทุกระยะและความสม่ำเสมอของแสงเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



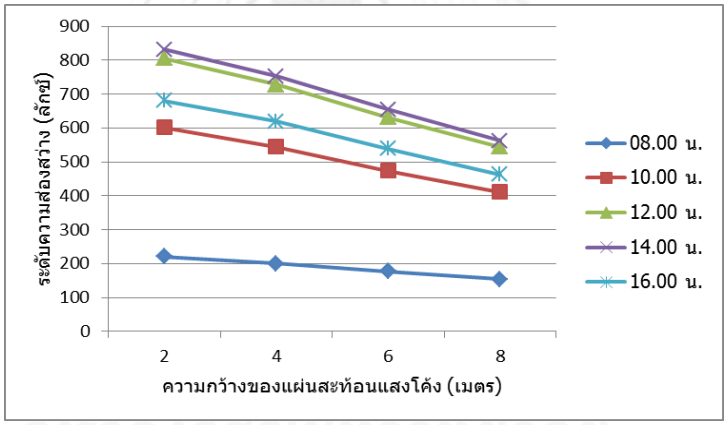
ภาพที่ 4.27 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของกรณีศึกษาที่ 3.4 เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม

ความสม่ำเสมอของแสง (แนวทิศเหนือ – ทิศใต้)

จากผลการทดลองพบว่า กรณีศึกษาที่ 3.3 ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 เมตร มีค่าความสม่ำเสมอของแสงสูงสุดในกรณีศึกษาที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.81 รองลงมาคือ กรณีศึกษาที่ 3.2, 3.1 และ 3.4 ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่า ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งจะแปรผันตรงกับความสม่ำเสมอของแสง โดยความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งยิ่งมีค่ามาก ยิ่งทำให้ความสม่ำเสมอของแสงมาก แต่ที่กรณีศึกษาที่ 3.4 ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 8 เมตร มีค่าความสม่ำเสมอของแสงน้อยที่สุดในกรณีศึกษาที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.62 เนื่องจากความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งมีค่าเท่ากับ ระยะห่างระหว่างของช่องแสงด้านบน จึงส่งผลให้แสงผ่านเข้ามาภายในอาคารได้ยาก ทำให้ความสม่ำเสมอของแสงน้อยลงไปด้วย

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน



แผนภูมิที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนมิถุนายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

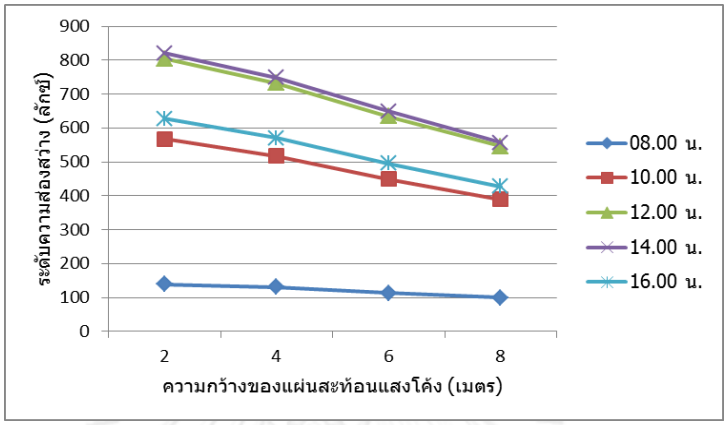
ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนมิถุนายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 – 8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. เดือนมิถุนายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 8 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนมิถุนายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 6 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนกันยายน



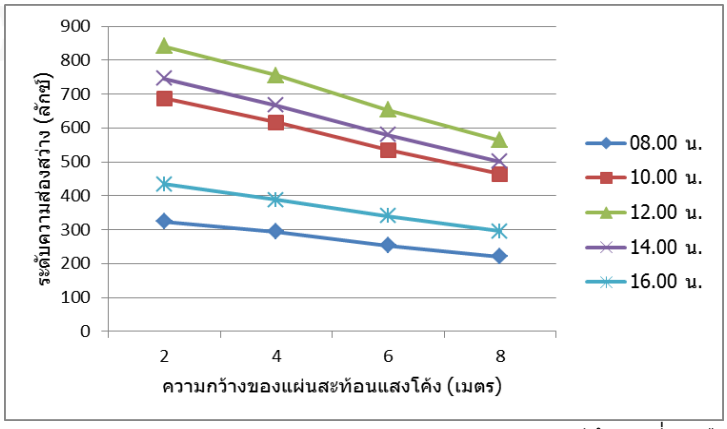
แผนภูมิที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนกันยายน

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 และ 16.00 น. เดือนกันยายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 – 8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 4 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. เดือนธันวาคม ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 8 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



แผนภูมิที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนธันวาคม

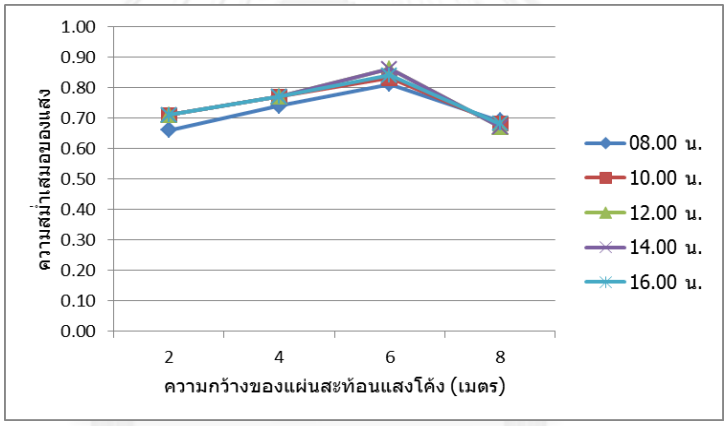
ช่วงเวลา 08.00 และ16.00 น. เดือนธันวาคม ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนธันวาคม ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 8 เมตร มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 6 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 และ 16.00 น. เดือนธันวาคม ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 8 เมตร มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับวัน (21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม) ของกรณีศึกษาที่ 3 แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน

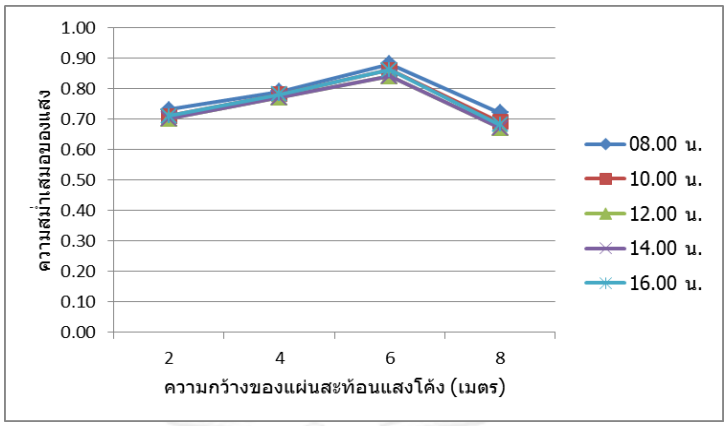


แผนภูมิที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน

ช่วงเวลา 08.00 และ16.00 น. เดือนมิถุนายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 และ 8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนโค้ง 4 – 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 – 14.00 น. เดือนมิถุนายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนกันยายน

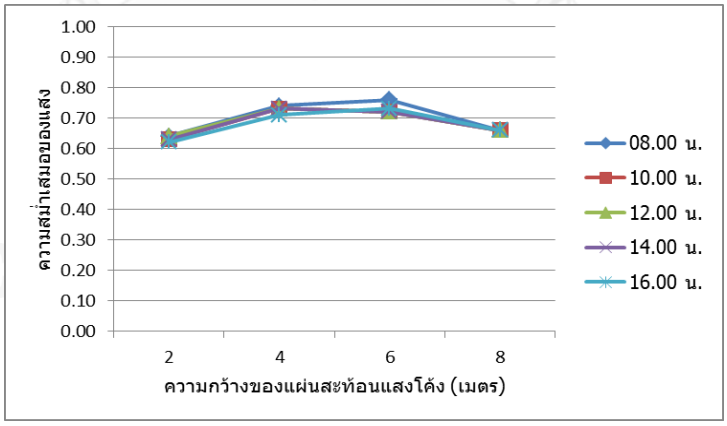


แผนภูมิที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนกันยายน

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. เดือนกันยายน ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 – 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



แผนภูมิที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนธันวาคม

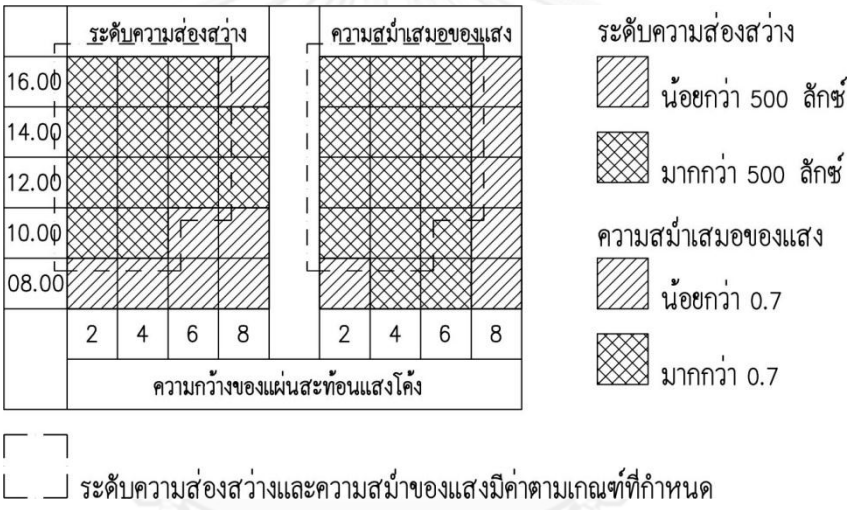
ช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. เดือนธันวาคม ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 และ 8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 4 – 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของแสงกับวัน (21 มิถุนายน, 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม) ของกรณีศึกษาที่ 3 แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 3

จากภาพ 4.16 – 4.18 แสดงช่วงเวลาที่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานของกรณีศึกษาที่3 โดยแบ่งเป็นเดือนมิถุนายน กันยายนและธันวาคม ในแต่ละเดือนจะแบ่งเป็นช่วงเวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น. ทั้งนี้เพื่อให้คลอบคลุมตลอดปี ซึ่งแต่ละภาพยังแบ่งเป็นระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง

เดือนมิถุนายน



ภาพที่ 4.28 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนมิถุนายน

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนมิถุนายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนมิถุนายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 8 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนมิถุนายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 6 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

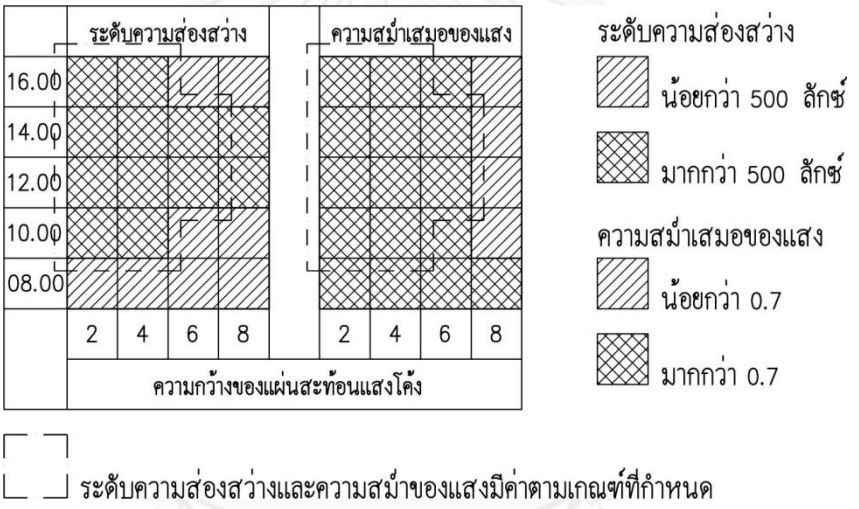
ความสม่ำเสมอของแสง

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนมิถุนายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 4 - 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. เดือนมิถุนายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยช่วงเวลา 10.00 น. เดือนมิถุนายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 4 เมตร และช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 6 เมตร มีระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนกันยายน



ภาพที่ 4. 29 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนกันยายน

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนกันยายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนกันยายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 8 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 16.00 น. เดือนกันยายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 4 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

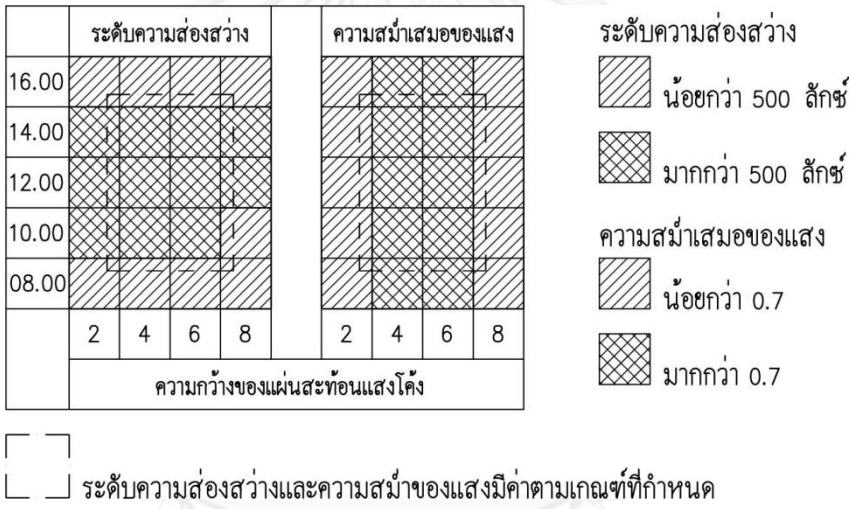
ความสม่ำเสมอของแสง

ช่วงเวลา 08.00 น. เดือนกันยายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 8 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. เดือนกันยายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยช่วงเวลา 10.00 น. เดือนกันยายน โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 4 เมตร ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 6 เมตร และช่วงเวลา 16.00 น. โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 4 เมตร มีระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



ภาพที่ 4.30 ช่วงเวลาของกรณีศึกษาที่ 3 เดือนธันวาคม

ระดับความส่องสว่าง

ช่วงเวลา 10.00 น. เดือนธันวาคม โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 6 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. เดือนธันวาคม โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 2 - 8 เมตร มีระดับความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความสม่ำเสมอของแสง

ช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. เดือนธันวาคม โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 4 - 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยช่วงเวลา 10.00 14.00 น. เดือนธันวาคม โคมสะท้อนแสงโค้งรัศมี 4 - 6 เมตร มีระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษารูปแบบช่องแสง ที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารกีฬาในร่ม โดยใช้เกณฑ์ความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ และความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.7 ซึ่งเป็เกณฑ์สำหรับการแข่งขัน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย

1. ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน ประกอบด้วยระยะห่าง 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 เมตร

2. ความสูงของช่องแสงด้านบน ประกอบด้วยความสูง 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 เมตร

3. ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2, 4, 6 และ 8 เมตร

งานวิจัยนี้ศึกษาโดยใช้โปรแกรม DIALux 4.11 สร้างแบบจำลองขนาด 22x44x7 เมตร ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง 8.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 ในวันที่ 21 มิถุนายน, กันยายน และธันวาคม โดยผู้วิจัยเลือกใช้ค่าความส่องสว่าง ในการเปรียบเทียบผลของการทดลองในแต่ละตัวแปร การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 เพื่อศึกษารูปแบบช่องเปิดที่ส่งผลต่อความระดับความส่องสว่าง

ส่วนที่ 2 เพื่อศึกษารูปแบบช่องเปิดที่ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของแสง

ส่วนที่ 1 ระดับความส่องสว่าง

1. ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 เมตร มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด รองลงมาคือ 6, 10, 4, 14, 12, 16, 18 และ 2 เมตร ตามลำดับ

2. ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 เมตร มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด รองลงมาคือ 1.2, 1.0, 0.8 และ 0.6 เมตร ตามลำดับ

3. ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 เมตร มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด รองลงมาคือ 4, 6 และ 8 เมตร ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 ความสม่ำเสมอของแสง

1. ระยะห่างระหว่างช่องเปิดด้านบน 18 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงสูงที่สุด รองลงมาคือ 16, 14, 12, 10, 4, 8, 6 และ 2 เมตร ตามลำดับ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ความสูงของช่องแสงด้านบน 0.6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงสูงที่สุด รองลงมาคือ 1.2, 0.8 กับ 1.0 และ 1.4 เมตร ตามลำดับ

3. ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 เมตร มีความสม่ำเสมอของแสงสูงที่สุด รองลงมาคือ 4, 2 และ 8 เมตร ตามลำดับ

อิทธิพลของตัวแปร

ระดับความส่องสว่าง

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระดับความส่องสว่างมาก ได้แก่ ความสูงของช่องแสงด้านบนและความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง โดยความสูงของช่องแสงด้านบนยิ่งมาก ยิ่งทำให้ระดับความส่องสว่างมากตามไปด้วย ส่วนความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งยิ่งความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งน้อย ยิ่งทำให้ระดับความส่องสว่างมาก

ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลน้อยต่อระดับความส่องสว่าง เห็นได้จากช่วงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดกับน้อยที่สุดเท่ากับ 500 – 429 ลักซ์ แตกต่างกันเพียง 71 ลักซ์หรือแทบไม่ต่างกัน

ความสม่ำเสมอของแสง

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความสม่ำเสมอของแสงมาก ได้แก่ ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน ความสูงของช่องแสงด้านบนและวามกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง โดยระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนยิ่งมีค่ามาก ยิ่งทำให้ความสม่ำเสมอของแสงมาก ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน ยิ่งความสูงของช่องเปิดด้านบนน้อย ยิ่งทำให้ความสม่ำเสมอของแสงมาก และความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง ยิ่งความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งมาก ยิ่งทำให้ความสม่ำเสมอของแสงมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 การแนะนำข้อมูลไปใช้ในงานออกแบบสำหรับสถาปนิก

จากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่สรุปด้ ผู้วิจัยจึงพยายามหาวิธีการให้ผู้ออกแบบ เช่น สถาปนิก นำไปใช้งานด้วยการใช้โมโนกราฟ

โนโมกราฟ (Nomograph) นี้เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เป็นอุปกรณ์ประมาณค่าความส่องสว่างเบื้องต้น สามารถเลือกใช้ตัวแปรและเปลี่ยนค่าได้ด้วยการลากเส้นตัดเส้นกราฟของตัวแปรต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีง่ายๆ (สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์ 2544)

5.2.1 โนโมกราฟ

โนโมกราฟ 1 ชุด ประกอบด้วย 3 แผนภูมิ ประกอบด้วย

1. แผนภูมิระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน

เกิดจากการผลการทดลองของกรณีศึกษาที่ 1 มาเขียนกราฟแยกเป็นเดือนมิถุนายน, กันยายน และธันวาคม โดยกำหนดทั้งแกนตั้งและแกนนอนเป็นระดับความส่องสว่าง ซึ่งจุดตัดของทั้ง 2 แกนจะเป็นระดับความส่องสว่างของกรณีศึกษา โดยในแผนภูมินี้สามารถเลือกได้ 9 กรณี ตามระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนที่ทำการทดลอง นอกจากนั้นในแผนภูมิยังแบ่งระดับความส่องสว่างออกเป็น น้อยกว่าและมากกว่า 500 ลักซ์ ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ก่อนหน้า

2. แผนภูมิค่าความสูงช่องแสงด้านบน

เกิดจากการนำผลการทดลองของกรณีศึกษาที่ 2 มาเขียนกราฟแยกเป็นเดือนมิถุนายน, กันยายน และธันวาคม โดยกำหนดทั้งแกนตั้งและแกนนอนเป็นระดับความส่องสว่าง ซึ่งในแกนนอนกำหนดจากผลการทดลองของกรณีศึกษาที่ 2 ส่วนในแกนตั้งจะใช้ระดับความส่องสว่างของกรณีศึกษาที่ 1.4 (ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 เมตร) เนื่องจากกรณีศึกษาที่ 2 นั้นเป็นการนำรูปแบบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 1 มาพัฒนา พอได้จุดตัดของทั้ง 2 แกนก็ลากเส้นไปยังจุด 0,0 โดยในแผนภูมินี้สามารถเลือกได้ 5 กรณีศึกษา ตามความสูงของช่องแสงด้านบนที่ทำการทดลอง นอกจากนั้นในแผนภูมิยังแบ่งระดับความส่องสว่างออกเป็น น้อยกว่าและมากกว่า 500 ลักซ์ ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ก่อนหน้า

3. แผนภูมิค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง

เกิดจากการนำผลการทดลองของกรณีศึกษาที่ 3 มาเขียนกราฟแยกเป็นเดือนมิถุนายน, กันยายน และธันวาคม โดยกำหนดทั้งแกนตั้งและแกนนอนเป็นระดับความส่องสว่าง ซึ่งในแกนนอนกำหนดจากผลการทดลองของกรณีศึกษาที่ 3 ส่วนในแกนตั้งจะใช้ระดับความส่องสว่างของกรณีศึกษาที่ 2.5 (ความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 เมตร) เนื่องจากกรณีศึกษาที่ 3 นั้นเป็นการนำรูปแบบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 2 มาพัฒนา พอได้จุดตัดของทั้ง 2 แกนก็ลากเส้นไปยังจุด 0,0 โดยในแผนภูมินี้สามารถเลือกได้ 4 กรณีศึกษา ตามความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งที่ทำการทดลอง นอกจากนั้นในแผนภูมิยังแบ่งระดับความส่องสว่างออกเป็น น้อยกว่าและมากกว่า 500 ลักซ์ ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ก่อนหน้า

โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเฉลี่ย

เป็นกราฟที่ใช้เพื่อการทำนายหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย โดยได้แบ่งกราฟออกเป็นเดือนมิถุนายน กันยายน และธันวาคม เพื่อให้สามารถทำนายค่าความส่องสว่างได้ตลอดปีและได้ผลการทำนายที่แม่นยำยิ่งขึ้น

วิธีการใช้โนโมกราฟความส่องสว่าง

1. **แผนภูมิระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน**

เลือกค่าระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน จากจุดตัดลากเส้นไปทางขวาได้ค่าความส่องสว่างค่าหนึ่ง จากค่าที่ได้ลากเส้นไปทางขวาไปยัง แผนภูมิ 2)

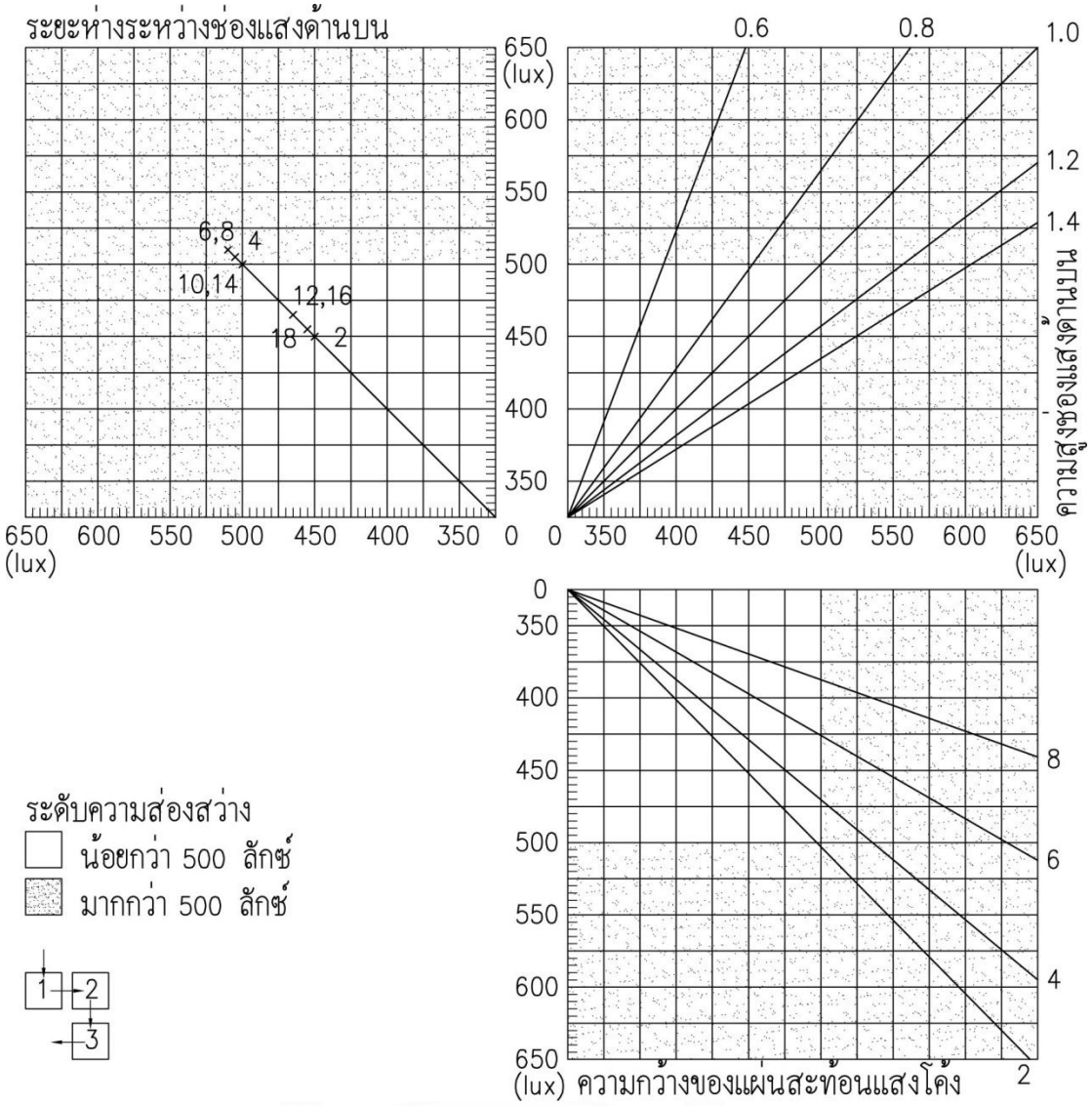
2. **แผนภูมิค่าความสูงช่องแสงด้านบน**

จากค่าความส่องสว่างจากแผนภูมิ 1) ลากตัดเส้นไปตัดกราฟค่าความสูงช่องแสงด้านบนที่ต้องการ จากจุดตัดลากเส้นลงด้านล่าง ได้ค่าความส่องสว่างของอาคารที่มีระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน และความสูงช่องแสงด้านบนตามที่เลือก จากค่าที่ได้ลากเส้นต่อไปยัง แผนภูมิ 3)

