

รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงที่หลังคา
เพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์

นางสาว นศมา เพ็ญนัฏภัทร