3. **แผนภูมิค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง**

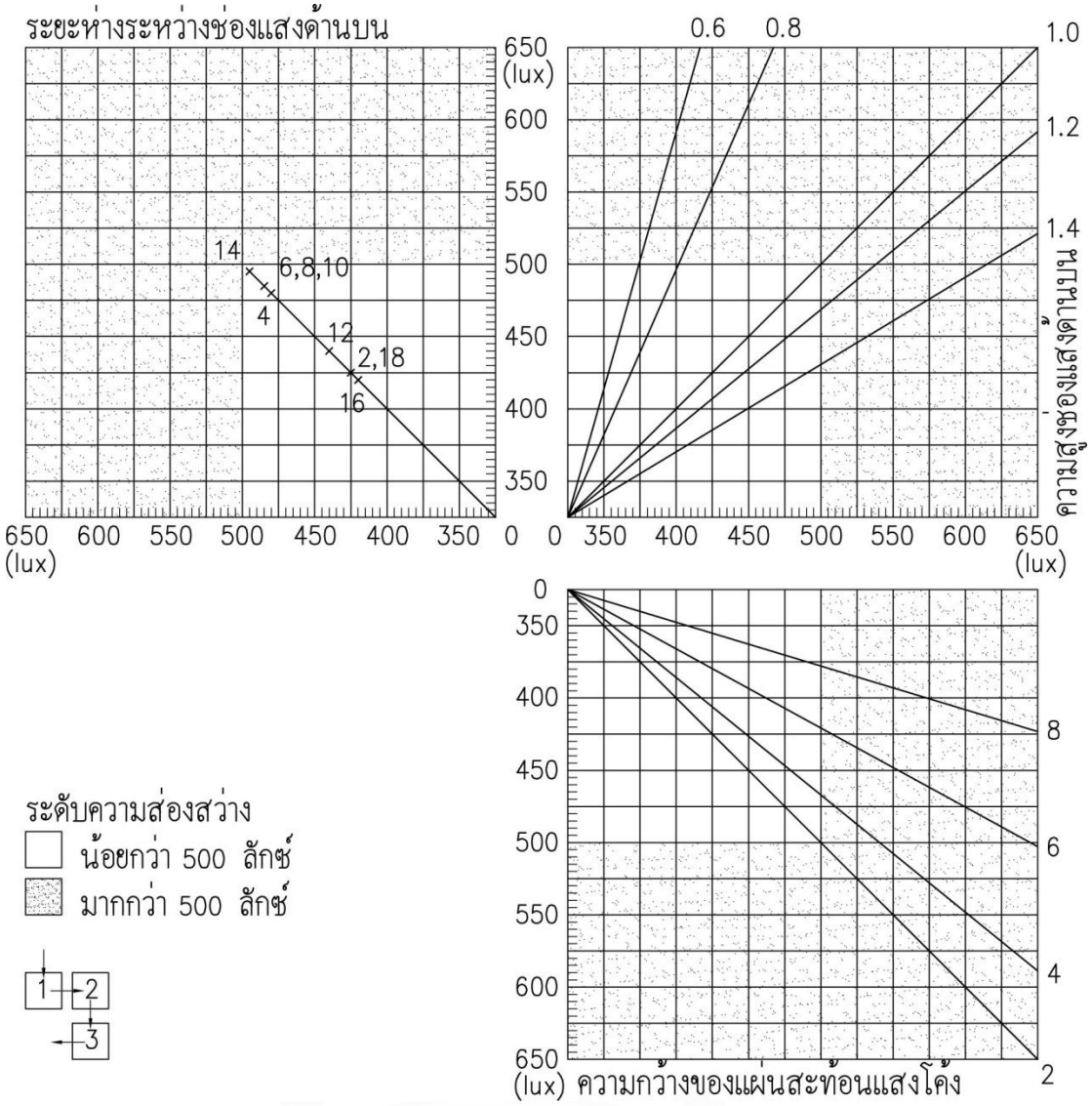
จากค่าความส่องสว่างจากแผนภูมิ 2) ลากตัดเส้นไปตัดกราฟค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งที่ต้องการ จากจุดตัดลากเส้นไปทางด้านซ้าย จะได้ค่าความส่องสว่างของอาคารที่มีระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน ความสูงของช่องแสงด้านบน และค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งตามที่เลือก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



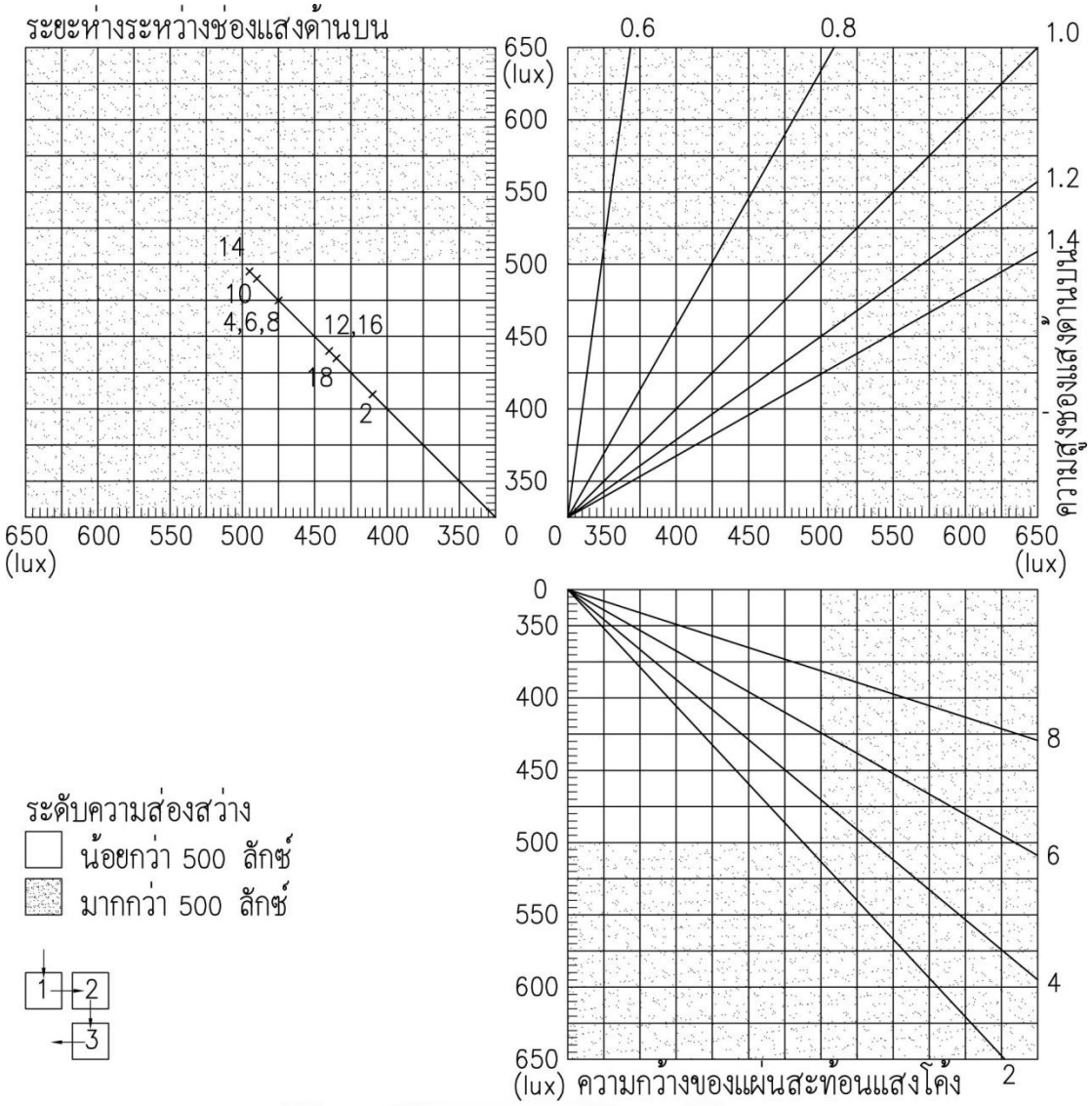
ภาพที่ 5.1 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.2 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนกันยายน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.3 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนธันวาคม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ย

เป็นกราฟที่ใช้เพื่อการทำนายหาค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ย โดยได้แบ่งกราฟออกเป็นเดือนมิถุนายน กันยายน และธันวาคม เพื่อให้สามารถทำนายค่าความส่องสว่างได้ตลอดปีและได้ผลการทำนายที่แม่นยำยิ่งขึ้น

วิธีการใช้โนโมกราฟความสม่ำเสมอของแสง

1. **แผนภูมิระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน**

เลือกค่าระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน จากจุดตัดลากเส้นไปทางขวาได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงค่าหนึ่ง จากค่าที่ได้ลากเส้นไปทางขวาไปยัง แผนภูมิ 2)

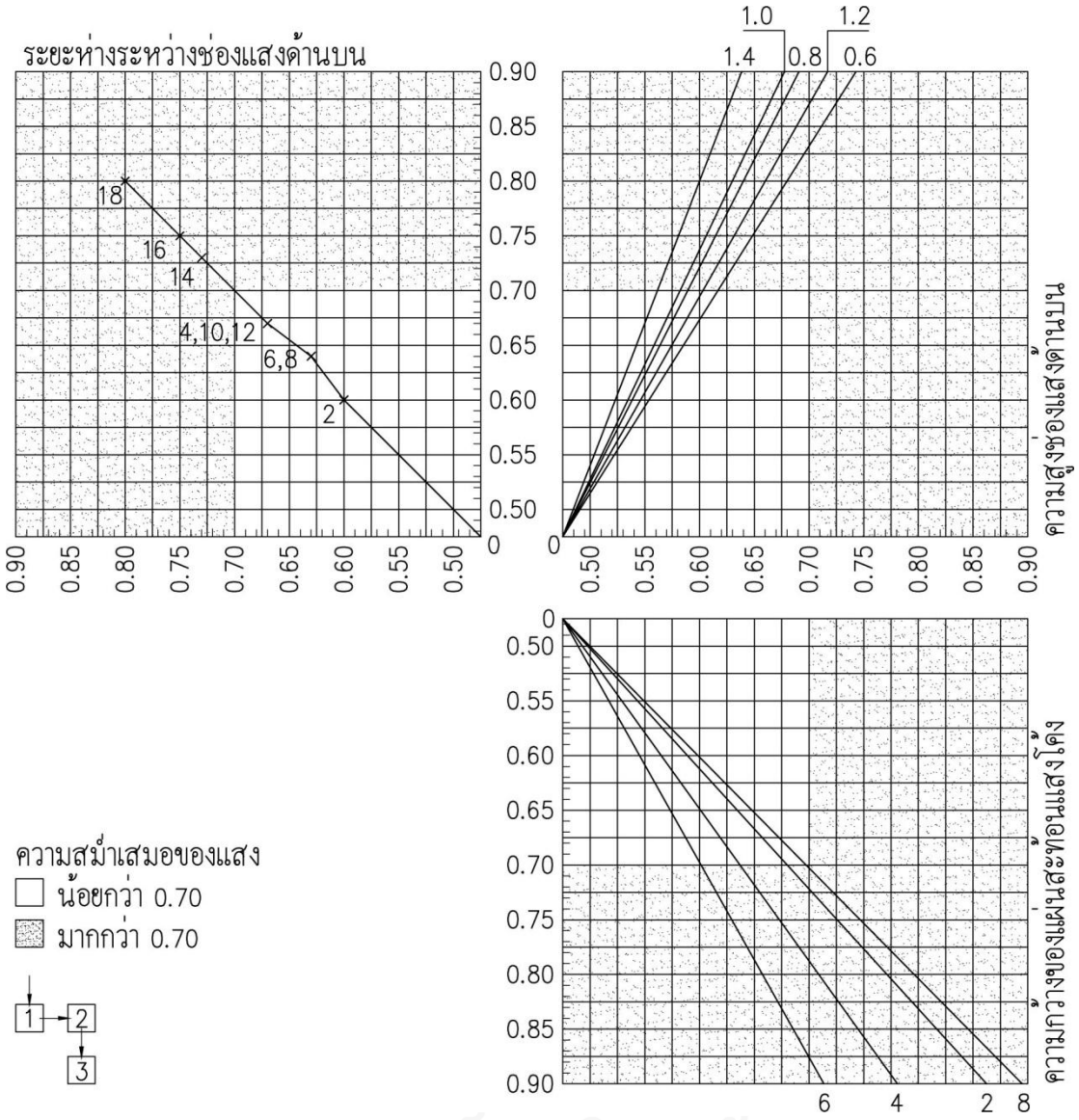
2. **แผนภูมิค่าความสูงช่องแสงด้านบน**

จากค่าความสม่ำเสมอของแสงจากแผนภูมิ 1) ลากตัดเส้นไปตัดกราฟค่าความสูงช่องแสงด้านบนที่ต้องการ จากจุดตัดลากเส้นลงด้านล่าง ได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงของอาคารที่มีระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน และความสูงช่องแสงด้านบนตามที่เลือก จากค่าที่ได้ลากเส้นต่อไปยัง แผนภูมิ 3)

3. **แผนภูมิค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง**

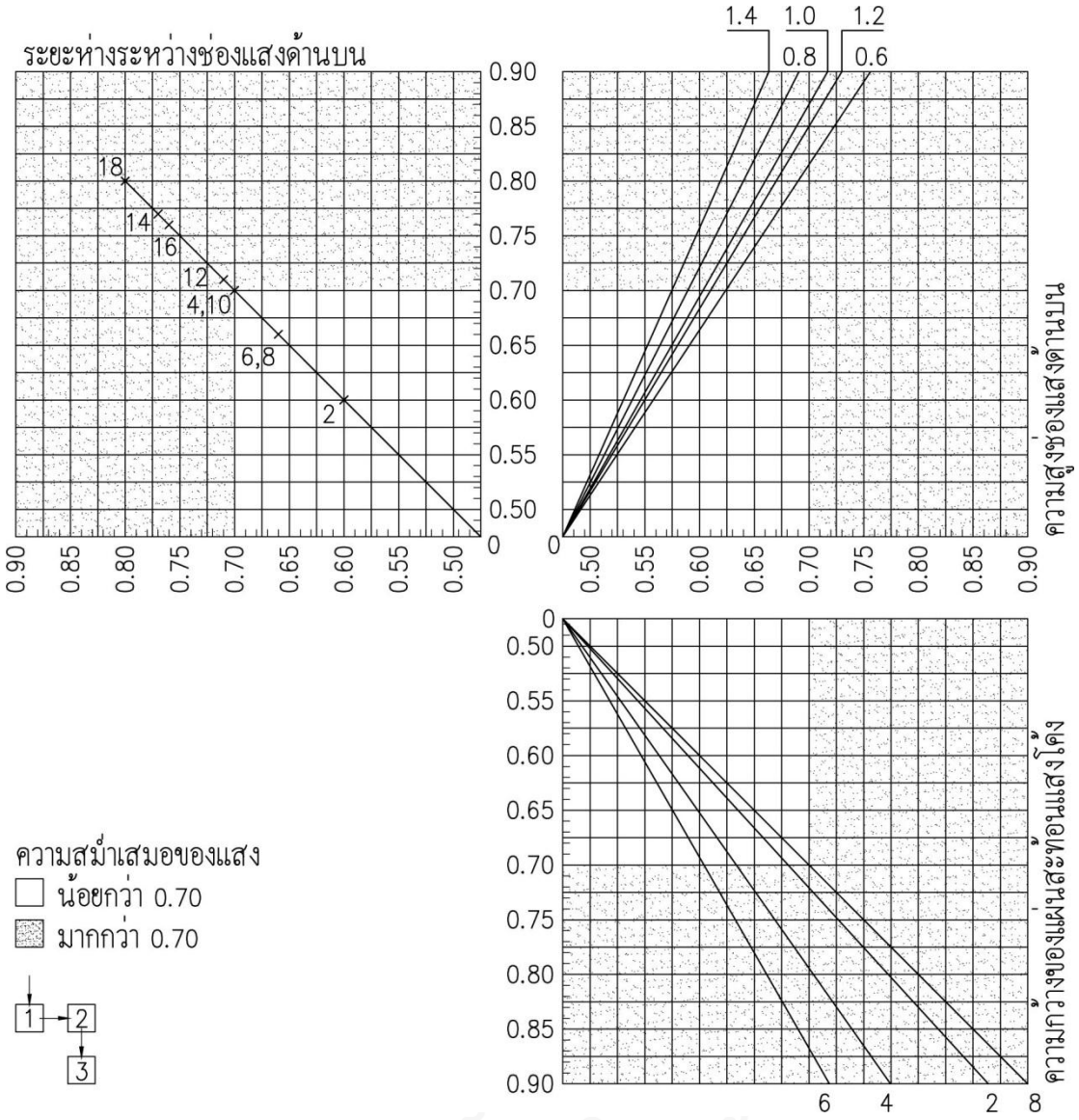
จากค่าความสม่ำเสมอของแสงจากแผนภูมิ 2) ลากตัดเส้นไปตัดกราฟค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งที่ต้องการ จากจุดตัดลากเส้นไปทางด้านซ้าย จะได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงของอาคารที่มีระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน ความสูงของช่องแสงด้านบน และค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้งตามที่เลือก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



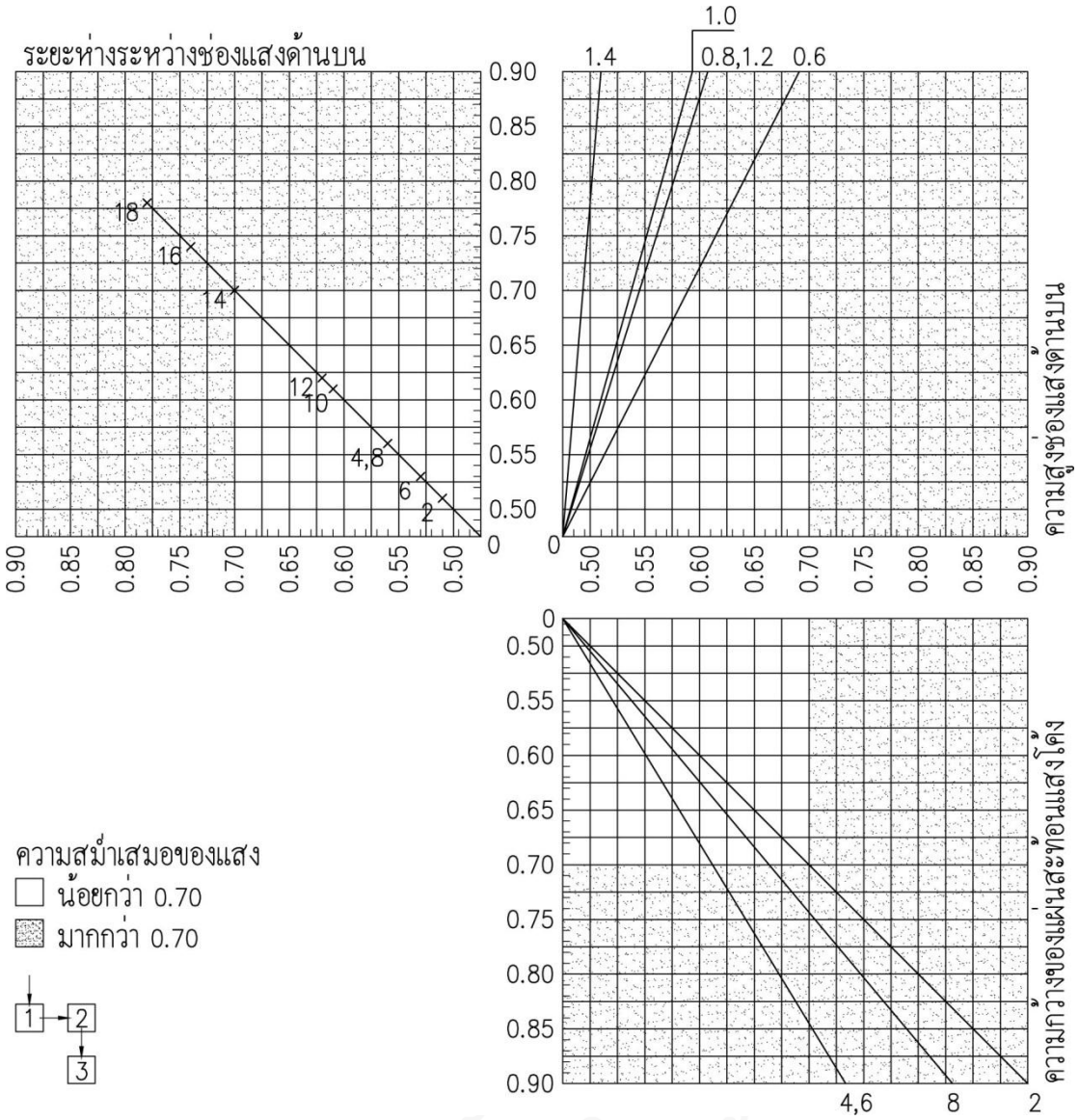
ภาพที่ 5.4 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.5 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนกันยายน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



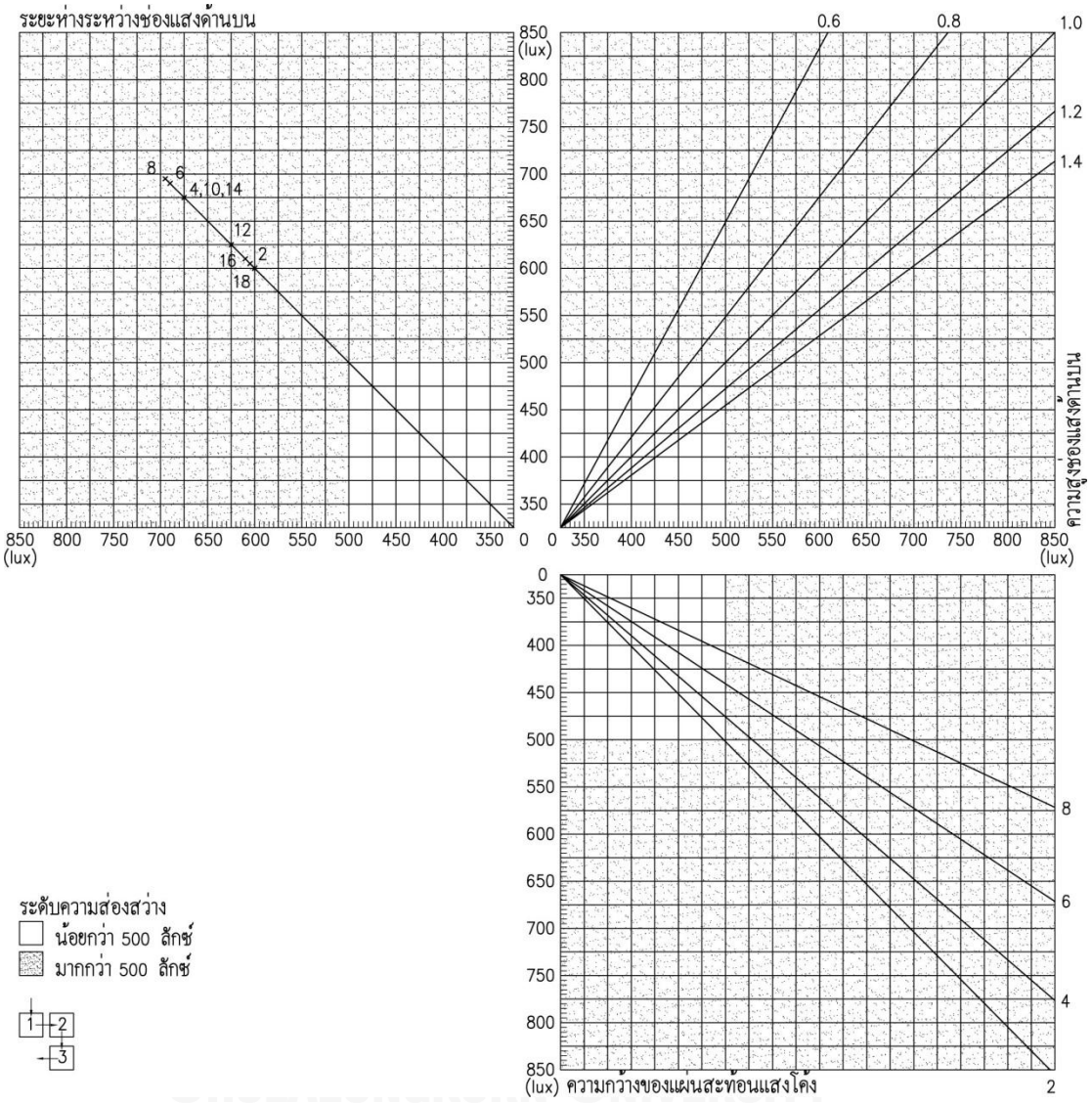
ภาพที่ 5.6 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนธันวาคม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โนโมกราฟของเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

ความส่องสว่าง

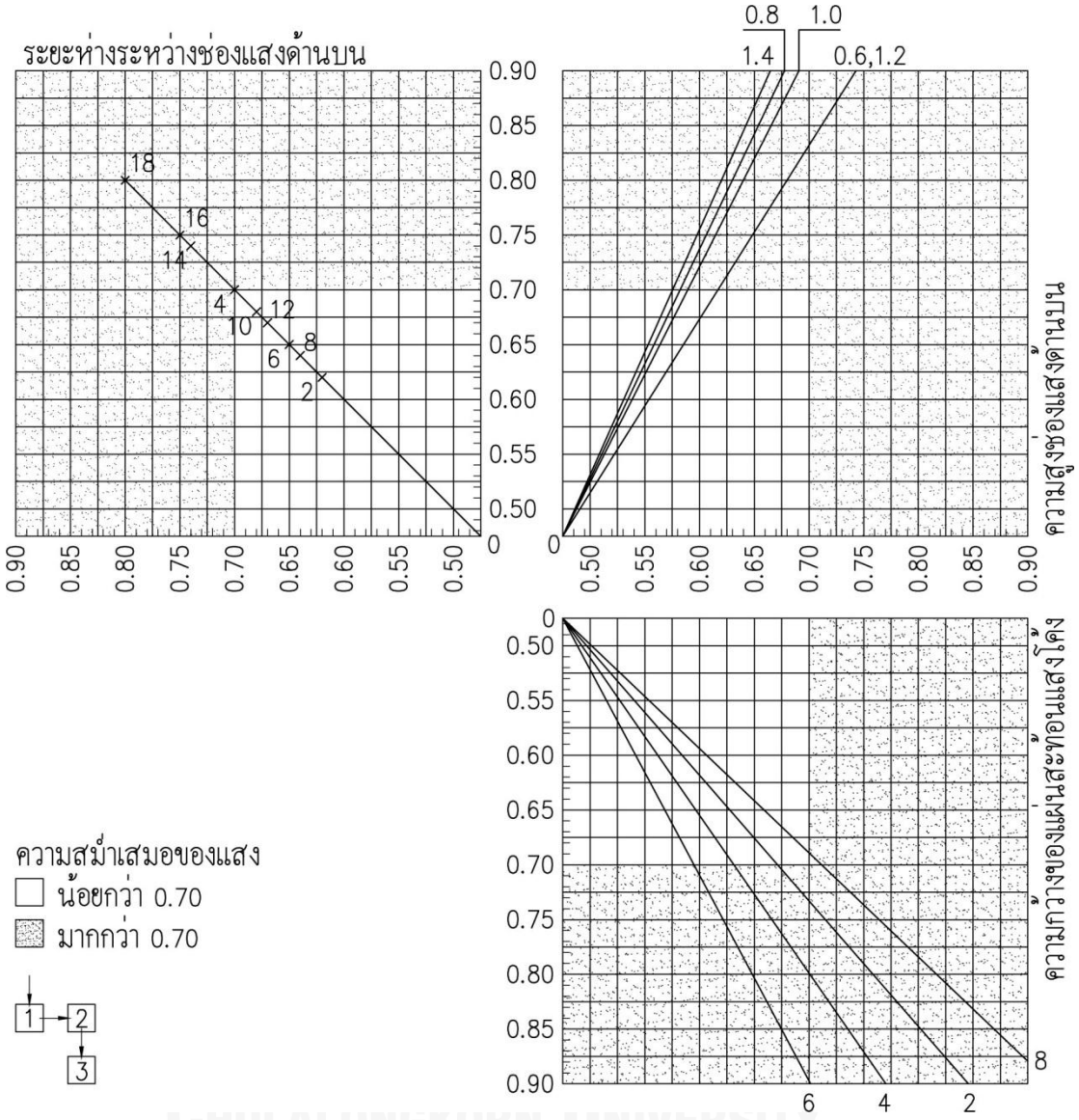
เป็นกราฟที่ได้จากผลการทดลองของเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน



ภาพที่ 5.7 โนโมกราฟแสดงค่าความส่องสว่างของเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

ความสม่ำเสมอของแสง

เป็นกราฟที่ได้จากผลการทดลองของเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน



ภาพที่ 5.8 โนโมกราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของแสงของเวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

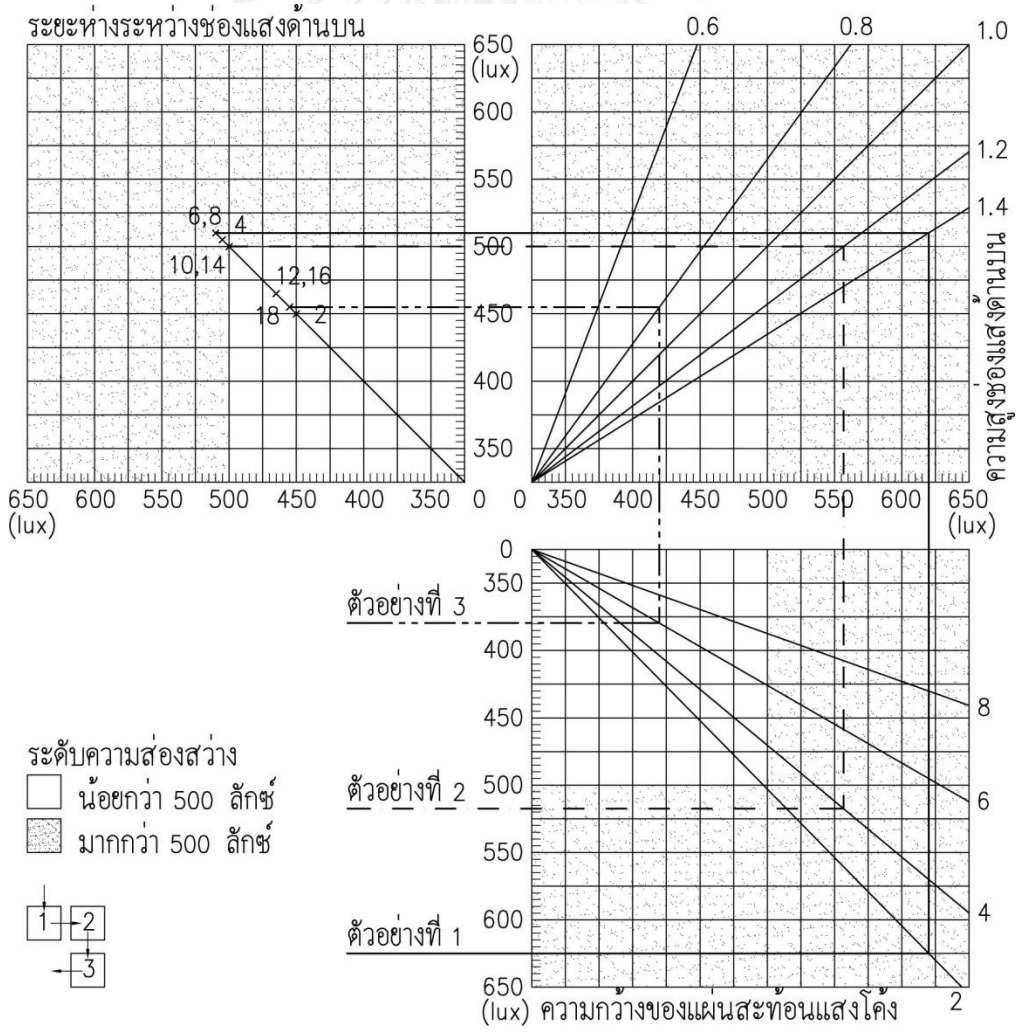
5.2.2 ตัวอย่างการใช้โนโมกราฟ

ตัวอย่างวิธีการใช้โนโมกราฟเพื่อหาค่าระดับความส่องสว่างของเดือนมิถุนายน

ตัวอย่างที่ 1 ที่แผนภูมิ 1) เลือกระยะห่างระหว่างช่องเปิดแสงบน 8 เมตร ที่แผนภูมิ 2) เลือกค่าความสูงของช่องเปิดแสงบน 1.4 เมตร ที่แผนภูมิ 3) เลือกความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 เมตร จะได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ 625 ลักซ์

ตัวอย่างที่ 2 ที่แผนภูมิ 1) เลือกระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 10 เมตร ที่แผนภูมิ 2) เลือกค่าความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 เมตร ที่แผนภูมิ 3) เลือกความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 4 เมตร จะได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ 517 ลักซ์

ตัวอย่างที่ 3 ที่แผนภูมิ 1) เลือกระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 18 เมตร ที่แผนภูมิ 2) เลือกค่าความสูงของช่องแสงด้านบน 0.80 เมตร ที่แผนภูมิ 3) เลือกความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 เมตร จะได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ 380 ลักซ์



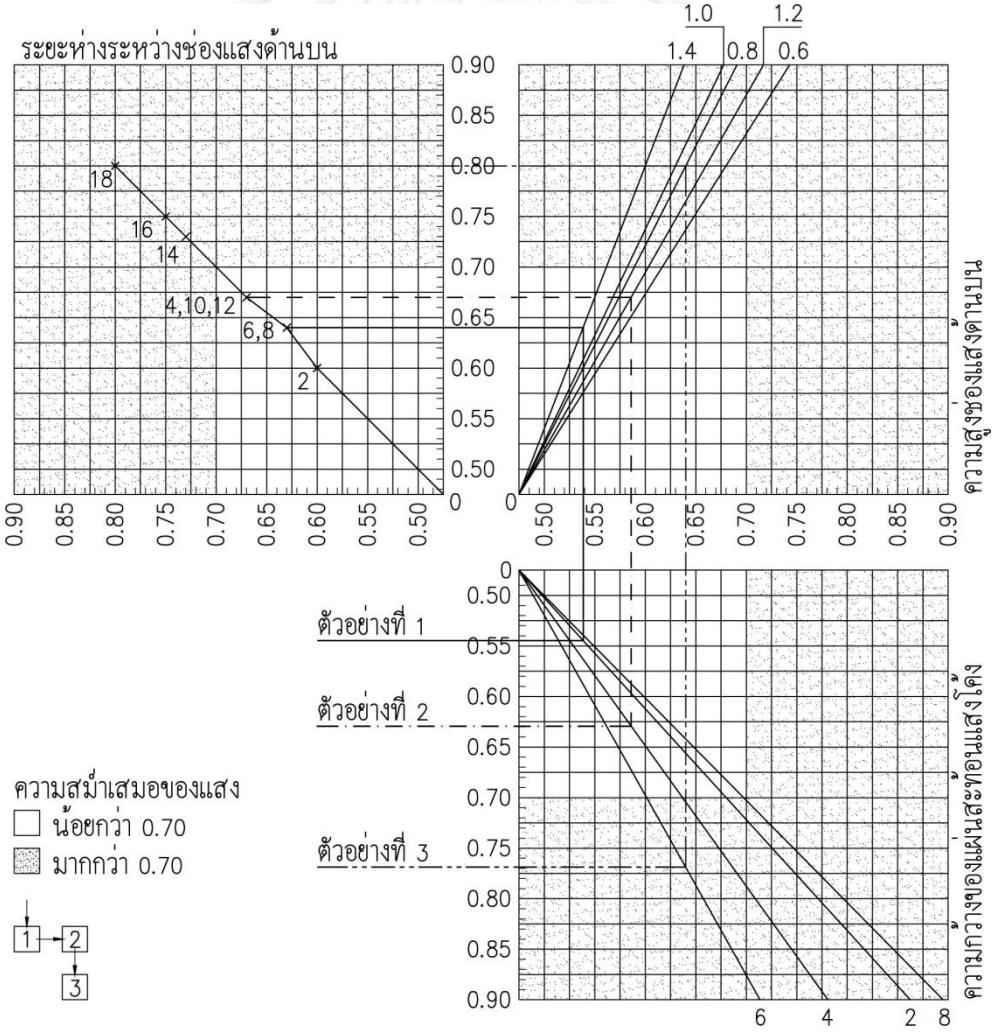
ภาพที่ 5.9 การใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน

ตัวอย่างวิธีการใช้โนโมกราฟเพื่อหาค่าความสม่ำเสมอของแสงของเดือนมิถุนายน

ตัวอย่างที่ 1 ที่แผนภูมิ 1) เลือกระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 8 เมตร ที่แผนภูมิ 2) เลือกค่าความสูงของช่องแสงด้านบน 1.4 เมตร ที่แผนภูมิ 3) เลือกความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 2 เมตร จะได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงประมาณ 0.54

ตัวอย่างที่ 2 ที่แผนภูมิ 1) เลือกระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 10 เมตร ที่แผนภูมิ 2) เลือกค่าความสูงของช่องแสงด้านบน 1.2 เมตร ที่แผนภูมิ 3) เลือกความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 4 เมตร จะได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงประมาณ 0.63

ตัวอย่างที่ 3 ที่แผนภูมิ 1) เลือกระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน 18 เมตร ที่แผนภูมิ 2) เลือกค่าความสูงของช่องแสงด้านบน 0.8 เมตร ที่แผนภูมิ 3) เลือกความกว้างแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 6 เมตร จะได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงประมาณ 0.77



ภาพที่ 5.10 การใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน

จากตัวอย่างการใช้โนโมกราฟทั้ง 3 ตัวอย่าง (ความส่องสว่างและความสม่ำเสมอ) แสดงให้เห็นว่า รูปแบบช่องเปิดที่มีประสิทธิภาพด้านความส่องสว่าง ลักษณะช่องเปิดจะมีขนาดใหญ่เพื่อนำแสงเข้าสู่อาคารเป็นหลัก ส่วนรูปแบบที่มีประสิทธิภาพด้านความสม่ำเสมอ ลักษณะช่องเปิดจะมีขนาดเล็กและมีปัจจัยที่เอื้อต่อการสะท้อนของแสง เพื่อทำให้เกิดความสม่ำเสมอของขึ้น เช่น ตัวอย่างที่ 1 เป็นตัวอย่างที่เลือกรูปแบบช่องเปิดขนาดใหญ่ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโนโมกราฟความส่องสว่างเท่ากับ 625 ลักซ์ ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดของทั้ง 3 ตัวอย่าง แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโนโมกราฟความสม่ำเสมอของแสงเท่ากับ 0.54 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดของทั้ง 3 ตัวอย่าง

5.2.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากโนโมกราฟและโปรแกรม DIALux 4.11

จากโนโมกราฟเพื่อหาค่าระดับความส่องสว่าง และความสม่ำเสมอของแสงของเดือนมิถุนายน ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดตัวอย่าง จากนั้นทดลองด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยโนโมกราฟ โดยตัวอย่างมีรายละเอียด ดังนี้

ตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่าง โดยกำหนดระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบนตั้งแต่ 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 เมตร ตามลำดับ ส่วนความสูงของช่องแสงด้านบน 1 เมตร และความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 4เมตร เท่ากันทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบโนโมกราฟและ DIALux 4.11

ตัวอย่าง	โนโมกราฟ		โปรแกรม DIALux 4.11	
	ความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ย	ความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ย
1.1	430	0.56	423	0.61
1.2	475	0.61	465	0.59
1.3	480	0.59	448	0.89
1.4	480	0.59	475	0.74
1.5	470	0.61	537	0.64
1.6	440	0.61	592	0.66
1.7	470	0.64	696	0.70
1.8	440	0.66	540	0.67
1.9	435	0.69	670	0.72

ตารางที่ 5.2 ความแตกต่าง(%)ระหว่างโนโมกราฟและ DIALux 4.11

ตัวอย่าง	ความแตกต่าง (%)	
	ความส่องสว่างเฉลี่ย	ความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ย
1.1	1.62	8.19
1.2	2.10	3.27
1.3	6.66	33.70
1.4	1.04	20.27
1.5	12.47	4.68
1.6	25.67	7.57
1.7	32.47	8.57
1.8	18.51	1.49
1.9	35.07	4.16

จากตารางค่าความแตกต่างของความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1.4 มีค่าเท่ากับ 1.04% ส่วนค่าความแตกต่างของความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1.9 มีค่าเท่ากับ 35.07%

ค่าความแตกต่างของความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1.8 มีค่าเท่ากับ 1.49% ส่วนค่าความแตกต่างของความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยมากที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1.3 มีค่าเท่ากับ 33.70%

สาเหตุที่ผลการทดลองที่ได้จากโนโมกราฟและโปรแกรม DIALux 4.11 มีความแตกต่างกันเนื่องมาจาก

- ค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอที่ใช้ในการเขียนโนโมกราฟเป็นค่าเฉลี่ย
- การใช้โนโมกราฟต้องใช้ทั้ง 3 กราฟ (ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน, ความสูงของช่องแสงด้านบน และความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง) พร้อมกันในการหาค่า ซึ่งแตกต่างจากค่าที่จากโปรแกรม DIALux 4.11 โดยค่าที่ได้เกิดจากการคำนวณด้วยโปรแกรมเป็นกรณีไป

การใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง ถึงแม้ว่าจะค่อนข้างง่ายต่อการใช้งานและสามารถมองเห็นภาพรวมของแสงที่จะทำนายได้ แต่โนโมกราฟยังมีจุดด้อย ดังนี้

- เนื่องมาจากยังมีตัวแปรที่ยังไม่ได้ทำการศึกษา ทำให้ค่าที่ได้เป็นเพียงการประมาณเท่านั้น

- โนโมกราฟชุดนี้จะใช้ทำนายได้เฉพาะอาคารที่มีช่องแสงหันไปทางทิศเหนือและทิศใต้เท่านั้น เนื่องจากโนโมกราฟชุดนี้เกิดจากผลการทดลอง ซึ่งในการทดลองกำหนดทิศทางของช่องแสงที่ทิศเหนือและทิศใต้เท่านั้น

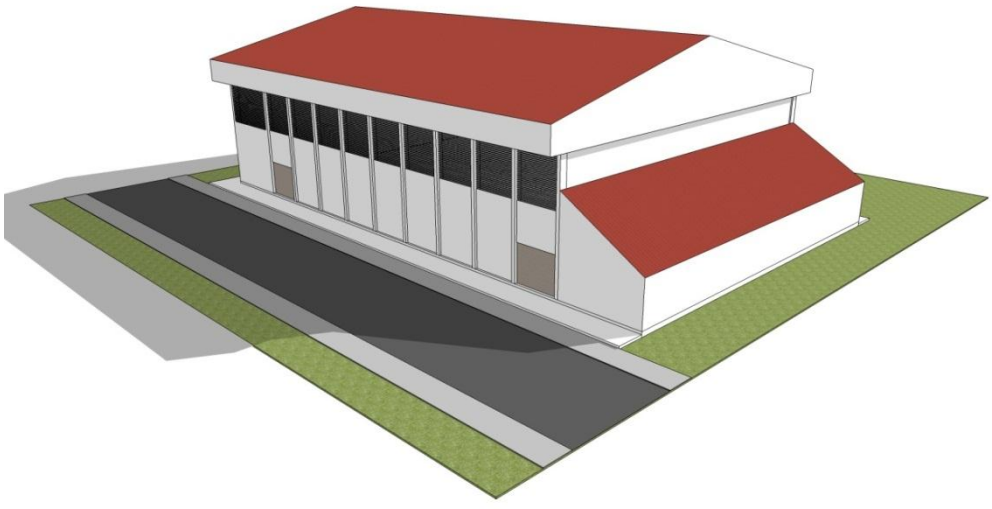
5.3 การประยุกต์ใช้งานกับแบบมาตรฐาน

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการออกแบบอาคารทุกประเภท ไม่เจาะจงเฉพาะอาคารกีฬาในร่มเท่านั้น เพราะในการวิจัยนี้ได้ยึดหลักพื้นฐานของการออกแบบแสงธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบการทดลองและประยุกต์รูปแบบช่องแสง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบได้หลากหลาย

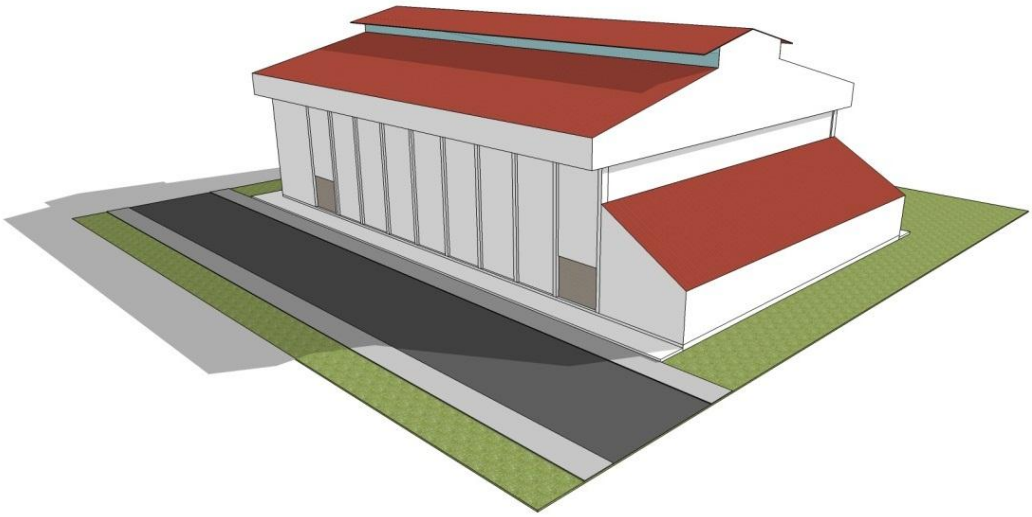
โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน ของกรมยุทธโยธาทหารบก มาทำการปรับปรุงเนื่องจาก พบว่ามีปัญหาหาเรื่องแสงสว่างไม่เพียงพอ และลักษณะอาคารคล้ายคลึงกับอาคารที่ทำการวิจัย ปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ ความส่องสว่าง (Illuminance) และความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) เกณฑ์ที่ใช้ตัดสิน ได้แก่ ความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และความสม่ำเสมอของแสงมากกว่า 0.7 มีขั้นตอนปรับปรุง ดังนี้

- ยกเลิกช่องแสงด้านข้าง

- เพิ่มช่องแสงด้านบนสูง 1.4 เมตร ระยะห่างระหว่าง 8 เมตร และความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง 4 เมตร



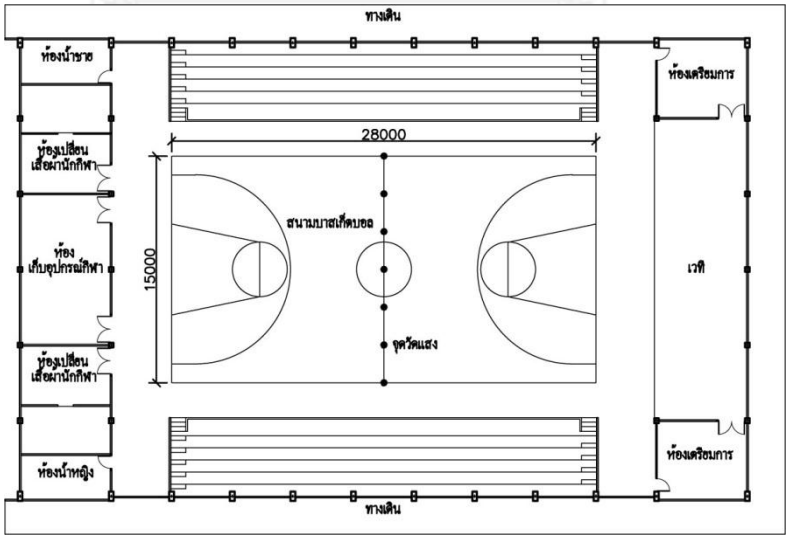
ภาพที่ 5.11 อาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบกก่อนปรับปรุง



ภาพที่ 5.12 อาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบกหลังปรับปรุง

การทดสอบค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง

ทำการทดลองด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 โดยกำหนดค่าการสะท้อนแสงของพื้น เท่ากับ 25% ผนัง 50% หลังคา 60% แผ่นสะท้อนแสง 90% และกระจกค่าการส่องผ่าน 89% ทำการทดลองในสภาพท้องฟ้าโปร่ง เวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 น. วันที่ 21มิถุนายน กันยายน และธันวาคม โดยกำหนดจุดเพื่อทำการวัดค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสง มีระยะห่างเท่ากันทุก 2.5 เมตรในแนวทิศเหนือ – ทิศใต้



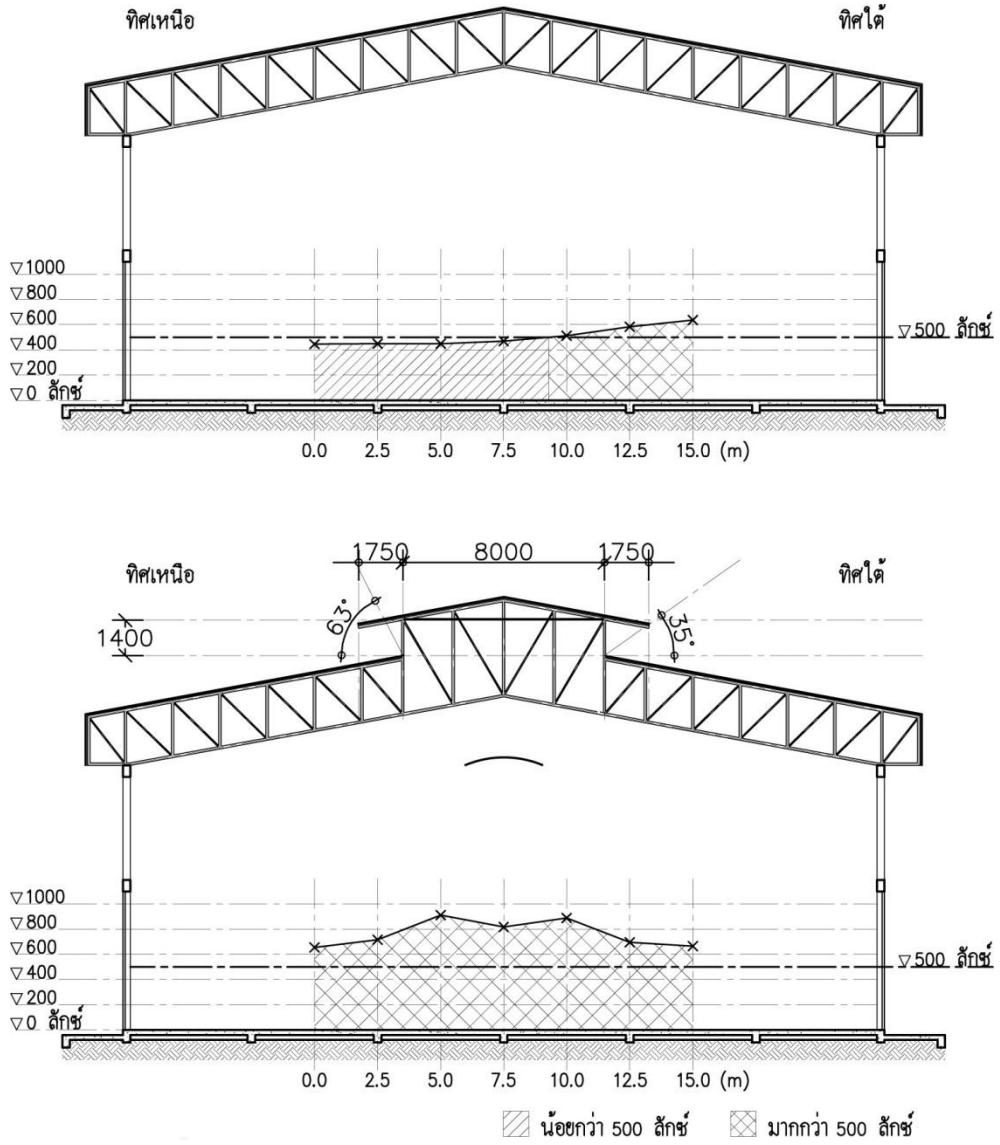
ภาพที่ 5.13 จุดวัดแสง อาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก

ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก

	อาคารก่อนปรับปรุง		อาคารหลังปรับปรุง	
	ความส่องสว่าง (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง	ความส่องสว่าง (ลักซ์)	ความสม่ำเสมอของแสง
เดือนมิถุนายน				
08.00	145	0.81	200	0.80
10.00	431	0.80	543	0.83
12.00	484	0.87	734	0.84
14.00	506	0.88	764	0.86
16.00	419	0.87	626	0.83
เดือนกันยายน				
08.00	88	0.92	125	0.87
10.00	346	0.89	509	0.85
12.00	483	0.86	720	0.82
14.00	498	0.86	741	0.82
16.00	386	0.89	571	0.83
เดือนธันวาคม				
08.00	198	0.75	298	0.80
10.00	442	0.71	628	0.72
12.00	548	0.69	762	0.71
14.00	489	0.70	687	0.71
16.00	299	0.72	394	0.72
ค่าเฉลี่ย	384	0.81	553	0.80

เดือนมิถุนายน



ภาพที่ 5.14 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก ก่อนและหลังปรับปรุง เวลา 14.00 น. วันที่ 21 มิถุนายน

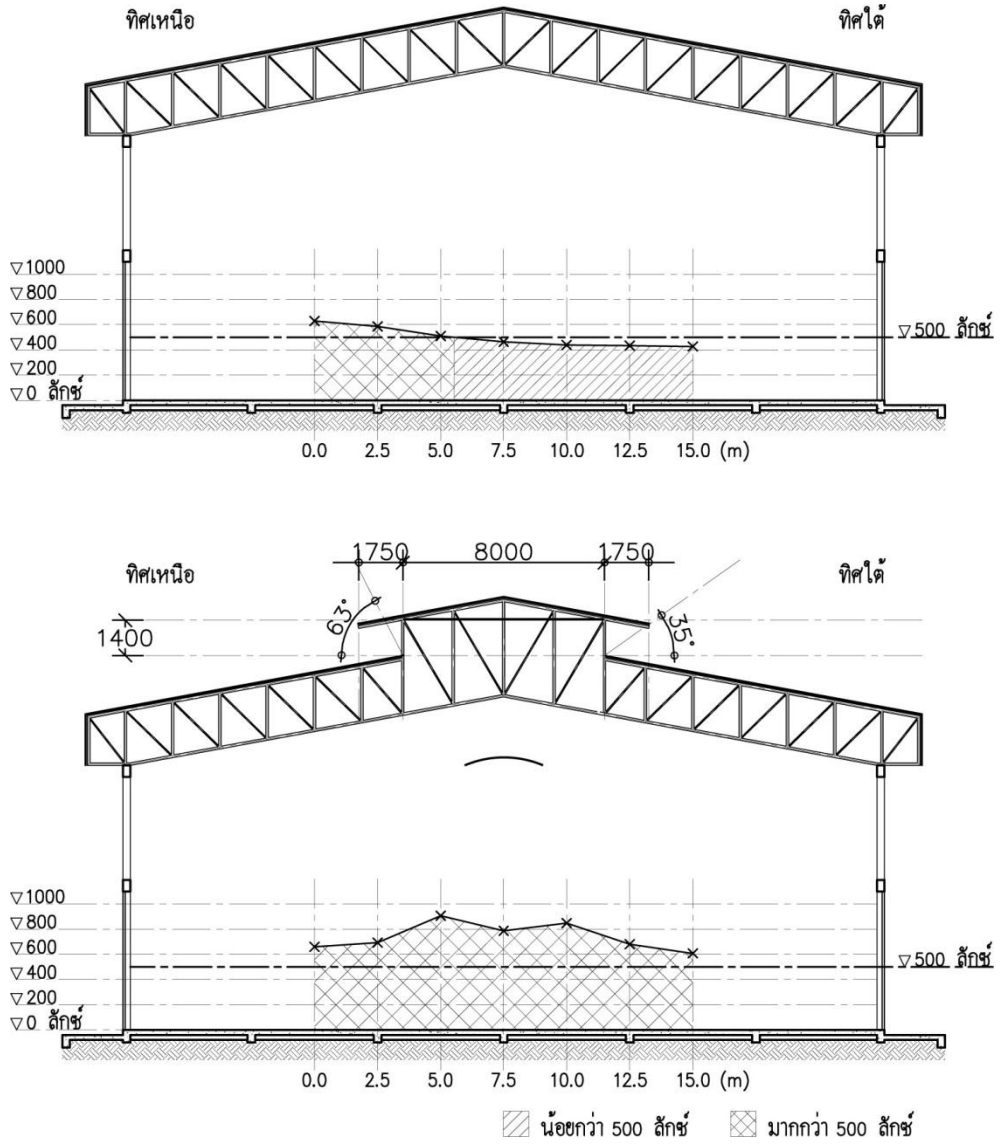
- เวลา 08.00 น. อาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

- เวลา 10.00 – 12.00 น. และ 16.00 น. อาคารก่อนปรับปรุงมีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนอาคารหลังปรับปรุงมีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

- เวลา 14.00 น. เป็นเวลาที่ทั้งอาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างมากที่สุดของวัน โดยมีค่า 506 และ 764 ลักซ์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

- ทุกช่วงเวลาของอาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนกันยายน



ภาพที่ 5.15 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก ก่อนและหลังปรับปรุง เวลา 14.00 น. วันที่ 21 กันยายน

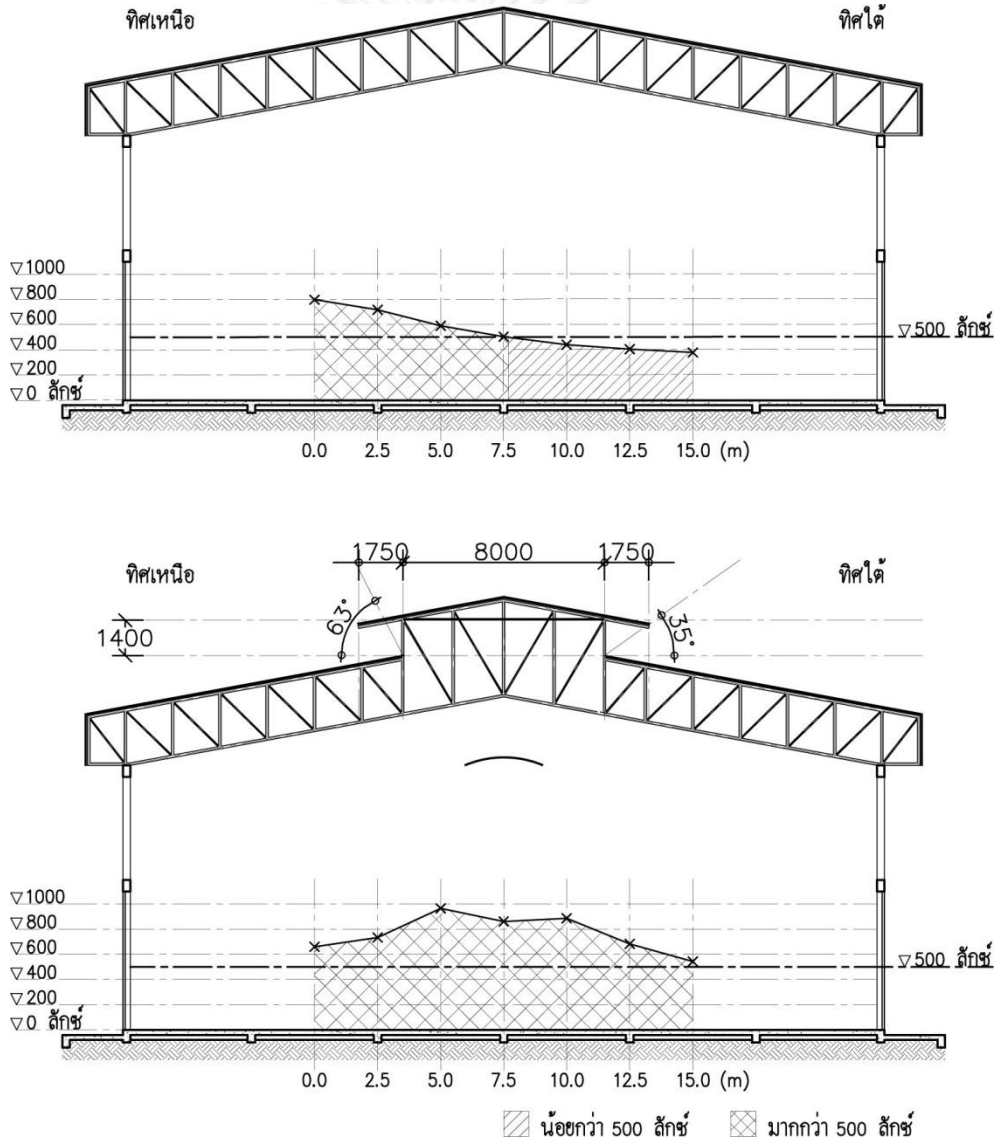
- เวลา 08.00 น. อาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

- เวลา 10.00 – 12.00 น. และ 16.00 น. อาคารก่อนปรับปรุง มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนอาคารหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

- เวลา 14.00 เป็นช่วงเวลาที่ทั้งอาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างมากที่สุดของวัน โดยมีค่า 498 และ 741 ลักซ์ ตามลำดับ ซึ่งความส่องสว่างของอาคารก่อนปรับปรุงยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และอาคารหลังปรับปรุงความส่องสว่างเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

- ทุกช่วงเวลาของอาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

เดือนธันวาคม



ภาพที่ 5.16 ความส่องสว่างแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของอาคารโรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน

กรมยุทธโยธาทหารบก ก่อนและหลังปรับปรุง เวลา 12.00 น. วันที่ 21 ธันวาคม

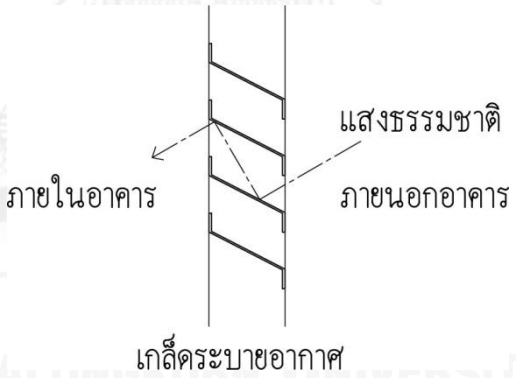
- เวลา 08.00 น. และ 16.00 น. อาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

- เวลา 10.00 น. และ 14.00 น. อาคารก่อนปรับปรุง มีความส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนอาคารหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

- เวลา 12.00 เป็นช่วงเวลาที่ทั้งอาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความส่องสว่างมากที่สุดของวัน โดยมีค่า 548 และ 762 ลักซ์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

- ทุกช่วงเวลาของอาคารก่อนและหลังปรับปรุง มีความสม่ำเสมอของแสงตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของอาคารก่อนปรับปรุงเท่ากับ 384 ลักซ์ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องมาจากอาคารออกแบบให้แสงธรรมชาติเข้าทางด้านข้างผ่านทางเกล็ดระบายอากาศ ซึ่งข้อดีคือ แสงจะมีความสม่ำเสมอสูงเพราะแสงธรรมชาติจะเกิดการสะท้อนกับเกล็ดระบายอากาศ ทำให้แสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารมีลักษณะ indirect light ส่วนข้อเสียคือ แสงผ่านเข้ามาได้ยาก



ภาพที่ 5.17 แสงธรรมชาติผ่านเกล็ดระบายอากาศ

อาคารหลังปรับปรุงความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 553 ลักซ์ และความสม่ำเสมอของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ซึ่งทั้งสองค่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการศึกษาวิจัย ทำให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องจำกัดขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้ลง ดังนั้นเพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะบางประการ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

1. งานวิจัยนี้ศึกษาภายใต้การจำลองในคอมพิวเตอร์ ซึ่งไม่มีอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงควรทดสอบกับสภาพท้องฟ้าจริงภายใต้การใช้งานจริง

2. งานวิจัยนี้ทำการจำลองสภาพท้องฟ้าเฉพาะท้องฟ้าโปร่ง ดังนั้นเพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น จึงควรทำการทดลองในสภาพท้องฟ้าแบบอื่นๆด้วย

3. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะระดับความส่องสว่าง และความสม่ำเสมอของแสงเท่านั้น ไม่พิจารณาด้านความร้อนที่มาจากช่องเปิดด้านบนของอาคาร

4. งานวิจัยนี้กำหนดจุดในการทดลองเพื่อหาระดับความส่องสว่างเพียง 2 แนว คือ แนวทิศตะวันตก – ทิศตะวันออกและแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ อาจทำให้ค่าระดับความส่องสว่างที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงควรกำหนดจุดทดลองทั่วทั้งห้อง

5. งานวิจัยนี้ศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติเพียงทิศเหนือและทิศใต้เท่านั้น จึงควรศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศอื่นเพิ่มเติม

6. เกณฑ์ของการศึกษากำหนดความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ และความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.7 เนื่องจากเป็นเกณฑ์ของการแข่งขันกีฬาระดับประเทศ ซึ่งถ้าเปลี่ยนเกณฑ์เป็นการแข่งขันกีฬาระดับทั่วไป ความส่องสว่างที่ 300 ลักซ์ และความสม่ำเสมอของแสงที่ 0.7 จะทำให้ช่วงเวลาที่สามารถแข่งขันกีฬามีมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

Acosta, I. (2012). "Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of proportion and spacing under overcast sky conditions." Energy and Buildings.

CIBSE (2009). The SLL Lighting Handbook. England, The Society of Light and Lighting.

Ernst and Peter (2000). Neufert Architects' Data. England, Wiley-Blackwell.

IESNA (2000). The IESNA Lighting Handbook. USA.

John, G. (2001). Handbook of Sports and Recreational Building Design Volume 2. England, Reed Edcuational and Professional.

M. David Egan (2002). Architectural Lighting. New York, Betsy Jones.

Sport England (2012). Artifical Sports Lighting. London.

ชนิดา ประชาศิลป์ชัย (2552). การศึกษาเปรียบเทียบรูปลักษณะโคมสะท้อนแสงธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของแสง กรณีศึกษาห้องแสดงภาพศิลปะในกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณวิทย์ มิสาโท (2554). แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา กรณีศึกษาอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ (2543). รูปแบบช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล (2553). แสงสว่างในสถาปัตยกรรม. ขอนแก่น, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

รัฐพล รุญเจริญ (2542). การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์ (2544). อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคาร. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ (2553). แสงธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรม. กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปแบบที่ 1.1

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	116	129	137	141	144	146	147	150	150	150	147	145	142	139	135	127	116	150	116	139	0.84
	10.00	332	364	388	405	419	432	443	450	455	457	456	452	444	429	418	398	366	457	332	418	0.79
	12.00	454	496	529	574	603	604	618	627	632	635	635	629	627	603	566	535	490	635	454	580	0.78
	14.00	510	556	600	632	645	648	653	653	650	644	634	620	608	587	547	503	459	653	459	597	0.77
	16.00	427	471	500	505	523	532	536	536	532	526	518	504	488	471	447	421	377	536	377	489	0.77
21 กันยายน	8.00	85	86	90	92	94	95	97	98	99	99	98	97	96	96	93	89	82	99	82	93	0.88
	10.00	317	346	368	386	411	418	427	433	437	440	441	439	425	409	400	381	350	441	317	402	0.79
	12.00	451	491	531	557	596	597	611	620	626	629	628	623	619	595	569	530	485	629	451	574	0.79
	14.00	507	552	593	614	638	640	645	644	640	634	624	617	606	564	535	494	452	645	452	588	0.77
	16.00	394	427	451	463	480	488	490	489	485	480	472	461	459	430	402	378	345	490	345	447	0.77
21 ธันวาคม	8.00	162	180	191	196	200	201	204	207	206	205	205	201	197	191	183	173	157	207	157	192	0.82
	10.00	368	405	434	452	462	480	489	496	500	502	500	495	482	473	453	428	390	502	368	459	0.80
	12.00	461	506	543	569	588	595	604	609	611	611	607	600	593	571	548	512	466	611	461	564	0.82
	14.00	432	473	502	520	529	543	548	549	547	542	534	524	503	492	470	438	398	549	398	503	0.79
	16.00	238	260	276	283	292	294	297	298	299	295	290	285	280	273	262	247	224	299	224	276	0.81
ค่าสูงสุด		510	556	600	632	645	648	653	653	650	644	635	629	627	603	569	535	490	653			
ค่าต่ำสุด		85	86	90	92	94	95	97	98	99	99	98	97	96	96	93	89	82		82		
ค่าเฉลี่ย		350	383	409	426	442	448	454	457	458	457	453	446	438	422	402	377	344			421	0.80

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	85	120	142	156	150	182	178	164	121	182	85	144	0.59
	10.00	251	373	439	481	455	526	523	458	309	526	251	424	0.59
	12.00	362	538	636	685	632	728	704	597	407	728	362	588	0.62
	14.00	374	556	666	705	650	744	724	608	405	744	374	604	0.62
	16.00	298	446	521	569	532	616	606	514	359	616	298	496	0.60
21 กันยายน	8.00	68	94	109	111	99	109	105	93	65	111	65	95	0.69
	10.00	294	422	492	505	437	469	433	368	240	505	240	407	0.59
	12.00	421	605	712	730	626	670	613	511	330	730	330	580	0.57
	14.00	431	620	729	747	640	685	626	520	337	747	337	593	0.57
	16.00	325	472	547	561	485	519	479	401	265	561	265	450	0.59
21 ธันวาคม	8.00	218	272	269	261	206	213	193	162	116	272	116	212	0.55
	10.00	419	552	620	626	500	499	432	354	237	626	237	471	0.50
	12.00	508	675	751	762	611	611	529	432	290	762	290	574	0.50
	14.00	457	610	677	683	547	546	472	385	257	683	257	515	0.50
	16.00	263	350	375	378	299	302	265	215	150	378	150	289	0.52
ค่าสูงสุด		508	675	751	762	650	744	724	608	407	762			
ค่าต่ำสุด		68	94	109	111	99	109	105	93	65		65		
ค่าเฉลี่ย		318	447	512	531	458	495	459	385	259			429	0.57

รูปแบบที่ 1.2

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																							
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																		ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	158	179	195	203	206	210	211	216	212	212	211	210	209	199	190	176	157	216	157	197	0.80
	10.00	441	504	545	574	599	615	624	630	634	632	633	634	635	605	577	544	475	635	441	582	0.76
	12.00	602	674	735	775	811	835	854	879	887	887	875	866	853	808	769	716	641	887	602	792	0.76
	14.00	670	748	805	840	870	897	917	922	922	912	900	872	835	794	756	691	615	922	615	822	0.75
	16.00	561	633	678	708	729	739	739	732	733	730	724	716	693	660	625	573	501	739	501	675	0.74
21 กันยายน	8.00	107	115	123	126	129	131	134	140	135	136	137	136	136	132	129	122	110	140	107	128	0.84
	10.00	418	469	511	531	555	577	590	605	613	606	605	604	598	565	547	515	465	613	418	551	0.76
	12.00	609	682	755	795	832	848	869	883	882	888	892	880	876	840	783	729	654	892	609	806	0.76
	14.00	673	752	830	862	893	899	912	911	904	904	893	872	855	813	768	694	619	912	619	827	0.75
	16.00	516	573	617	627	659	667	670	673	681	666	657	647	625	596	563	517	460	681	460	613	0.75
21 ธันวาคม	8.00	221	251	268	277	284	288	291	299	296	295	289	285	281	269	256	237	211	299	211	270	0.78
	10.00	509	583	634	666	686	706	717	723	722	726	723	723	710	691	656	607	534	726	509	666	0.76
	12.00	632	719	780	819	844	867	878	888	879	888	882	874	854	830	789	731	644	888	632	812	0.78
	14.00	588	664	727	755	772	787	794	792	787	784	780	770	747	723	685	631	558	794	558	726	0.77
	16.00	323	364	397	416	429	434	439	442	440	438	434	432	421	405	387	358	316	442	316	404	0.78
ค่าสูงสุด		673	752	830	862	893	899	917	922	922	912	900	880	876	840	789	731	654	922			
ค่าต่ำสุด		107	115	123	126	129	131	134	140	135	136	137	136	136	132	129	122	110		107		
ค่าเฉลี่ย		469	527	573	598	620	633	643	649	648	647	642	635	622	595	565	523	464			591	0.77

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	106	129	138	188	212	194	188	179	153	212	106	165	0.64
	10.00	310	388	427	566	634	565	514	484	401	634	310	477	0.65
	12.00	450	551	606	777	887	778	674	630	504	887	450	651	0.69
	14.00	475	580	636	810	922	807	694	648	517	922	475	677	0.70
	16.00	370	454	499	658	733	663	584	546	451	733	370	551	0.67
21 กันยายน	8.00	86	102	108	124	135	123	106	101	83	135	83	108	0.77
	10.00	366	449	474	542	613	539	425	390	317	613	317	457	0.69
	12.00	535	656	695	794	882	794	602	547	442	882	442	661	0.67
	14.00	551	673	713	815	904	813	616	559	451	904	451	677	0.67
	16.00	411	499	527	602	681	598	470	429	351	681	351	508	0.69
21 ธันวาคม	8.00	305	303	283	277	296	258	186	172	143	305	143	247	0.58
	10.00	524	612	637	651	722	619	421	380	297	722	297	540	0.55
	12.00	634	743	768	803	879	757	527	469	369	879	369	661	0.56
	14.00	573	670	692	720	787	674	465	413	324	787	324	591	0.55
	16.00	345	378	394	400	440	377	257	234	191	440	191	335	0.57
ค่าสูงสุด		634	743	768	815	922	813	694	648	517	922			
ค่าต่ำสุด		86	102	108	124	135	123	106	101	83		83		
ค่าเฉลี่ย		403	479	506	582	648	571	449	412	333			487	0.64

รูปแบบที่ 1.3

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	159	179	191	198	202	205	210	211	208	207	205	204	202	194	187	174	152	211	152	193	0.79
	10.00	451	509	551	587	604	624	641	648	647	650	648	643	634	609	586	548	478	650	451	592	0.76
	12.00	619	715	773	820	855	881	896	905	903	911	910	906	892	859	817	765	654	911	619	828	0.75
	14.00	685	786	847	893	922	941	947	947	938	937	931	913	887	848	799	735	638	947	638	858	0.74
	16.00	561	638	685	717	739	751	758	761	751	751	740	726	706	674	636	586	509	761	509	688	0.74
21 กันยายน	8.00	113	120	127	132	134	136	143	143	139	139	140	139	141	135	130	122	106	143	106	132	0.80
	10.00	439	494	538	566	586	606	623	625	602	624	630	626	626	598	576	534	464	630	439	574	0.76
	12.00	619	711	773	821	847	872	891	901	912	907	906	898	890	861	817	763	657	912	619	826	0.75
	14.00	678	780	838	883	907	921	931	931	934	919	910	892	877	838	790	725	626	934	626	846	0.74
	16.00	518	593	637	666	688	696	702	699	698	692	685	672	655	634	599	550	477	702	477	639	0.75
21 ธันวาคม	8.00	225	255	270	278	282	284	288	291	286	284	280	276	274	260	249	232	203	291	203	266	0.76
	10.00	497	560	609	640	669	682	700	706	706	708	704	698	694	662	634	586	516	708	497	645	0.77
	12.00	609	688	748	795	828	843	856	865	861	865	859	849	839	805	762	701	618	865	609	788	0.77
	14.00	567	640	688	724	746	762	770	771	767	763	757	744	727	696	660	606	534	771	534	701	0.76
	16.00	309	351	374	394	406	411	417	420	421	417	413	406	400	387	369	342	298	421	298	384	0.78
ค่าสูงสุด		685	786	847	893	922	941	947	947	938	937	931	913	892	861	817	765	657	947			
ค่าต่ำสุด		113	120	127	132	134	136	143	143	139	139	140	139	141	135	130	122	106		106		
ค่าเฉลี่ย		470	535	577	608	628	641	652	655	652	652	648	639	630	604	574	531	462			597	0.76

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	102	131	157	178	208	195	190	182	148	208	102	166	0.62
	10.00	304	399	487	556	647	597	552	496	396	647	304	493	0.62
	12.00	430	570	683	759	903	791	716	640	502	903	430	666	0.65
	14.00	449	595	711	788	938	820	739	661	515	938	449	691	0.65
	16.00	358	467	567	637	751	666	626	553	437	751	358	562	0.64
21 กันยายน	8.00	83	104	118	126	139	122	111	101	81	139	81	109	0.74
	10.00	357	452	509	554	620	528	468	403	303	620	303	466	0.65
	12.00	506	643	734	788	912	753	671	560	417	912	417	665	0.63
	14.00	518	658	751	806	934	770	686	571	425	934	425	680	0.63
	16.00	399	505	559	609	698	585	517	442	331	698	331	516	0.64
21 ธันวาคม	8.00	243	281	286	284	286	242	208	176	135	286	135	238	0.57
	10.00	497	610	670	683	706	581	477	382	283	706	283	543	0.52
	12.00	598	737	808	829	861	711	586	479	350	861	350	662	0.53
	14.00	539	663	722	739	767	632	521	416	310	767	310	590	0.53
	16.00	316	382	398	403	421	350	290	236	174	421	174	330	0.53
ค่าสูงสุด		598	737	808	829	938	820	739	661	515	938			
ค่าต่ำสุด		83	104	118	126	139	122	111	101	81		81		
ค่าเฉลี่ย		380	480	544	583	653	556	491	420	320			492	0.61

รูปแบบที่ 1.4

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																							
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	160	183	196	204	212	212	214	215	217	215	217	214	206	202	192	180	160	217	160	200	0.80
	10.00	456	520	569	601	631	640	654	661	673	669	680	671	647	637	599	549	493	680	456	609	0.75
	12.00	652	748	821	870	913	939	951	961	972	970	973	963	943	914	864	792	693	973	652	879	0.74
	14.00	728	835	905	953	992	1011	1018	1011	1009	1007	999	983	950	910	856	783	677	1018	677	919	0.74
	16.00	580	649	702	733	773	784	797	782	782	772	770	753	733	692	659	601	528	797	528	711	0.74
21 กันยายน	8.00	109	124	134	139	149	144	145	146	147	147	148	148	145	144	134	124	111	149	109	138	0.79
	10.00	455	517	557	592	624	634	647	652	655	661	667	662	645	637	600	541	482	667	455	602	0.76
	12.00	653	740	801	856	900	932	939	954	960	963	961	950	929	903	846	787	687	963	653	868	0.75
	14.00	716	806	867	919	958	983	994	986	984	976	970	952	914	875	826	754	664	994	664	891	0.75
	16.00	538	611	665	697	727	739	741	736	733	726	727	712	686	659	625	572	503	741	503	670	0.75
21 ธันวาคม	8.00	233	270	285	291	302	301	302	302	301	299	297	293	285	275	261	243	215	302	215	280	0.77
	10.00	508	583	633	669	701	715	731	740	746	745	744	733	716	697	657	605	533	746	508	674	0.75
	12.00	626	709	772	817	859	884	898	897	904	899	901	890	864	831	784	722	638	904	626	817	0.77
	14.00	584	658	711	749	779	804	809	804	807	798	796	781	752	723	682	627	553	809	553	730	0.76
	16.00	328	368	395	412	432	446	448	445	450	444	442	436	422	408	391	362	320	450	320	409	0.78
ค่าสูงสุด		728	835	905	953	992	1011	1018	1011	1009	1007	999	983	950	914	864	792	693	1018			
ค่าต่ำสุด		109	124	134	139	149	144	145	146	147	147	148	148	145	144	134	124	111		109		
ค่าเฉลี่ย		488	555	601	633	663	678	686	686	689	686	686	676	656	634	598	549	484			626	0.76

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	102	122	146	187	217	216	197	168	146	217	102	167	0.61
	10.00	303	360	448	574	673	620	546	443	391	673	303	484	0.63
	12.00	424	503	631	817	972	850	705	582	502	972	424	665	0.64
	14.00	447	531	665	856	1009	888	732	603	520	1009	447	695	0.64
	16.00	353	416	522	672	782	707	620	498	430	782	353	556	0.64
21 กันยายน	8.00	81	95	111	132	147	132	111	94	81	147	81	109	0.74
	10.00	352	408	493	588	655	563	446	361	304	655	304	463	0.66
	12.00	501	583	711	844	960	809	632	503	423	960	423	663	0.64
	14.00	514	597	728	863	984	828	645	512	430	984	430	678	0.63
	16.00	393	452	550	648	733	624	491	395	332	733	332	513	0.65
21 ธันวาคม	8.00	205	236	275	303	301	264	200	171	143	303	143	233	0.61
	10.00	467	550	670	722	746	634	467	371	297	746	297	547	0.54
	12.00	563	663	829	876	904	777	565	447	367	904	367	666	0.55
	14.00	506	593	741	780	807	684	503	398	327	807	327	593	0.55
	16.00	302	340	407	438	450	386	286	230	187	450	187	336	0.56
ค่าสูงสุด		563	663	829	876	1009	888	732	603	520	1009			
ค่าต่ำสุด		81	95	111	132	147	132	111	94	81		81		
ค่าเฉลี่ย		368	430	528	620	689	599	476	385	325			491	0.62

รูปแบบที่ 1.5

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	163	188	200	210	214	222	224	218	221	218	223	221	213	209	196	181	159	224	159	205	0.78
	10.00	446	510	561	593	615	635	647	644	658	651	664	661	643	636	594	547	484	664	446	599	0.74
	12.00	591	674	738	789	823	847	868	877	886	885	885	873	857	831	779	715	628	886	591	797	0.74
	14.00	658	748	812	865	890	907	922	921	921	911	903	878	855	815	762	692	607	922	607	827	0.73
	16.00	569	643	696	740	747	762	772	762	768	755	753	734	713	681	647	583	510	772	510	696	0.73
21 กันยายน	8.00	105	121	130	135	136	143	144	139	145	140	144	145	142	142	136	127	113	145	105	135	0.78
	10.00	422	482	525	557	577	598	612	613	623	618	625	628	613	601	564	523	463	628	422	567	0.74
	12.00	596	680	751	795	830	858	877	884	894	892	894	883	865	837	790	721	634	894	596	805	0.74
	14.00	657	747	814	861	886	904	917	914	914	903	895	873	847	806	760	685	600	917	600	823	0.73
	16.00	521	588	631	672	677	693	699	686	696	682	679	660	643	614	580	527	461	699	461	630	0.73
21 ธันวาคม	8.00	238	273	288	298	301	307	308	305	311	302	302	301	294	285	266	244	215	311	215	285	0.76
	10.00	519	600	648	691	712	731	743	750	759	754	752	748	733	717	668	611	537	759	519	687	0.76
	12.00	640	723	792	847	872	894	906	914	926	915	907	898	878	851	796	725	642	926	640	831	0.77
	14.00	597	679	731	783	794	818	824	821	828	816	813	799	771	744	697	640	558	828	558	748	0.75
	16.00	329	374	405	433	438	453	458	453	458	451	451	443	431	419	339	363	318	458	318	413	0.77
ค่าสูงสุด		658	748	814	865	890	907	922	921	926	915	907	898	878	851	796	725	642	926			
ค่าต่ำสุด		105	121	130	135	136	143	144	139	145	140	144	145	142	142	136	127	113		105		
ค่าเฉลี่ย		470	535	581	618	634	651	661	660	667	660	659	650	633	613	572	526	462			603	0.75

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	111	121	173	204	221	205	182	164	150	221	111	170	0.65
	10.00	323	361	506	591	658	588	523	430	395	658	323	486	0.66
	12.00	441	489	690	805	886	792	710	554	504	886	441	652	0.68
	14.00	459	510	718	835	921	823	738	573	521	921	459	678	0.68
	16.00	378	422	590	683	768	681	613	488	448	768	378	563	0.67
21 กันยายน	8.00	85	93	115	135	145	129	115	93	85	145	85	111	0.77
	10.00	360	395	502	570	623	567	492	362	327	623	327	466	0.70
	12.00	509	559	718	802	894	808	698	495	446	894	446	659	0.68
	14.00	521	572	734	819	914	825	713	505	454	914	454	673	0.67
	16.00	402	442	558	627	696	627	545	396	357	696	357	517	0.69
21 ธันวาคม	8.00	205	224	255	290	311	276	232	169	154	311	154	235	0.66
	10.00	495	524	619	695	759	676	575	381	335	759	335	562	0.60
	12.00	592	641	746	834	926	828	700	463	406	926	406	682	0.60
	14.00	538	585	673	752	828	733	625	414	363	828	363	612	0.59
	16.00	311	334	374	424	458	407	338	232	210	458	210	343	0.61
ค่าสูงสุด		592	641	746	835	926	828	738	573	521	926			
ค่าต่ำสุด		85	93	115	135	145	129	115	93	85		85		
ค่าเฉลี่ย		382	418	531	604	667	598	520	381	344			494	0.66

รูปแบบที่ 1.6

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	144	165	179	176	183	179	179	181	181	180	176	175	175	175	168	156	138	183	138	171	0.81
	10.00	376	428	465	472	496	499	507	507	512	516	514	510	509	513	494	462	411	516	376	482	0.78
	12.00	510	577	626	639	668	681	694	701	702	708	704	696	689	677	659	613	542	708	510	652	0.78
	14.00	575	651	696	707	732	741	747	744	748	736	725	709	689	668	647	595	526	748	526	684	0.77
	16.00	485	546	582	590	607	608	608	598	603	594	585	576	570	550	530	493	434	608	434	562	0.77
21 กันยายน	8.00	95	108	118	113	119	114	115	118	118	118	114	115	116	118	116	109	98	119	95	113	0.84
	10.00	365	413	448	454	475	476	485	492	497	498	493	490	490	495	482	447	397	498	365	465	0.79
	12.00	508	577	623	645	668	678	692	697	707	706	705	697	692	689	666	616	544	707	508	654	0.78
	14.00	566	636	685	698	716	719	726	720	722	713	704	689	677	650	630	582	511	726	511	667	0.77
	16.00	447	502	535	539	552	552	556	545	549	542	537	526	523	504	488	451	398	556	398	514	0.77
21 ธันวาคม	8.00	212	240	248	245	250	246	247	251	251	250	240	236	234	230	224	207	185	251	185	235	0.79
	10.00	431	491	524	543	561	571	578	583	589	589	584	581	573	568	550	507	448	589	431	545	0.79
	12.00	533	605	649	676	699	711	717	720	725	723	717	712	702	686	658	610	538	725	533	669	0.80
	14.00	495	557	594	613	630	639	641	638	640	635	628	620	608	590	565	526	463	641	463	593	0.78
	16.00	280	313	335	343	354	358	362	362	363	363	357	354	352	342	332	310	273	363	273	338	0.81
ค่าสูงสุด		575	651	696	707	732	741	747	744	748	736	725	712	702	689	666	616	544	748			
ค่าต่ำสุด		95	108	118	113	119	114	115	118	118	118	114	115	116	118	116	109	98		95		
ค่าเฉลี่ย		401	454	487	497	514	518	524	524	527	525	519	512	507	497	481	446	394			490	0.79

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	105	145	174	172	181	178	178	152	140	181	105	158	0.66
	10.00	295	404	498	497	512	513	493	401	362	513	295	442	0.67
	12.00	400	545	666	683	702	696	665	536	459	702	400	595	0.67
	14.00	420	572	699	718	748	734	682	563	476	748	420	624	0.67
	16.00	342	466	575	579	603	595	566	462	410	603	342	511	0.67
21 กันยายน	8.00	80	95	110	112	118	112	112	97	84	118	80	102	0.78
	10.00	322	381	454	488	497	476	473	387	298	497	298	420	0.71
	12.00	448	530	658	699	707	682	674	542	402	707	402	594	0.68
	14.00	459	544	673	715	722	697	689	553	409	722	409	607	0.67
	16.00	357	424	517	543	549	529	523	427	326	549	326	466	0.70
21 ธันวาคม	8.00	182	203	283	245	251	234	237	196	146	283	146	220	0.66
	10.00	425	449	563	584	589	553	563	452	306	589	306	498	0.61
	12.00	516	548	692	718	725	682	692	556	373	725	373	611	0.61
	14.00	458	489	613	635	640	603	613	492	331	640	331	542	0.61
	16.00	263	296	350	361	363	344	350	285	193	363	193	312	0.62
ค่าสูงสุด		516	572	699	718	748	734	692	563	476	748			
ค่าต่ำสุด		80	95	110	112	118	112	112	97	84		80		
ค่าเฉลี่ย		338	406	502	517	527	509	501	407	314			447	0.67

รูปแบบที่ 1.7

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																							
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	167	198	206	206	207	214	208	216	208	208	213	207	205	197	192	177	160	216	160	199	0.80
	10.00	450	516	549	567	586	605	608	623	621	623	635	622	620	596	581	533	480	635	450	577	0.78
	12.00	586	660	712	755	785	801	813	825	826	831	835	826	813	786	755	690	619	835	586	760	0.77
	14.00	644	727	781	819	844	855	861	861	855	850	842	826	802	768	736	670	599	861	599	785	0.76
	16.00	549	616	660	690	708	714	719	709	703	703	697	687	662	641	615	566	507	719	507	656	0.77
21 กันยายน	8.00	109	135	135	132	133	137	134	141	134	138	140	137	135	133	133	125	112	141	109	132	0.83
	10.00	427	492	518	538	557	574	578	597	591	600	606	597	582	565	547	511	461	606	427	549	0.78
	12.00	605	680	733	772	804	819	832	845	846	852	855	846	836	803	774	704	631	855	605	779	0.78
	14.00	654	737	800	835	862	868	871	872	866	860	852	836	817	782	743	683	611	872	611	797	0.77
	16.00	516	574	613	633	659	663	665	661	656	652	646	633	614	590	571	525	466	665	466	608	0.77
21 ธันวาคม	8.00	249	282	287	287	288	289	286	294	285	290	286	284	274	266	256	235	210	294	210	273	0.77
	10.00	517	584	625	645	665	685	693	701	701	703	709	703	679	660	636	593	528	709	517	649	0.80
	12.00	629	712	769	801	828	846	859	867	865	867	865	851	831	806	773	714	634	867	629	795	0.79
	14.00	579	648	709	727	749	757	758	769	765	762	747	736	720	697	669	618	556	769	556	704	0.79
	16.00	318	360	387	398	414	420	416	418	415	415	414	412	403	393	383	357	315	420	315	390	0.81
ค่าสูงสุด		654	737	800	835	862	868	871	872	866	867	865	851	836	806	774	714	634	872			
ค่าต่ำสุด		109	135	135	132	133	137	134	141	134	138	140	137	135	133	133	125	112		109		
ค่าเฉลี่ย		467	528	566	587	606	616	620	627	622	624	623	614	600	579	558	513	459			577	0.78

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	131	165	172	202	208	199	181	170	154	208	131	176	0.75
	10.00	356	461	485	576	621	568	500	477	400	621	356	494	0.72
	12.00	481	600	635	774	826	769	650	616	516	826	481	652	0.74
	14.00	496	618	655	799	855	797	672	635	533	855	496	673	0.74
	16.00	405	519	549	658	703	653	573	547	458	703	405	563	0.72
21 กันยายน	8.00	97	112	113	128	134	128	114	110	97	134	97	115	0.85
	10.00	380	452	466	548	591	553	469	447	361	591	361	474	0.76
	12.00	521	638	680	784	846	790	659	624	493	846	493	671	0.74
	14.00	531	659	695	801	866	808	673	637	502	866	502	686	0.73
	16.00	416	491	517	610	656	613	518	493	399	656	399	524	0.76
21 ธันวาคม	8.00	216	247	246	273	285	281	238	228	182	285	182	244	0.75
	10.00	504	567	573	661	701	680	560	528	394	701	394	574	0.69
	12.00	586	667	684	797	865	815	671	631	476	865	476	688	0.69
	14.00	533	594	615	713	765	731	602	567	423	765	423	616	0.69
	16.00	310	331	356	399	415	411	342	325	247	415	247	348	0.71
ค่าสูงสุด		586	667	695	801	866	815	673	637	533	866			
ค่าต่ำสุด		97	112	113	128	134	128	114	110	97		97		
ค่าเฉลี่ย		398	475	496	582	622	586	495	469	376			500	0.73

รูปแบบที่ 1.8

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																							
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	150	169	177	180	182	184	185	186	183	192	186	179	182	177	166	156	139	192	139	175	0.79
	10.00	375	418	447	464	480	491	506	513	513	523	524	507	512	499	473	444	396	524	375	476	0.79
	12.00	497	553	595	624	653	669	682	683	686	692	699	691	685	664	632	590	521	699	497	636	0.78
	14.00	554	612	657	685	710	717	723	723	709	714	705	690	672	645	610	566	502	723	502	658	0.76
	16.00	461	508	549	569	590	587	594	595	584	584	577	564	550	538	506	468	416	595	416	544	0.77
21 กันยายน	8.00	94	105	109	111	113	116	117	117	115	120	116	112	116	114	111	106	95	120	94	111	0.85
	10.00	356	397	429	448	466	475	484	489	491	499	495	489	494	482	456	421	377	499	356	456	0.78
	12.00	487	548	590	621	650	665	674	681	685	690	690	683	684	664	634	589	516	690	487	632	0.77
	14.00	538	603	646	676	700	699	706	704	698	694	686	676	661	634	601	557	489	706	489	645	0.76
	16.00	421	465	507	529	551	541	551	550	538	537	531	521	512	497	473	434	387	551	387	503	0.77
21 ธันวาคม	8.00	230	251	254	253	254	257	257	258	256	256	247	244	244	239	227	209	186	258	186	242	0.77
	10.00	424	471	503	522	538	550	562	573	575	578	567	559	560	552	531	486	436	578	424	529	0.80
	12.00	510	567	610	638	659	678	691	697	698	699	693	683	668	654	627	580	519	699	510	639	0.80
	14.00	477	527	564	592	606	607	625	625	621	618	611	593	581	566	544	507	453	625	453	572	0.79
	16.00	281	313	334	352	364	359	373	369	361	363	363	357	352	349	338	318	281	373	281	343	0.82
ค่าสูงสุด		554	612	657	685	710	717	723	723	709	714	705	691	685	664	634	590	521	723			
ค่าต่ำสุด		94	105	109	111	113	116	117	117	115	120	116	112	116	114	111	106	95		94		
ค่าเฉลี่ย		390	434	465	484	501	506	515	518	514	517	513	503	498	485	462	429	381			477	0.79

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	129	158	192	200	183	173	158	156	141	200	129	166	0.78
	10.00	337	425	508	561	513	493	450	422	353	561	337	451	0.75
	12.00	439	553	666	743	686	670	609	532	455	743	439	595	0.74
	14.00	463	569	684	765	709	695	633	549	468	765	463	615	0.75
	16.00	383	481	576	635	584	556	518	473	393	635	383	511	0.75
21 กันยายน	8.00	87	103	111	118	115	121	113	99	88	121	87	106	0.82
	10.00	331	398	432	471	491	527	470	392	325	527	325	426	0.76
	12.00	449	558	601	651	685	746	663	544	438	746	438	593	0.74
	14.00	462	569	613	664	698	762	678	554	445	762	445	605	0.74
	16.00	365	434	482	520	538	583	524	429	355	583	355	470	0.76
21 ธันวาคม	8.00	192	220	214	237	256	272	266	211	176	272	176	227	0.77
	10.00	413	502	451	509	575	637	612	464	368	637	368	503	0.73
	12.00	492	595	556	615	698	772	740	560	442	772	442	608	0.73
	14.00	450	537	497	552	621	689	662	500	395	689	395	545	0.73
	16.00	277	306	299	334	361	400	394	301	241	400	241	324	0.74
ค่าสูงสุด		492	595	684	765	709	772	740	560	468	772			
ค่าต่ำสุด		87	103	111	118	115	121	113	99	88		87		
ค่าเฉลี่ย		351	427	459	505	514	540	499	412	339			450	0.75

รูปแบบที่ 1.9

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	147	165	180	174	174	174	174	182	174	175	180	173	172	171	167	154	137	182	137	169	0.81
	10.00	352	391	422	431	443	450	461	460	467	474	467	468	465	456	444	421	377	474	352	438	0.80
	12.00	444	494	534	554	572	585	597	603	609	616	612	608	603	587	567	533	476	616	444	564	0.79
	14.00	501	556	597	615	628	634	636	635	632	627	618	605	591	568	544	506	452	636	452	585	0.77
	16.00	436	482	515	528	537	541	538	536	536	529	526	512	503	484	469	438	392	541	392	500	0.78
21 กันยายน	8.00	94	105	112	109	108	108	111	107	111	112	109	110	110	109	109	104	93	112	93	107	0.87
	10.00	325	361	388	396	407	415	424	425	435	438	433	438	435	423	416	393	354	438	325	406	0.80
	12.00	445	496	535	555	574	587	598	607	613	619	613	611	607	590	572	533	477	619	445	567	0.79
	14.00	495	550	588	606	620	626	627	629	624	619	607	596	582	559	537	498	444	629	444	577	0.77
	16.00	395	436	461	467	478	481	482	480	476	470	469	455	450	431	421	392	350	482	350	447	0.78
21 ธันวาคม	8.00	237	247	248	243	241	239	240	238	244	245	233	235	232	225	219	203	181	248	181	232	0.78
	10.00	411	458	491	503	522	527	534	538	544	547	542	543	541	527	514	471	419	547	411	508	0.81
	12.00	489	548	596	614	634	642	649	655	655	658	652	648	645	625	609	557	495	658	489	610	0.80
	14.00	465	518	555	567	582	589	595	595	591	589	584	573	570	544	531	491	436	595	436	551	0.79
	16.00	270	301	322	328	333	337	348	350	342	340	343	334	337	326	328	304	269	350	269	324	0.83
ค่าสูงสุด		501	556	597	615	634	642	649	655	655	658	652	648	645	625	609	557	495	658			
ค่าต่ำสุด		94	105	112	109	108	108	111	107	111	112	109	110	110	109	109	104	93		93		
ค่าเฉลี่ย		367	407	436	446	457	462	468	469	470	471	466	461	456	442	430	400	357			439	0.80

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	134	174	185	181	175	164	163	162	141	185	134	164	0.82
	10.00	351	470	519	481	467	439	447	420	355	519	351	439	0.80
	12.00	445	602	691	619	609	580	608	559	464	691	445	575	0.77
	14.00	482	624	716	642	632	603	635	580	480	716	480	599	0.80
	16.00	399	531	597	557	536	505	525	479	409	597	399	504	0.79
21 กันยายน	8.00	92	111	112	108	111	109	114	107	92	114	92	106	0.87
	10.00	338	410	426	415	435	437	490	421	324	490	324	411	0.79
	12.00	460	560	595	585	613	629	690	591	444	690	444	574	0.77
	14.00	470	570	605	595	624	640	705	601	450	705	450	584	0.77
	16.00	375	449	468	458	476	482	545	461	356	545	356	452	0.79
21 ธันวาคม	8.00	192	228	208	219	244	247	253	226	178	253	178	222	0.80
	10.00	425	482	464	473	544	567	589	513	385	589	385	494	0.78
	12.00	516	579	571	569	655	703	724	615	460	724	460	599	0.77
	14.00	468	524	503	517	591	634	642	557	417	642	417	539	0.77
	16.00	281	315	297	307	342	358	375	324	250	375	250	317	0.79
ค่าสูงสุด		516	624	716	642	655	703	724	615	480	724			
ค่าต่ำสุด		92	111	112	108	111	109	114	107	92		92		
ค่าเฉลี่ย		362	442	464	448	470	473	500	441	347			439	0.79

รูปแบบที่ 2.1

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	111	127	135	140	146	144	144	144	145	142	144	138	135	132	125	117	103	146	103	134	0.77
	10.00	340	391	419	445	466	469	467	475	477	472	474	454	449	441	409	375	331	477	331	433	0.77
	12.00	520	571	618	647	668	682	687	685	686	682	678	662	639	615	575	549	465	687	465	625	0.74
	14.00	562	636	680	710	725	732	730	724	714	701	688	665	633	601	557	509	445	732	445	648	0.69
	16.00	440	496	542	563	579	582	572	574	573	557	546	528	505	485	451	408	355	582	355	515	0.69
21 กันยายน	8.00	79	90	96	99	107	101	102	101	101	99	101	97	95	94	89	82	72	107	72	94	0.76
	10.00	343	388	417	434	457	457	458	459	460	451	455	443	436	428	399	366	323	460	323	422	0.77
	12.00	496	564	605	628	654	663	668	669	668	655	653	645	628	606	570	524	460	669	460	609	0.76
	14.00	552	624	663	683	702	704	696	689	684	660	650	635	608	578	542	497	431	704	431	623	0.69
	16.00	416	473	503	516	531	528	523	523	516	499	488	476	460	438	411	376	329	531	329	471	0.70
21 ธันวาคม	8.00	158	182	196	203	212	211	211	208	205	198	195	188	184	180	170	158	139	212	139	188	0.74
	10.00	381	429	472	500	518	528	531	524	514	500	490	477	467	458	428	395	350	531	350	468	0.75
	12.00	473	536	587	621	649	661	665	649	637	621	604	589	576	559	526	482	426	665	426	580	0.73
	14.00	438	491	537	563	584	591	588	573	559	541	522	506	491	472	445	406	358	591	358	510	0.70
	16.00	241	271	293	307	318	320	320	312	307	296	286	277	269	262	249	230	201	320	201	280	0.72
ค่าสูงสุด		562	636	680	710	725	732	730	724	714	701	688	665	639	615	575	549	465	732			
ค่าต่ำสุด		79	90	96	99	107	101	102	101	101	99	101	97	95	94	89	82	72		72		
ค่าเฉลี่ย		370	418	451	471	488	492	491	487	483	472	465	452	438	423	396	365	319			440	0.73

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	79	88	120	142	145	145	130	115	97	145	79	118	0.67
	10.00	252	277	384	461	477	424	393	335	284	477	252	365	0.69
	12.00	339	400	535	637	686	588	536	428	370	686	339	502	0.68
	14.00	354	417	557	662	714	610	556	443	392	714	354	523	0.68
	16.00	293	323	446	533	573	491	457	365	330	573	293	423	0.69
21 กันยายน	8.00	60	68	85	95	101	94	82	68	58	101	58	79	0.73
	10.00	269	306	381	434	460	424	368	282	239	460	239	351	0.68
	12.00	401	435	555	634	668	620	530	410	344	668	344	511	0.67
	14.00	411	445	567	648	684	632	541	418	350	684	350	522	0.67
	16.00	314	339	430	483	516	472	409	313	264	516	264	393	0.67
21 ธันวาคม	8.00	134	155	179	193	205	189	162	127	107	205	107	161	0.66
	10.00	319	376	440	473	514	475	401	293	247	514	247	393	0.63
	12.00	393	467	545	596	637	588	500	372	304	637	304	489	0.62
	14.00	346	408	479	521	559	516	439	319	267	559	267	428	0.62
	16.00	195	230	264	286	307	278	237	177	149	307	149	236	0.63
ค่าสูงสุด		411	467	567	662	714	632	556	443	392	714			
ค่าต่ำสุด		60	68	85	95	101	94	82	68	58		58		
ค่าเฉลี่ย		277	316	398	453	483	436	383	298	253			366	0.67

รูปแบบที่ 2.2

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	132	149	161	166	174	173	174	177	179	178	178	176	168	166	157	146	131	179	131	164	0.80
	10.00	398	443	494	524	549	555	563	570	584	586	589	584	561	554	517	469	424	589	398	527	0.75
	12.00	572	653	712	751	786	809	821	831	837	839	839	836	815	791	749	691	601	839	572	761	0.75
	14.00	634	721	779	817	845	863	866	868	866	859	849	835	807	774	728	667	582	868	582	786	0.74
	16.00	504	572	627	658	678	684	694	692	692	683	675	664	642	616	578	538	477	694	477	628	0.76
21 กันยายน	8.00	95	108	114	119	127	125	126	125	127	126	129	128	124	124	112	102	90	129	90	118	0.76
	10.00	394	452	494	521	547	559	564	571	580	579	585	582	567	560	529	482	417	585	394	528	0.75
	12.00	563	650	710	751	786	814	822	832	838	841	844	840	816	794	750	691	601	844	563	761	0.74
	14.00	622	713	771	810	839	862	859	861	858	851	841	830	798	766	722	659	570	862	570	778	0.73
	16.00	467	546	589	613	632	649	643	646	645	637	626	619	600	577	545	500	433	649	433	586	0.74
21 ธันวาคม	8.00	184	209	221	228	237	237	239	239	240	237	239	234	227	221	209	195	175	240	175	222	0.79
	10.00	426	477	516	543	573	585	595	604	610	608	609	603	588	571	538	499	440	610	426	552	0.77
	12.00	523	585	638	692	712	729	737	743	761	745	743	735	718	705	649	597	534	761	523	679	0.77
	14.00	487	542	583	615	646	662	662	664	659	658	652	639	622	589	554	512	457	664	457	600	0.76
	16.00	265	295	313	329	346	357	355	355	357	356	351	346	339	324	309	288	257	357	257	326	0.79
ค่าสูงสุด		634	721	779	817	845	863	866	868	866	859	849	840	816	794	750	691	601	868			
ค่าต่ำสุด		95	108	114	119	127	125	126	125	127	126	129	128	124	124	112	102	90		90		
ค่าเฉลี่ย		418	474	515	542	565	578	581	585	589	586	583	577	559	542	510	469	413			534	0.76

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	110	145	157	179	179	179	171	150	119	179	110	154	0.71
	10.00	270	337	457	505	584	547	503	409	333	584	270	438	0.62
	12.00	370	480	633	694	837	727	673	530	421	837	370	596	0.62
	14.00	386	499	656	720	866	750	691	546	434	866	386	616	0.63
	16.00	313	389	527	583	692	616	573	455	373	692	313	502	0.62
21 กันยายน	8.00	69	85	106	111	127	112	102	85	68	127	68	96	0.71
	10.00	299	372	463	503	580	487	433	330	264	580	264	415	0.64
	12.00	433	529	674	736	838	707	634	480	369	838	369	600	0.62
	14.00	444	541	691	754	858	723	648	490	376	858	376	614	0.61
	16.00	330	411	520	557	645	536	488	361	289	645	289	460	0.63
21 ธันวาคม	8.00	170	207	236	241	240	218	198	153	122	241	122	198	0.62
	10.00	399	497	588	602	610	534	477	345	271	610	271	480	0.56
	12.00	479	600	716	730	761	658	590	420	332	761	332	587	0.57
	14.00	429	536	637	650	659	584	523	372	294	659	294	520	0.56
	16.00	246	304	357	358	357	320	287	210	162	358	162	289	0.56
ค่าสูงสุด		479	600	716	754	866	750	691	546	434	866			
ค่าต่ำสุด		69	85	106	111	127	112	102	85	68		68		
ค่าเฉลี่ย		316	395	495	528	589	513	466	356	282			438	0.62

รูปแบบที่ 2.3

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																							
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	160	183	196	204	212	212	214	215	217	215	217	214	206	202	192	180	160	217	160	200	0.80
	10.00	456	520	569	601	631	640	654	661	673	669	680	671	647	637	599	549	493	680	456	609	0.75
	12.00	652	748	821	870	913	939	951	961	972	970	973	963	943	914	864	792	693	973	652	879	0.74
	14.00	728	835	905	953	992	1011	1018	1011	1009	1007	999	983	950	910	856	783	677	1018	677	919	0.74
	16.00	580	649	702	733	773	784	797	782	782	772	770	753	733	692	659	601	528	797	528	711	0.74
21 กันยายน	8.00	109	124	134	139	149	144	145	146	147	147	148	148	145	144	134	124	111	149	109	138	0.79
	10.00	455	517	557	592	624	634	647	652	655	661	667	662	645	637	600	541	482	667	455	602	0.76
	12.00	653	740	801	856	900	932	939	954	960	963	961	950	929	903	846	787	687	963	653	868	0.75
	14.00	716	806	867	919	958	983	994	986	984	976	970	952	914	875	826	754	664	994	664	891	0.75
	16.00	538	611	665	697	727	739	741	736	733	726	727	712	686	659	625	572	503	741	503	670	0.75
21 ธันวาคม	8.00	233	270	285	291	302	301	302	302	301	299	297	293	285	275	261	243	215	302	215	280	0.77
	10.00	508	583	633	669	701	715	731	740	746	745	744	733	716	697	657	605	533	746	508	674	0.75
	12.00	626	709	772	817	859	884	898	897	904	899	901	890	864	831	784	722	638	904	626	817	0.77
	14.00	584	658	711	749	779	804	809	804	807	798	796	781	752	723	682	627	553	809	553	730	0.76
	16.00	328	368	395	412	432	446	448	445	450	444	442	436	422	408	391	362	320	450	320	409	0.78
ค่าสูงสุด		728	835	905	953	992	1011	1018	1011	1009	1007	999	983	950	914	864	792	693	1018			
ค่าต่ำสุด		109	124	134	139	149	144	145	146	147	147	148	148	145	144	134	124	111		109		
ค่าเฉลี่ย		488	555	601	633	663	678	686	686	689	686	686	676	656	634	598	549	484			626	0.76

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	102	122	146	187	217	216	197	168	146	217	102	167	0.61
	10.00	303	360	448	574	673	620	546	443	391	673	303	484	0.63
	12.00	424	503	631	817	972	850	705	582	502	972	424	665	0.64
	14.00	447	531	665	856	1009	888	732	603	520	1009	447	695	0.64
	16.00	353	416	522	672	782	707	620	498	430	782	353	556	0.64
21 กันยายน	8.00	81	95	111	132	147	132	111	94	81	147	81	109	0.74
	10.00	352	408	493	588	655	563	446	361	304	655	304	463	0.66
	12.00	501	583	711	844	960	809	632	503	423	960	423	663	0.64
	14.00	514	597	728	863	984	828	645	512	430	984	430	678	0.63
	16.00	393	452	550	648	733	624	491	395	332	733	332	513	0.65
21 ธันวาคม	8.00	205	236	275	303	301	264	200	171	143	303	143	233	0.61
	10.00	467	550	670	722	746	634	467	371	297	746	297	547	0.54
	12.00	563	663	829	876	904	777	565	447	367	904	367	666	0.55
	14.00	506	593	741	780	807	684	503	398	327	807	327	593	0.55
	16.00	302	340	407	438	450	386	286	230	187	450	187	336	0.56
ค่าสูงสุด		563	663	829	876	1009	888	732	603	520	1009			
ค่าต่ำสุด		81	95	111	132	147	132	111	94	81		81		
ค่าเฉลี่ย		368	430	528	620	689	599	476	385	325			491	0.62

รูปแบบที่ 2.4

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	173	199	213	223	229	227	229	229	230	229	234	230	228	220	210	197	173	234	173	216	0.80
	10.00	476	539	587	625	646	659	669	678	677	684	697	690	689	662	629	590	527	697	476	631	0.75
	12.00	644	731	799	847	884	905	923	935	939	945	946	934	923	888	844	783	690	946	644	856	0.75
	14.00	716	812	874	922	956	968	980	983	980	976	963	942	924	881	825	762	672	983	672	890	0.75
	16.00	600	679	724	754	783	790	793	791	789	788	771	760	740	716	672	621	545	793	545	724	0.75
21 กันยายน	8.00	113	129	136	147	150	145	146	147	148	149	154	151	153	150	144	138	122	154	113	142	0.79
	10.00	455	517	559	595	618	628	643	651	655	659	673	657	663	640	608	571	509	673	455	606	0.75
	12.00	643	734	797	846	883	909	924	936	942	947	947	938	924	894	845	785	691	947	643	858	0.75
	14.00	704	803	866	910	942	962	967	969	966	962	949	931	904	868	816	752	659	969	659	878	0.75
	16.00	556	625	669	698	719	732	732	728	729	725	713	696	683	660	620	572	504	732	504	668	0.75
21 ธันวาคม	8.00	244	282	301	316	323	324	326	327	327	325	328	320	316	306	288	269	237	328	237	303	0.78
	10.00	535	610	663	703	732	741	754	760	770	767	772	759	758	730	689	639	566	772	535	703	0.76
	12.00	660	752	823	868	905	918	931	939	946	942	938	924	915	882	836	766	676	946	660	860	0.77
	14.00	618	700	758	800	827	836	842	842	849	838	830	814	803	774	728	670	590	849	590	772	0.76
	16.00	348	397	427	448	464	474	474	473	477	474	470	464	456	446	421	391	342	477	342	438	0.78
ค่าสูงสุด		716	812	874	922	956	968	980	983	980	976	963	942	924	894	845	785	691	983			
ค่าต่ำสุด		113	129	136	147	150	145	146	147	148	149	154	151	153	150	144	138	122		113		
ค่าเฉลี่ย		499	567	613	647	671	681	689	693	695	694	692	681	672	648	612	567	500			636	0.76

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	117	144	174	204	230	235	216	194	165	235	117	187	0.63
	10.00	351	432	533	617	677	702	595	525	439	702	351	541	0.65
	12.00	501	604	755	880	939	930	795	669	569	939	501	738	0.68
	14.00	524	631	788	917	980	963	821	689	586	980	524	767	0.68
	16.00	411	505	640	731	789	798	680	578	492	798	411	625	0.66
21 กันยายน	8.00	95	111	127	147	148	145	127	110	91	148	91	122	0.74
	10.00	404	473	560	654	655	617	534	431	347	655	347	519	0.67
	12.00	575	674	799	936	942	879	764	598	479	942	479	738	0.65
	14.00	591	692	820	959	966	901	781	610	488	966	488	756	0.65
	16.00	450	523	623	720	729	684	585	471	378	729	378	574	0.66
21 ธันวาคม	8.00	237	280	303	329	327	286	244	200	161	329	161	263	0.61
	10.00	533	629	709	780	770	659	561	435	338	780	338	602	0.56
	12.00	646	771	866	964	946	824	687	530	410	964	410	738	0.56
	14.00	585	688	780	865	849	724	615	475	368	865	368	661	0.56
	16.00	349	394	444	475	477	414	343	271	214	477	214	376	0.57
ค่าสูงสุด		646	771	866	964	980	963	821	689	586	980			
ค่าต่ำสุด		95	111	127	147	148	145	127	110	91		91		
ค่าเฉลี่ย		425	503	595	679	695	651	557	452	368			547	0.63

รูปแบบที่ 2.5

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	203	234	251	263	268	267	268	271	269	269	273	269	265	257	246	231	201	273	201	253	0.79
	10.00	544	618	673	710	740	753	764	774	774	778	792	789	784	753	724	685	604	792	544	721	0.75
	12.00	736	835	909	963	1003	1026	1050	1066	1069	1074	1074	1058	1044	1008	960	902	783	1074	736	974	0.76
	14.00	813	922	996	1042	1079	1095	1106	1114	1110	1105	1089	1069	1037	994	938	868	757	1114	757	1008	0.75
	16.00	686	771	838	868	893	893	899	896	898	890	876	864	840	812	764	705	616	899	616	824	0.75
21 กันยายน	8.00	132	149	158	169	172	167	168	174	171	171	176	176	176	174	169	161	142	176	132	165	0.80
	10.00	511	584	632	671	698	708	722	738	737	740	754	741	746	722	693	653	575	754	511	684	0.75
	12.00	730	832	908	962	1004	1028	1044	1064	1067	1072	1068	1055	1044	1009	962	894	778	1072	730	972	0.75
	14.00	796	908	985	1029	1068	1085	1089	1098	1092	1088	1070	1053	1023	981	924	855	744	1098	744	993	0.75
	16.00	631	715	768	794	824	822	825	822	821	815	804	790	769	743	698	646	564	825	564	756	0.75
21 ธันวาคม	8.00	300	346	365	378	383	381	381	385	380	376	377	368	362	351	331	308	271	385	271	355	0.76
	10.00	628	717	779	826	857	872	885	896	898	899	903	889	881	851	808	751	658	903	628	823	0.76
	12.00	769	882	961	1014	1058	1073	1089	1098	1110	1099	1095	1080	1065	1025	969	897	782	1110	769	1004	0.77
	14.00	714	816	882	924	961	969	977	980	983	975	965	950	930	897	846	780	679	983	679	896	0.76
	16.00	410	467	506	530	550	558	560	561	564	561	556	554	540	527	497	462	400	564	400	518	0.77
ค่าสูงสุด		813	922	996	1042	1079	1095	1106	1114	1110	1105	1095	1080	1065	1025	969	902	783	1114			
ค่าต่ำสุด		132	149	158	169	172	167	168	174	171	171	176	176	176	174	169	161	142		132		
ค่าเฉลี่ย		574	653	707	743	771	780	788	796	796	794	791	780	767	740	702	653	570			730	0.76

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	120	158	191	229	269	267	241	223	184	269	120	209	0.57
	10.00	349	470	568	679	774	782	645	579	470	782	349	591	0.59
	12.00	494	655	793	967	1069	1033	850	744	600	1069	494	801	0.62
	14.00	515	680	823	1004	1110	1067	876	765	615	1110	515	828	0.62
	16.00	412	544	665	784	898	884	727	644	519	898	412	675	0.61
21 กันยายน	8.00	101	127	142	165	171	160	138	124	98	171	98	136	0.72
	10.00	420	529	601	721	737	668	555	465	354	737	354	561	0.63
	12.00	606	749	856	1041	1067	960	783	646	482	1067	482	799	0.60
	14.00	621	766	876	1064	1092	982	812	659	490	1092	490	818	0.60
	16.00	468	580	663	795	821	744	612	510	385	821	385	620	0.62
21 ธันวาคม	8.00	271	335	350	380	380	320	264	219	166	380	166	298	0.56
	10.00	595	734	789	907	898	732	586	469	330	907	330	671	0.49
	12.00	718	894	957	1112	1110	895	722	568	399	1112	399	819	0.49
	14.00	646	801	854	990	983	795	635	505	355	990	355	729	0.49
	16.00	395	460	502	555	564	466	371	295	212	564	212	424	0.50
ค่าสูงสุด		718	894	957	1112	1110	1067	876	765	615	1112			
ค่าต่ำสุด		101	127	142	165	171	160	138	124	98		98		
ค่าเฉลี่ย		449	565	642	760	796	717	588	494	377			599	0.58

รูปแบบที่ 3.1

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																							
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	216	251	272	287	295	296	298	304	305	307	312	311	308	297	282	262	225	312	216	284	0.76
	10.00	573	668	731	781	810	819	831	841	843	848	866	866	877	842	805	753	648	877	573	788	0.73
	12.00	782	912	997	1057	1085	1112	1132	1146	1153	1157	1161	1155	1142	1123	1062	994	845	1161	782	1060	0.74
	14.00	870	1009	1096	1148	1171	1189	1198	1198	1192	1187	1177	1157	1122	1096	1030	952	810	1198	810	1094	0.74
	16.00	733	846	924	965	985	974	977	970	969	956	950	939	921	888	836	762	650	985	650	897	0.72
21 กันยายน	8.00	141	162	173	185	189	184	184	188	186	188	196	195	196	194	188	179	155	196	141	181	0.78
	10.00	545	635	694	737	766	774	785	797	798	803	821	815	834	808	774	726	628	834	545	749	0.73
	12.00	773	902	997	1054	1096	1114	1130	1148	1153	1159	1159	1152	1149	1115	1069	983	837	1159	773	1058	0.73
	14.00	851	994	1090	1135	1171	1177	1181	1186	1181	1173	1156	1139	1115	1073	1012	920	785	1186	785	1079	0.73
	16.00	687	790	854	885	920	902	897	890	888	882	872	859	839	815	767	705	603	920	603	827	0.73
21 ธันวาคม	8.00	322	374	404	425	438	438	441	446	441	439	441	430	426	412	389	359	308	446	308	408	0.76
	10.00	665	773	846	897	931	952	964	973	971	976	985	975	963	933	894	828	715	985	665	897	0.74
	12.00	821	954	1048	1111	1157	1181	1193	1193	1199	1196	1201	1190	1166	1126	1063	974	836	1201	821	1095	0.75
	14.00	775	896	969	1011	1048	1063	1066	1064	1061	1058	1052	1040	1012	976	917	840	721	1066	721	975	0.74
	16.00	472	542	588	611	627	629	623	623	620	617	608	607	591	574	544	501	431	629	431	577	0.75
ค่าสูงสุด		870	1009	1096	1148	1171	1189	1198	1198	1199	1196	1201	1190	1166	1126	1069	994	845	1201			
ค่าต่ำสุด		141	162	173	185	189	184	184	188	186	188	196	195	196	194	188	179	155		141		
ค่าเฉลี่ย		615	714	779	819	846	854	860	864	864	863	864	855	844	818	775	716	613			798	0.74

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	146	193	222	267	305	275	217	189	174	305	146	221	0.66
	10.00	426	523	596	744	843	770	583	497	433	843	426	602	0.71
	12.00	571	699	809	1006	1153	1015	763	661	575	1153	571	806	0.71
	14.00	590	720	826	1038	1192	1050	789	683	593	1192	590	831	0.71
	16.00	485	592	675	847	969	862	652	564	486	969	485	681	0.71
21 กันยายน	8.00	102	120	137	169	186	170	141	122	102	186	102	139	0.73
	10.00	410	474	543	711	798	708	574	492	403	798	403	568	0.71
	12.00	576	656	758	1011	1153	1019	803	694	566	1153	566	804	0.70
	14.00	588	670	774	1033	1181	1041	821	708	577	1181	577	821	0.70
	16.00	452	522	597	781	888	784	628	543	444	888	444	627	0.71
21 ธันวาคม	8.00	267	285	318	399	441	390	327	282	209	441	209	324	0.64
	10.00	541	554	638	863	971	869	716	596	431	971	431	687	0.63
	12.00	659	671	779	1047	1199	1071	875	731	534	1199	534	841	0.64
	14.00	588	601	692	937	1061	947	774	647	468	1061	468	746	0.63
	16.00	348	356	412	539	620	544	454	376	268	620	268	435	0.62
ค่าสูงสุด		659	720	826	1047	1199	1071	875	731	593	1199			
ค่าต่ำสุด		102	120	137	169	186	170	141	122	102		102		
ค่าเฉลี่ย		450	509	585	759	864	768	608	519	418			609	0.68

รูปแบบที่ 3.2

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	183	213	232	244	253	254	257	262	263	264	270	269	267	258	245	230	197	270	183	245	0.75
	10.00	486	564	615	655	682	688	697	709	708	713	728	728	741	713	686	649	562	741	486	666	0.73
	12.00	660	765	836	883	905	931	944	957	958	965	968	964	957	945	903	852	727	968	660	889	0.74
	14.00	748	860	928	964	977	995	998	996	992	998	981	967	932	907	855	792	674	998	674	916	0.74
	16.00	632	723	783	813	825	814	819	813	813	808	798	788	770	748	701	642	550	825	550	755	0.73
21 กันยายน	8.00	123	140	151	162	167	162	164	168	165	167	174	174	175	172	168	159	138	175	123	161	0.77
	10.00	464	537	590	620	644	655	661	673	671	676	693	687	704	683	664	625	545	704	464	635	0.73
	12.00	655	760	839	885	923	940	946	963	966	971	970	972	966	941	907	844	721	972	655	892	0.73
	14.00	733	850	926	957	986	993	988	994	989	984	968	961	937	898	848	772	660	994	660	908	0.73
	16.00	594	677	727	746	775	756	753	748	747	743	734	727	703	685	647	596	512	775	512	698	0.73
21 ธันวาคม	8.00	272	315	344	360	371	373	374	379	377	376	381	374	372	361	344	318	274	381	272	351	0.78
	10.00	571	660	720	766	798	812	823	831	826	835	840	835	826	806	778	728	631	840	571	770	0.74
	12.00	703	816	892	946	987	1008	1020	1019	1022	1022	1028	1018	998	964	911	841	723	1028	703	936	0.75
	14.00	676	776	835	865	896	904	908	906	900	901	897	886	864	832	783	720	619	908	619	833	0.74
	16.00	406	492	500	522	532	536	533	533	531	530	524	522	506	492	463	426	367	536	367	495	0.74
ค่าสูงสุด		748	860	928	964	987	1008	1020	1019	1022	1022	1028	1018	998	964	911	852	727	1028			
ค่าต่ำสุด		123	140	151	162	167	162	164	168	165	167	174	174	175	172	168	159	138		123		
ค่าเฉลี่ย		527	610	661	693	715	721	726	730	729	730	730	725	715	694	660	613	527			677	0.74

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	148	199	220	247	263	223	166	181	161	263	148	201	0.74
	10.00	431	528	580	661	708	636	457	478	421	708	421	544	0.77
	12.00	576	703	760	877	958	850	628	644	560	958	560	728	0.77
	14.00	594	728	781	903	992	882	652	665	577	992	577	753	0.77
	16.00	490	601	653	744	813	722	526	544	477	813	477	619	0.77
21 กันยายน	8.00	103	121	122	152	165	158	129	124	103	165	103	131	0.79
	10.00	404	461	447	598	671	625	539	498	406	671	404	517	0.78
	12.00	568	643	620	840	966	898	777	711	574	966	568	733	0.77
	14.00	580	656	632	857	989	918	794	726	585	989	580	749	0.77
	16.00	445	508	492	655	747	691	597	550	448	747	445	570	0.78
21 ธันวาคม	8.00	243	265	237	312	377	368	331	295	217	377	217	294	0.74
	10.00	488	516	456	661	826	803	729	620	450	826	450	617	0.73
	12.00	593	625	552	813	1022	989	898	759	550	1022	550	756	0.73
	14.00	528	555	486	713	900	872	792	672	487	900	486	667	0.73
	16.00	311	326	290	410	531	506	457	387	277	531	277	388	0.71
ค่าสูงสุด		594	728	781	903	1022	989	898	759	585	1022			
ค่าต่ำสุด		103	121	122	152	165	158	129	124	103		103		
ค่าเฉลี่ย		433	496	489	630	729	676	565	524	420			551	0.76

รูปแบบที่ 3.3

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																							
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	141	163	176	185	192	190	192	196	196	196	202	201	200	193	185	177	153	202	141	185	0.76
	10.00	372	429	468	494	507	513	519	529	531	536	552	555	570	548	531	509	442	570	372	506	0.73
	12.00	508	588	631	662	679	693	707	708	719	720	736	732	736	729	705	676	581	736	508	677	0.75
	14.00	607	695	731	747	756	758	761	753	756	741	738	723	695	679	643	605	515	761	515	700	0.74
	16.00	503	579	622	637	639	618	620	613	611	601	592	585	575	559	528	487	418	639	418	576	0.73
21 กันยายน	8.00	95	108	115	125	127	122	122	127	124	125	131	130	131	129	126	122	105	131	95	121	0.78
	10.00	359	414	454	473	489	492	495	506	508	511	528	525	547	533	522	492	428	547	359	487	0.74
	12.00	499	580	631	660	685	695	694	714	719	726	723	728	735	723	706	666	449	735	449	667	0.67
	14.00	589	677	725	738	753	747	737	744	737	731	713	713	694	668	633	585	498	753	498	687	0.72
	16.00	471	539	572	583	604	575	571	563	563	554	547	550	530	516	489	458	392	604	392	534	0.73
21 ธันวาคม	8.00	198	299	248	260	268	266	268	273	273	271	278	271	272	265	256	240	207	299	198	260	0.76
	10.00	418	476	514	546	566	575	584	593	592	600	605	601	597	585	580	549	479	605	418	556	0.75
	12.00	519	597	643	677	702	715	723	724	721	727	733	727	715	697	667	630	550	733	519	675	0.77
	14.00	518	587	620	631	646	651	649	650	640	642	637	626	609	590	556	519	449	651	449	601	0.75
	16.00	303	347	370	381	391	388	385	384	382	383	376	376	365	356	339	318	318	391	303	362	0.84
ค่าสูงสุด		607	695	731	747	756	758	761	753	756	741	738	732	736	729	706	676	581	761			
ค่าต่ำสุด		95	108	115	125	127	122	122	127	124	125	131	130	131	129	126	122	105		95		
ค่าเฉลี่ย		407	472	501	520	534	533	535	538	538	538	539	536	531	518	498	469	399			506	0.75

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	152	200	217	204	196	144	159	169	154	217	144	177	0.81
	10.00	436	531	557	524	531	395	432	451	407	557	395	474	0.83
	12.00	580	700	724	676	719	543	593	611	545	724	543	632	0.86
	14.00	598	721	745	696	756	566	617	633	563	756	563	655	0.86
	16.00	495	602	625	586	611	455	497	515	463	625	455	539	0.84
21 กันยายน	8.00	100	115	115	106	124	115	124	120	99	124	99	113	0.88
	10.00	390	437	423	388	508	484	515	496	408	515	388	450	0.86
	12.00	546	605	584	534	719	697	742	710	578	742	534	635	0.84
	14.00	557	618	597	545	737	714	760	726	591	760	545	649	0.84
	16.00	429	480	464	425	563	535	570	548	449	570	425	496	0.86
21 ธันวาคม	8.00	219	235	218	192	273	300	323	296	219	323	192	253	0.76
	10.00	446	460	431	387	592	680	719	640	464	719	387	535	0.72
	12.00	541	559	525	474	721	836	883	783	566	883	474	654	0.72
	14.00	482	499	465	418	640	739	782	694	502	782	418	580	0.72
	16.00	286	300	277	248	382	432	451	401	285	451	248	340	0.73
ค่าสูงสุด		598	721	745	696	756	836	883	783	591	883			
ค่าต่ำสุด		100	115	115	106	124	115	124	120	99		99		
ค่าเฉลี่ย		417	471	464	427	538	509	544	520	420			479	0.81

รูปแบบที่ 3.4

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก)																						
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง																	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	83	93	98	100	103	106	105	106	106	107	108	107	107	107	106	103	92	108	83	102	0.81
	10.00	221	248	259	264	267	270	272	275	278	282	285	289	294	300	303	298	274	303	221	275	0.80
	12.00	286	320	335	342	347	352	356	360	365	369	373	378	385	392	397	390	358	397	286	359	0.80
	14.00	369	407	415	409	401	393	388	383	378	373	367	360	352	342	330	314	284	415	284	369	0.77
	16.00	313	345	351	345	337	330	324	319	314	309	305	300	295	289	282	269	243	351	243	310	0.78
21 กันยายน	8.00	61	66	68	69	71	71	71	72	72	72	72	73	73	74	74	72	65	74	61	70	0.87
	10.00	211	231	248	252	256	259	261	264	268	271	275	279	284	289	293	288	264	293	211	264	0.80
	12.00	287	321	336	343	348	353	357	361	366	370	374	379	386	393	397	391	359	397	287	360	0.80
	14.00	366	403	410	404	396	389	383	378	372	367	361	354	346	337	326	311	280	410	280	364	0.77
	16.00	289	318	324	320	313	306	301	297	292	288	284	280	275	270	263	252	226	324	226	288	0.78
21 ธันวาคม	8.00	115	128	136	139	143	144	145	145	146	146	146	146	147	147	145	141	127	147	115	140	0.82
	10.00	247	268	280	292	295	297	300	302	305	308	310	312	316	319	321	313	289	321	247	298	0.83
	12.00	312	338	361	366	369	371	372	373	374	374	375	377	379	383	384	376	345	384	312	366	0.85
	14.00	316	339	347	351	345	340	336	333	330	326	322	318	314	309	302	289	261	351	261	322	0.81
	16.00	175	191	201	202	201	199	198	196	195	193	192	190	189	187	182	174	155	202	155	189	0.82
ค่าสูงสุด		369	407	415	409	401	393	388	383	378	374	375	379	386	393	397	391	359	415			
ค่าต่ำสุด		61	66	68	69	71	71	71	72	72	72	72	73	73	74	74	72	65		61		
ค่าเฉลี่ย		243	268	278	280	279	279	278	278	277	277	277	276	276	276	274	265	241			272	0.81

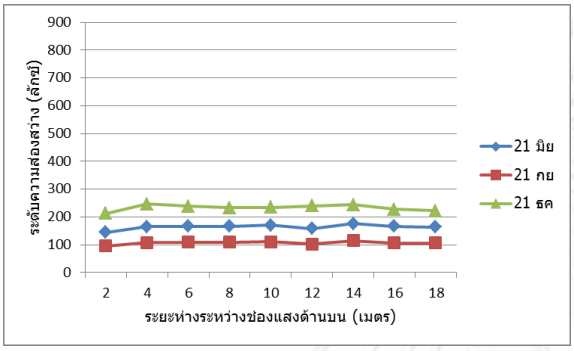
ตารางแสดงระดับความส่องสว่างที่ระนาบ +0.00 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ทิศเหนือ-ทิศใต้)														
ช่วงเวลาที่ทำ		จุดที่กำหนดในการวัดแสง									ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)			ความสม่ำเสมอ
การวัดแสง		0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ของแสง
21 มิถุนายน	8.00	152	194	207	151	106	128	151	155	141	207	106	154	0.69
	10.00	438	504	544	396	278	342	406	413	379	544	278	411	0.68
	12.00	579	661	686	517	365	458	557	563	513	686	365	544	0.67
	14.00	597	680	705	532	378	475	578	583	530	705	378	562	0.67
	16.00	494	566	591	444	314	389	466	473	432	591	314	463	0.68
21 กันยายน	8.00	96	109	110	90	72	93	120	115	97	120	72	100	0.72
	10.00	369	404	404	334	268	371	488	468	408	488	268	390	0.69
	12.00	516	555	547	453	366	524	702	668	580	702	366	546	0.67
	14.00	526	566	557	461	372	535	718	683	593	718	372	557	0.67
	16.00	408	443	436	364	292	407	540	516	450	540	292	428	0.68
21 ธันวาคม	8.00	203	217	205	174	146	222	306	292	226	306	146	221	0.66
	10.00	406	424	408	358	305	477	694	631	472	694	305	464	0.66
	12.00	492	495	496	436	374	580	848	772	583	848	374	564	0.66
	14.00	440	443	441	387	330	514	752	686	518	752	330	501	0.66
	16.00	260	276	263	232	195	312	433	395	294	433	195	296	0.66
ค่าสูงสุด		597	680	705	532	378	580	848	772	593	848			
ค่าต่ำสุด		96	109	110	90	72	93	120	115	97		72		
ค่าเฉลี่ย		398	436	440	355	277	388	517	494	414			413	0.67

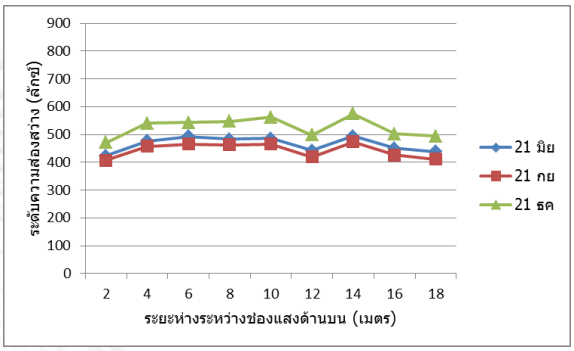
ภาคผนวก ข แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงกับวันของกรณีศึกษา 1, 2 และ 3

กรณีศึกษาที่ 1 (ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน)

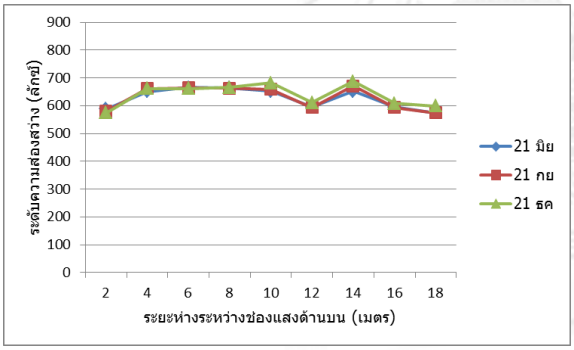
ระดับความส่องสว่าง

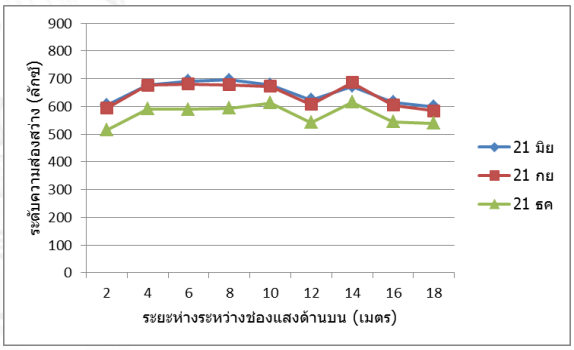
เวลา 08.00 และ 10.00 น.



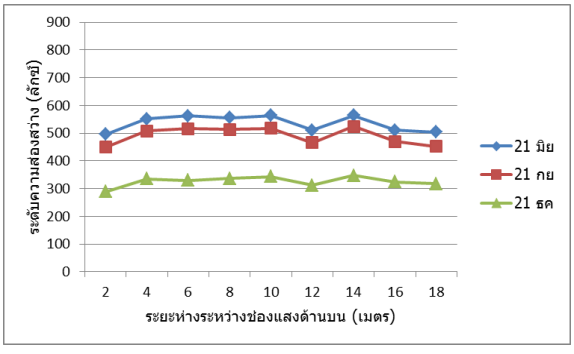


เวลา 12.00 และ 14.00 น.





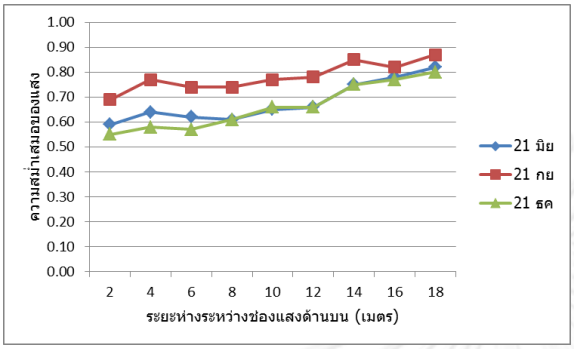
เวลา 16.00 น.

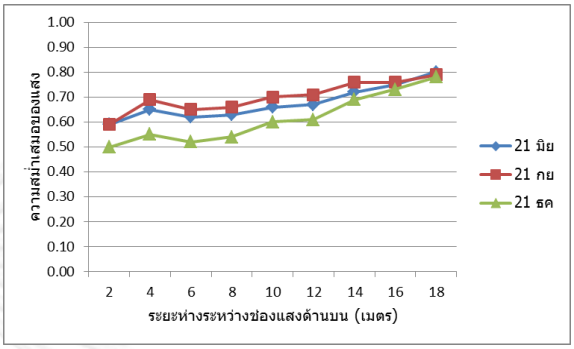


กรณีศึกษาที่ 1 (ระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน)

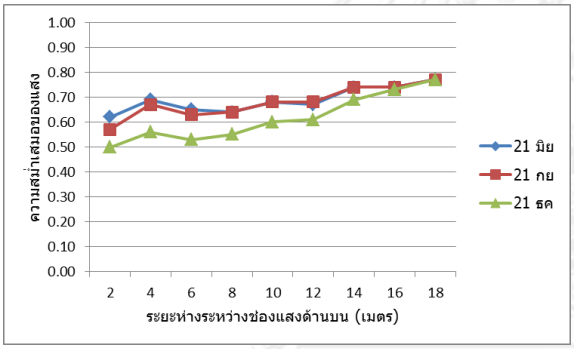
ความสม่ำเสมอของแสง

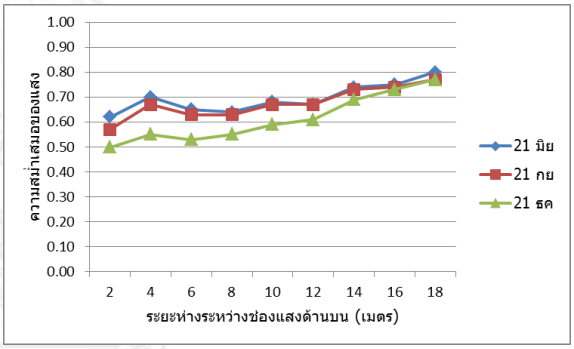
เวลา 08.00 และ 10.00 น.



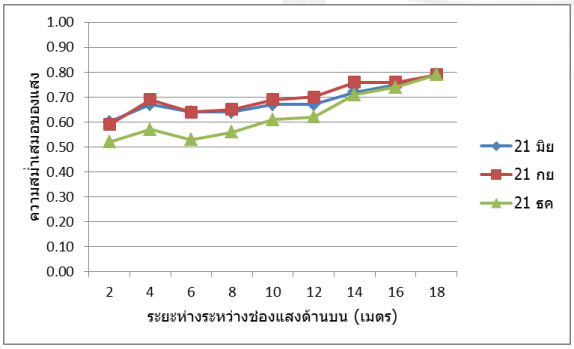


เวลา 12.00 และ 14.00 น.





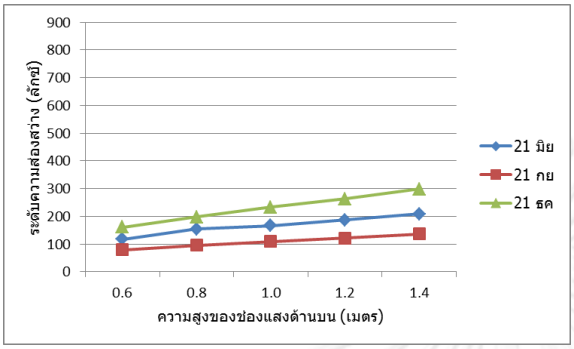
เวลา 16.00 น.

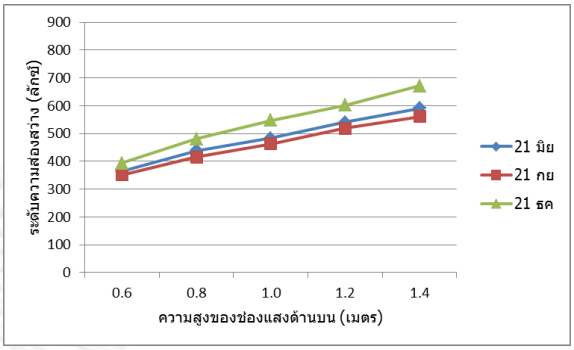


กรณีศึกษาที่ 2 (ความสูงของช่องแสงด้านบน)

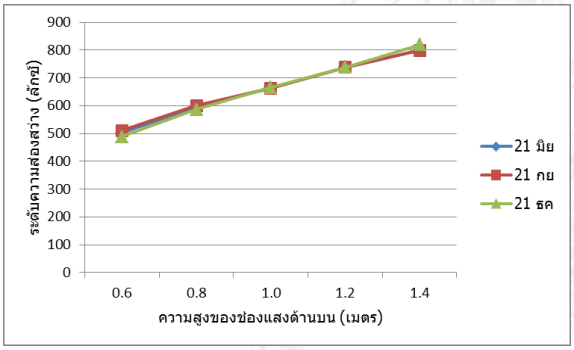
ระดับความส่องสว่าง

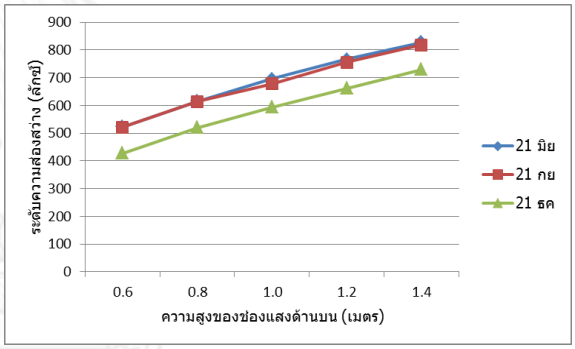
เวลา 08.00 และ 10.00 น.



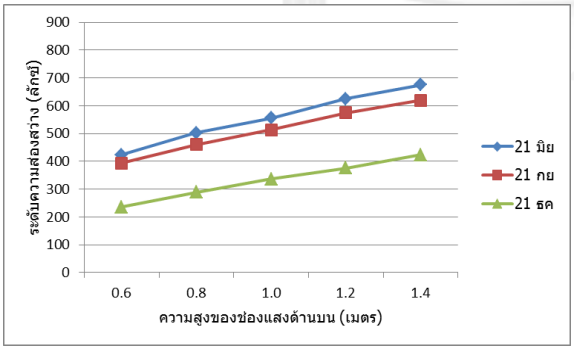


เวลา 12.00 และ 14.00 น.





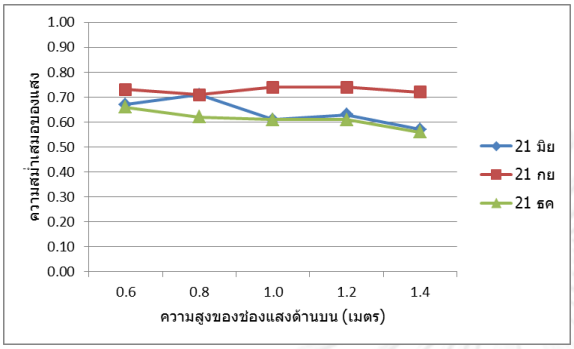
เวลา 16.00 น.

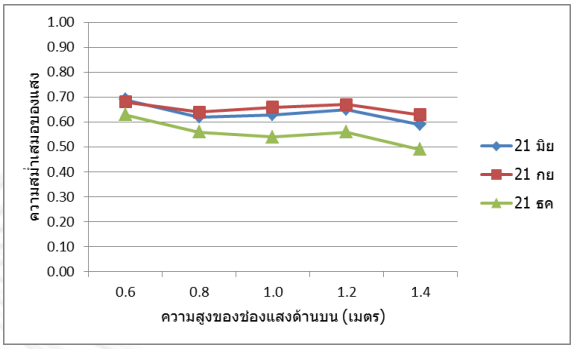


กรณีศึกษาที่ 2 (ความสูงของช่องแสงด้านบน)

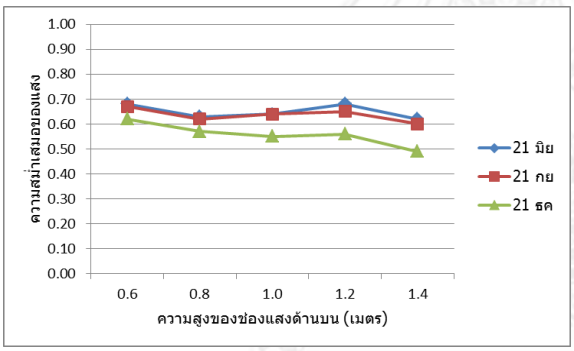
ความสม่ำเสมอของแสง

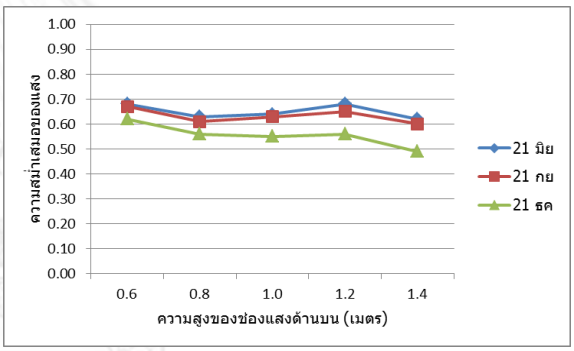
เวลา 08.00 และ 10.00 น.



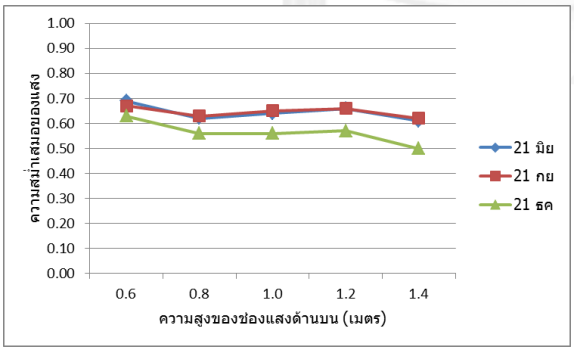


เวลา 12.00 และ 14.00 น.





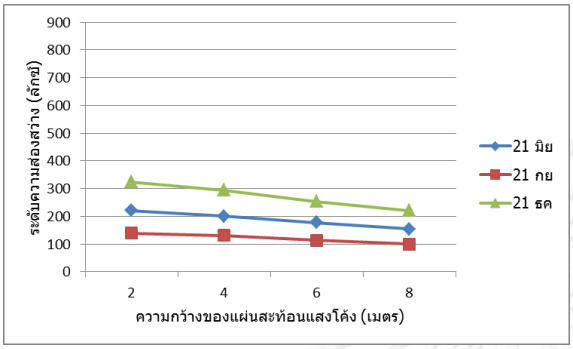
เวลา 16.00 น.

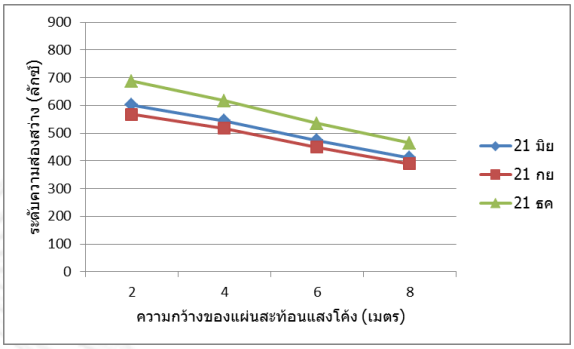


กรณีศึกษาที่ 3 (ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง)

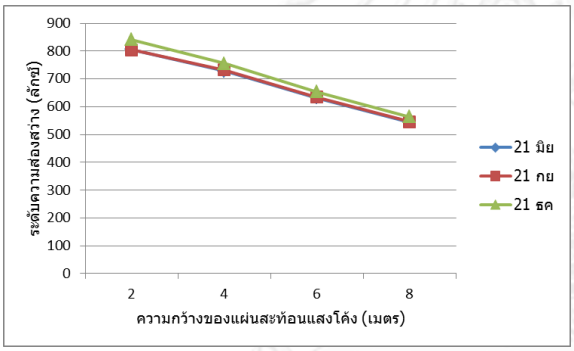
ระดับความส่องสว่าง

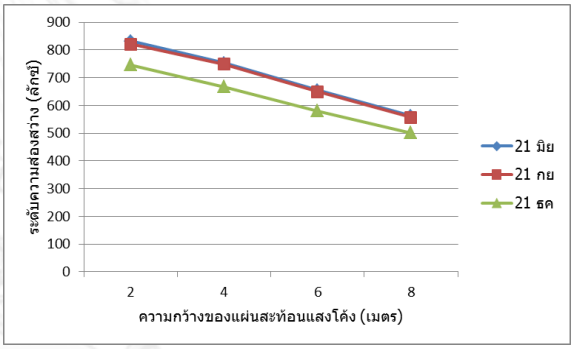
เวลา 08.00 และ 10.00 น.



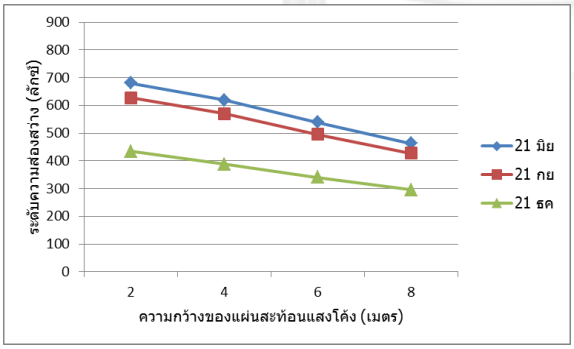


เวลา 12.00 และ 14.00 น.





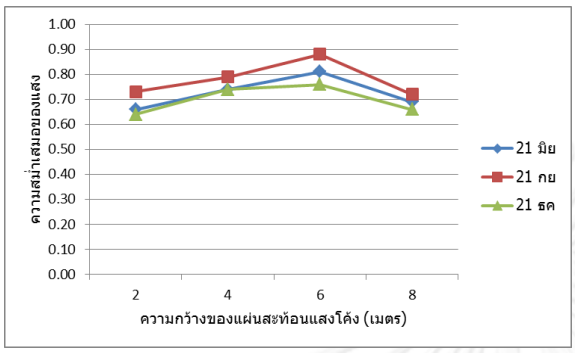
เวลา 16.00 น.

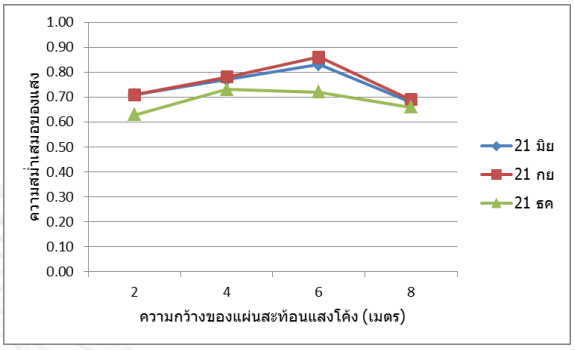


กรณีศึกษาที่ 3 (ความกว้างของแผ่นสะท้อนแสงโค้ง)

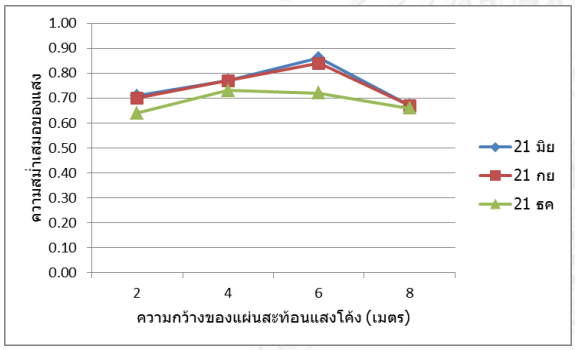
ความสม่ำเสมอของแสง

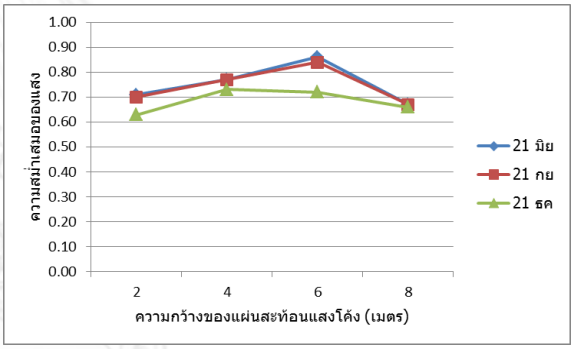
เวลา 08.00 และ 10.00 น.



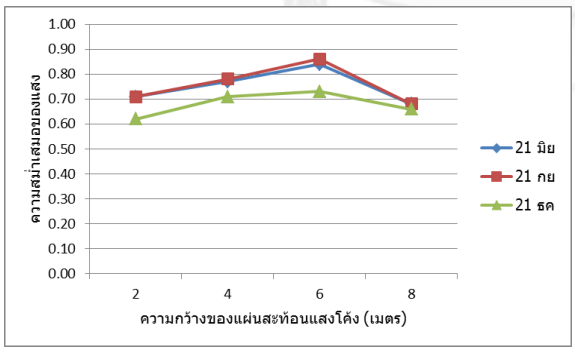


เวลา 12.00 และ 14.00 น.





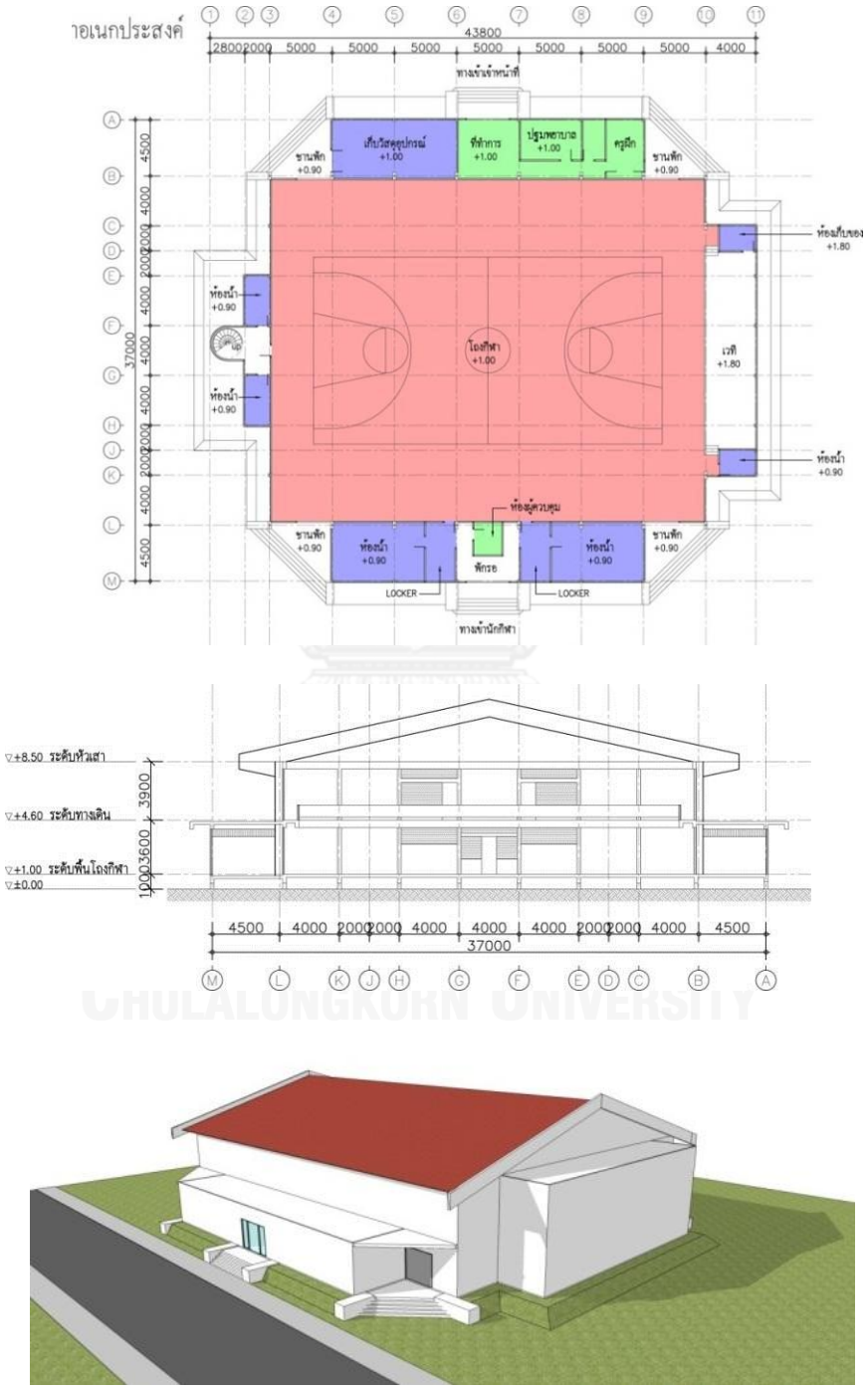
เวลา 16.00 น.



ภาคผนวก ค แบบมาตรฐานอาคารกีฬาในร่ม

แบบที่ 1 โรงกีฬาอเนกประสงค์ กรมยุทธโยธาทหารบก

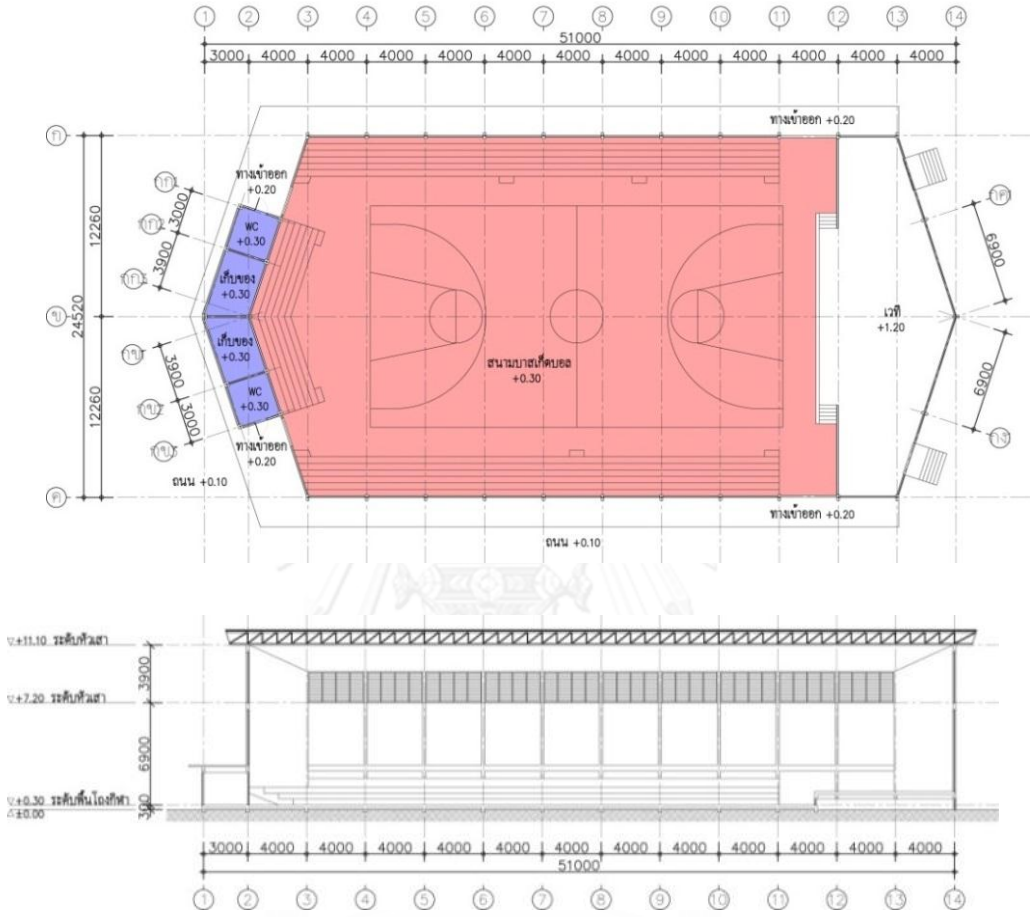
ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 1 ชั้น การวังผังอาคารเป็นทรงสี่เหลี่ยม ไม่มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร



ภาพที่ 6.1โรงกีฬาอเนกประสงค์ กรมยุทธโยธาทหารบก

แบบที่ 2 โรงกีฬาอเนกประสงค์ 200 คน กรมยุทธโยธาทหารบก

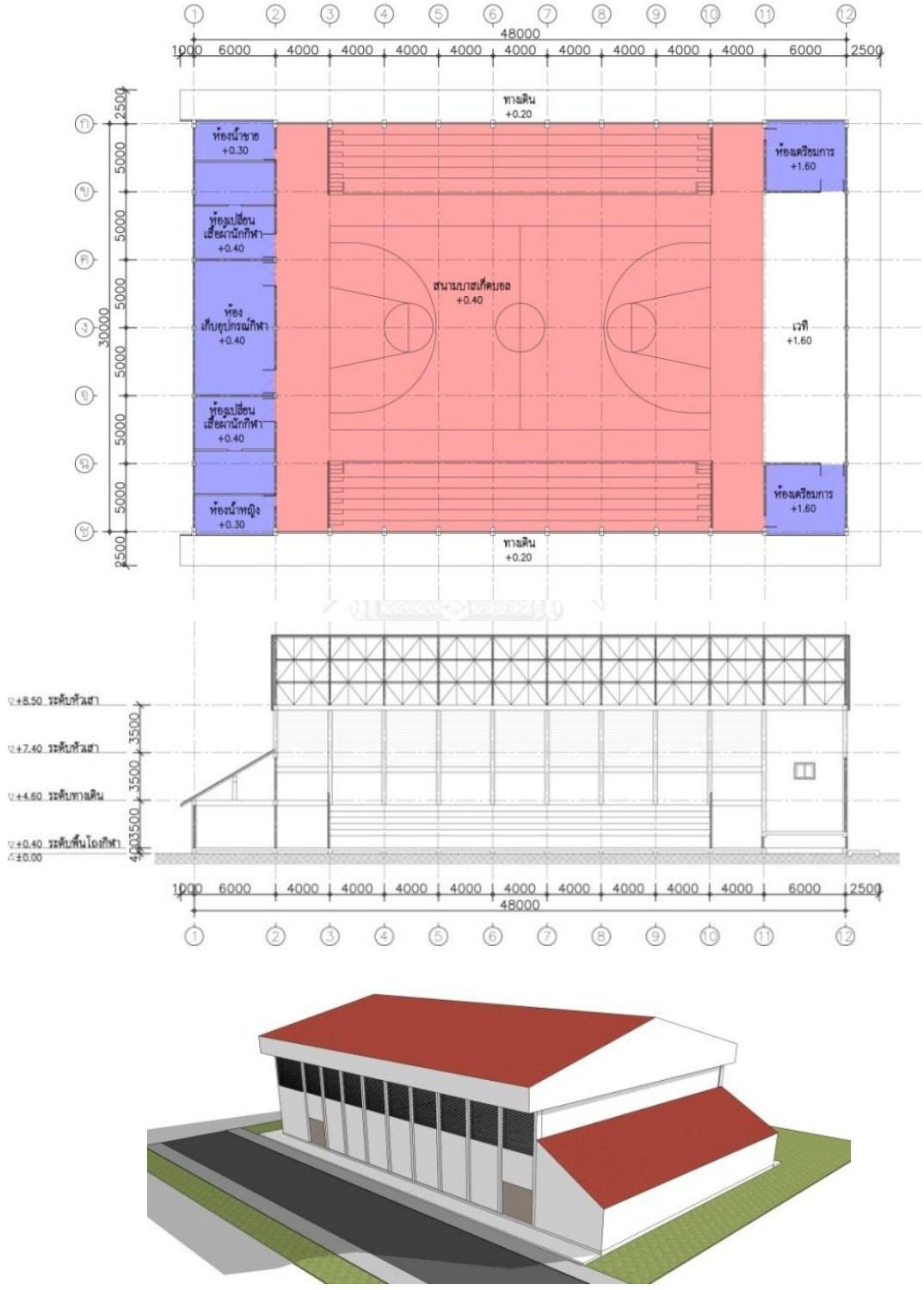
ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 1 ชั้น การวางผังอาคารเป็นทรงผืนผ้า ไม่มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร



ภาพที่ 6.2 โรงกีฬาอเนกประสงค์ 200 คน กรมยุทธโยธาทหารบก

แบบที่ 3 โรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก

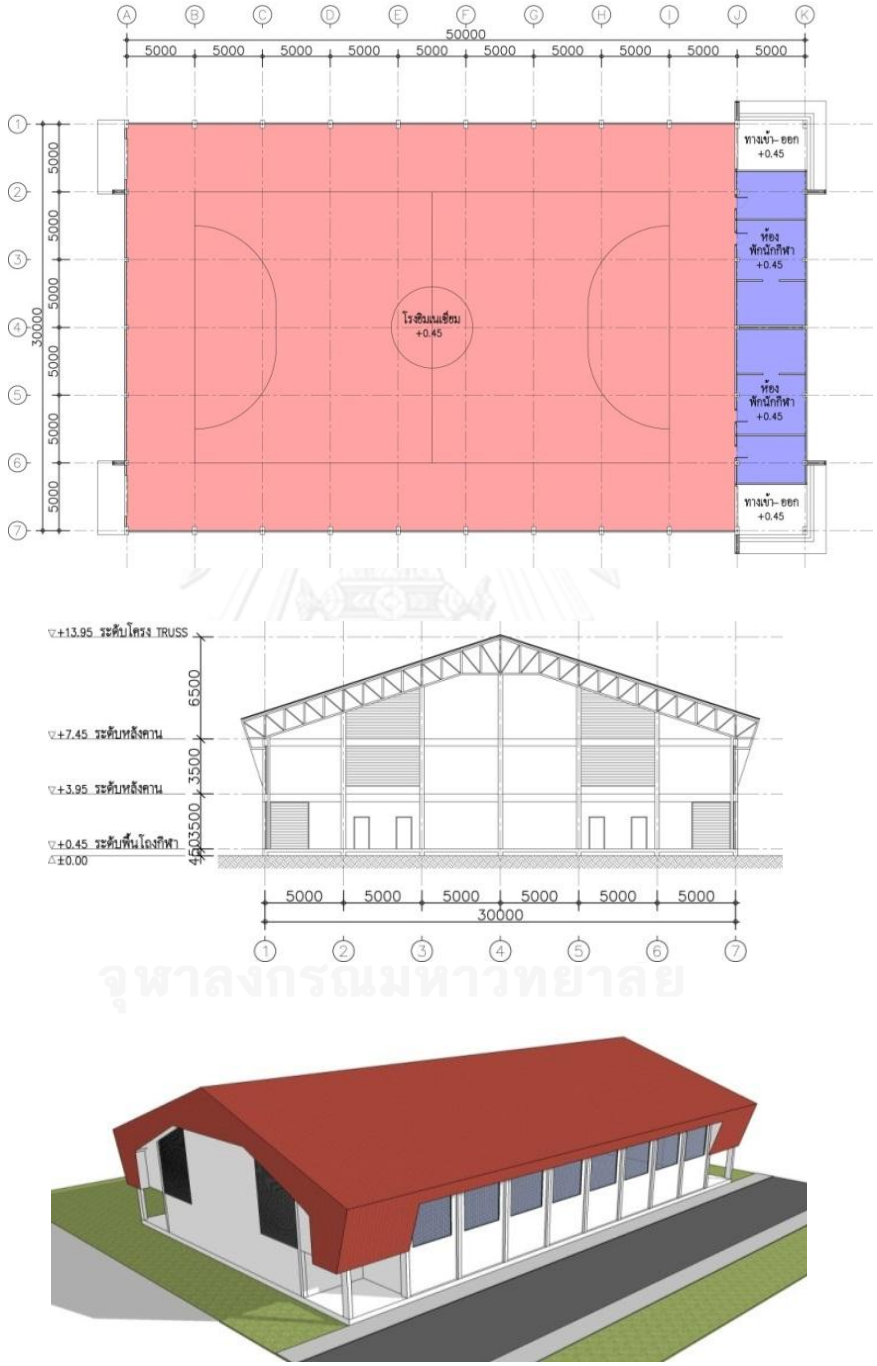
ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 1 ชั้น การวางผังอาคารเป็นทรงผืนผ้า ไม่มีการนำการแสงนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร



ภาพที่ 6.3 โรงกีฬาอเนกประสงค์ 500 คน กรมยุทธโยธาทหารบก

แบบที่ 4 โรงกีฬาอเนกประสงค์ขนาด 30 x 50 เมตร กรมพละศึกษา

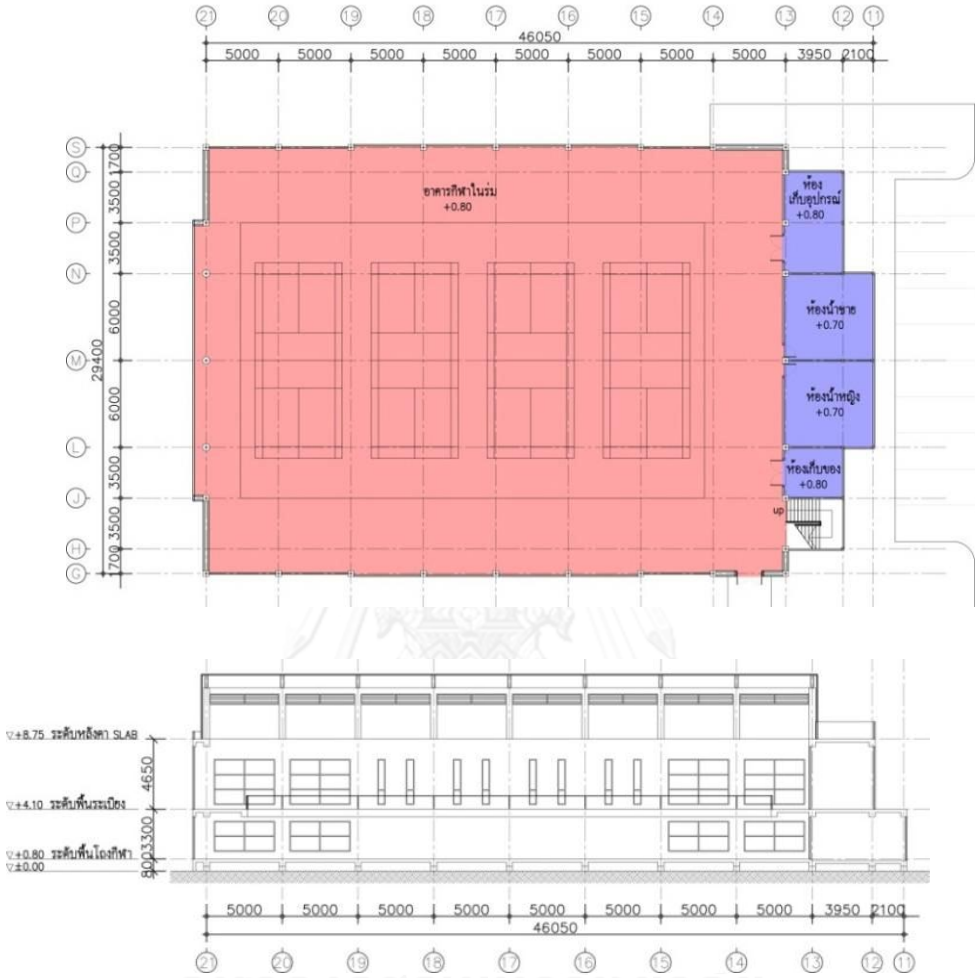
ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 1 ชั้น การวางผังอาคารเป็นทรงสี่เหลี่ยม ไม่มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร



ภาพที่ 6.4 โรงกีฬาอเนกประสงค์ขนาด 30 x 50 เมตร กรมพละศึกษา

แบบที่ 5 อาคารกีฬาในร่ม กรุงเทพมหานคร

ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 2 ชั้น การวางผังอาคารเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร

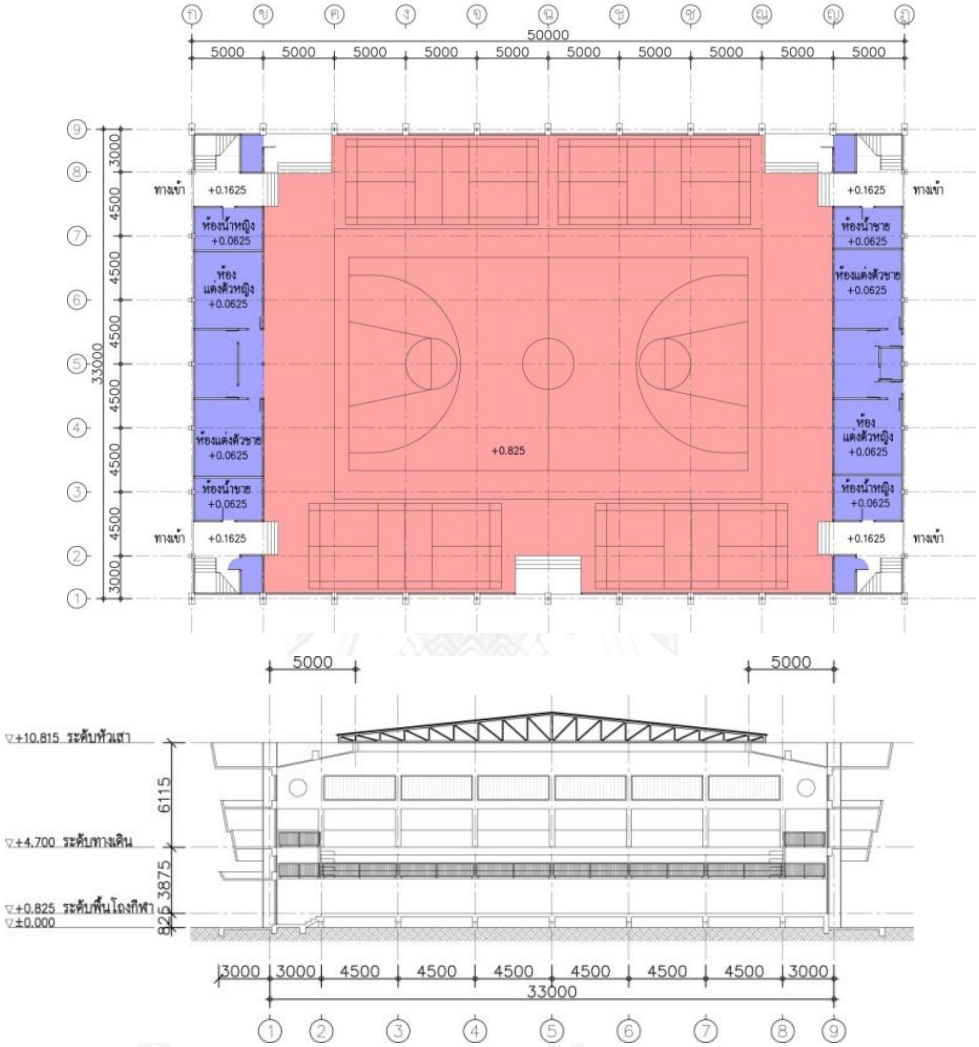


ภาพที่ 6.5 อาคารกีฬาในร่ม กรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบที่ 6 อาคารฝึกซ้อมกีฬาในร่ม กรุงเทพมหานคร

ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 2 ชั้น การวางผังอาคารเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร

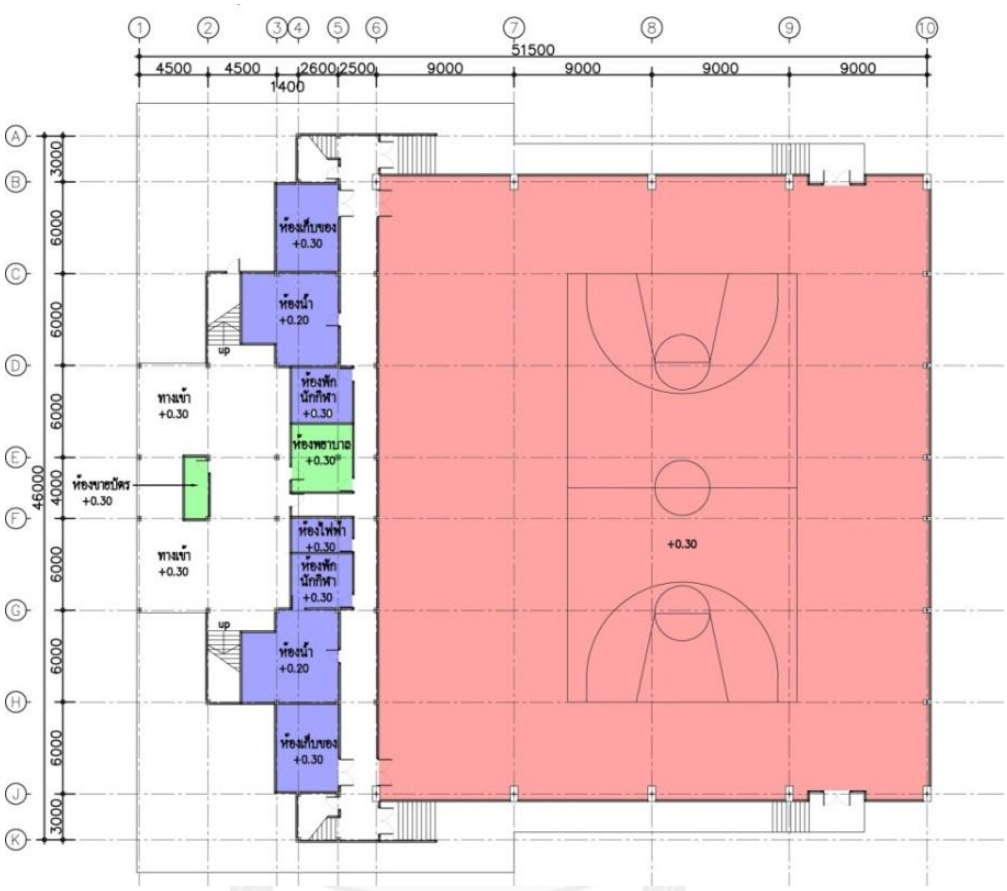


ภาพที่ 6.6 อาคารฝึกซ้อมกีฬาในร่ม กรุงเทพมหานคร

CHULALONGKORN UNIVERSITY

แบบที่ 7 อาคารโรงพละศึกษา 1000 ที่นั่ง การกีฬาแห่งประเทศไทย

ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 2 ชั้น การวางผังอาคารเป็นทรงสี่เหลี่ยม ไม่มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร

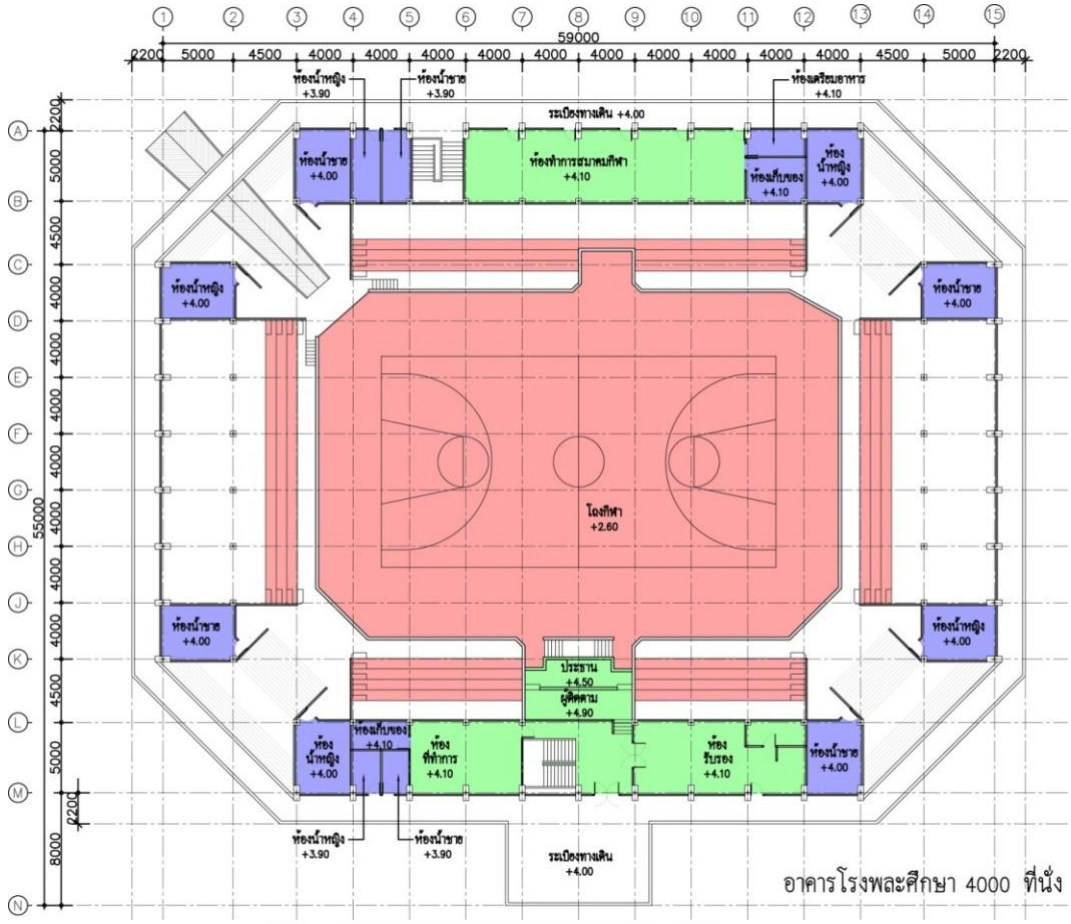


ภาพที่ 6.7อาคารโรงพละศึกษา 1000 ที่นั่ง การกีฬาแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบที่ 8 อาคารโรงพละศึกษา 4000 ที่นั่ง การกีฬาแห่งประเทศไทย

ข้อมูลอาคารเบื้องต้นเป็นอาคารคอนกรีต 3 ชั้น การวางผังอาคารเป็นทรงสี่เหลี่ยม ไม่มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร



ภาพที่ 6.8 อาคารโรงพละศึกษา 4000 ที่นั่ง การกีฬาแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง ตำแหน่งดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้องสำหรับละติจูด 14 องศาเหนือ

Date	Solar time	Solar Position		Profile (Shadow Line) Angles																HOR	Solar Position		Solar time
	Time	ALT	AZ	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		AZ	ALT	Time
DEC	7	8	63			23	11	9	8	8	10	17	62							82	63	8	7
	8	20	58			59	33	24	21	21	25	35	66							70	58	20	8
	9	32	50			82	54	39	33	32	36	44	64							58	50	32	9
	10	43	38				74	56	46	43	44	49	62	83						48	38	43	10
	11	50	22					73	59	53	50	52	59	72						40	22	50	11
	12	53	0					90	74	62	55	53	55	62	74					37	0	53	12
	13	50	22									52	50	53	59	73				40	22	50	13
	14	43	38									49	44	43	46	56	74			48	38	43	14
	15	32	50									44	36	32	33	39	54	82		58	50	32	15
	16	20	58									35	25	21	21	24	33	59		70	58	20	16
	17	8	63									17	10	8	8	9	11	23		82	63	8	17
JAN+NOV	7	9	67			23	12	10	9	10	12	21								81	67	9	7
	8	22	62			55	33	25	22	23	27	40	75							68	62	22	8
	9	34	53			78	53	40	35	34	39	49	70							56	53	34	9
	10	45	42				72	57	48	45	47	53	66							46	42	45	10
	11	53	24				89	73	61	55	53	55	62	75						37	24	53	11
	12	56	0					90	75	65	58	56	58	65	75					34	0	56	12
	13	53	24									55	53	55	61	73	89			37	24	53	13
	14	45	42									53	47	45	48	57	72			46	42	45	14
	15	34	53									49	39	34	35	40	53	78		56	53	34	15
	16	22	62									40	27	23	22	25	33	55		68	62	22	16
	17	9	67									21	12	10	9	10	12	23		81	67	9	17
FEB+OCT	7	12	76		56	22	15	12	12	14	19	40								79	76	12	7
	8	26	71		84	48	33	27	26	28	35	55								65	71	26	8
	9	39	64			69	51	43	39	40	47	61								51	64	39	9
	10	51	52			85	69	58	52	51	55	64	78							39	52	51	10
	11	61	32				85	74	66	62	62	65	72	83						29	32	61	11
	12	65	0					90	80	72	67	65	67	72	80					25	0	65	12
	13	61	32									65	62	62	66	74	85			29	32	61	13
	14	51	52									64	55	51	52	58	69	85		39	52	51	14
	15	39	64									61	47	40	39	43	51	69		51	64	39	15
	16	26	71									55	35	28	26	27	33	48	84	65	71	26	16
	17	12	76									40	19	14	12	12	15	22	56	79	76	12	17
MAR+SEP	7	14	87		39	21	16	14	15	19	31	76								76	87	14	7
	8	29	82		66	43	33	29	30	35	47	76								61	82	29	8
	9	43	77		81	61	50	44	44	48	58	76								47	77	43	9
	10	57	67			76	66	59	57	59	66	76								33	67	57	10
	11	69	49				81	74	71	70	72	76	83							21	49	69	11
	12	76	0					90	85	80	77	76	77	80	85					14	0	76	12
	13	69	49									76	72	70	71	74	81			21	49	69	13
	14	57	67									76	66	59	57	59	66	76		33	67	57	14
	15	43	77									76	58	48	44	44	50	61	81	47	77	43	15
	16	29	82									76	47	35	30	29	33	43	66	61	82	29	16
	17	14	87									76	31	19	15	14	16	21	39	76	87	14	17
APR+AUG	6	3	101	14	5	4	3	3	4	5	14									87	101	3	6
	7	17	98	66	31	22	18	1832	20	27	51									73	98	17	7
	8	32	95	82	53	39	33	46	35	44	64									58	95	32	8
	9	46	92	88	68	55	48	61	49	57	72									44	92	46	9
	10	61	89		78	69	63	75	63	68	78									29	89	61	10
	11	75	83		86	81	77	90	76	78	83									15	83	75	11
	12	86	0						66	65	65	65	65	65	66	90				4	0	86	12
	13	75	83										83	78	76	75	77	81	86	15	83	75	13
	14	61	89										78	68	63	61	63	69	78	29	89	61	14
	15	46	92	88									72	57	49	46	48	55	68	44	92	46	15
	16	32	95	82									64	44	35	32	33	39	53	58	95	32	16
	17	17	98	66									51	27	20	18	18	22	31	73	98	17	17
	18	3	101	14									14	5	4	3	3	4	5	87	101	3	18
MAY+JUL	6	5	109	14	7	5	5	5	6	11	56									86	109	5	6
	7	19	107	49	28	21	19	20	24	36	73									72	107	19	7
	8	33	105	68	47	36	33	34	39	52	79									58	105	33	8
	9	47	104	77	61	51	47	48	53	64	83									44	104	47	9
	10	61	106	81	71	64	61	62	67	75										30	106	61	10
	11	74	114	83	78	76	74	76	80	85										16	114	74	11
	12	84	180	84	84	86	87	89								89	87	86	84	6	180	84	12
	13	74	114	83										85	80	76	74	76	78	16	114	74	13
	14	61	106	81										75	67	62	61	64	71	30	106	61	14
	15	47	104	77									83	64	53	48	47	51	61	44	104	47	15
	16	33	105	68									79	52	39	34	33	36	47	58	105	33	16
	17	19	107	49									73	36	24	20	19	21	28	72	107	19	17
	18	5	109	14									56	11	6	5	5	5	7	86	109	5	18
JUN	6	5	113	14	8	6	5	6	8	14										85	113	5	6
	7	19	111	45	27	21	19	20	25	40	84									71	111	19	7
	8	33	109	63	45	36	33	35	41	56										58	109	33	8
	9	46	109	72	58	50	46	49	55	68										44	109	46	9
	10	60	113	77	68	62	60	62	68	78										30	113	60	10
	11	73	125	80	75	74	73	76	81											17	125	73	11
	12	81	180	81	81	84	86	90								90	86	84	81	9	180	81	12
	13	73	125	80											81	76	73	74	75	17	125	73	13
	14	60	113	77										78	68	62	60	62	68	30	113	60	14
	15	46	109	72										68	55	49	46	50	58	44	109	46	15
	16	33	109	63										56	41	35	33	36	45	58	109	33	16
	17	19	111	45									84	40	25	20	19	21	27	71	111	19	17
	18	5	113	14										14	8	6	5	6	8	85	113	5	18

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรีเชียร ตั้งกมลสุข เกิดวันที่ 5 สิงหาคม พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University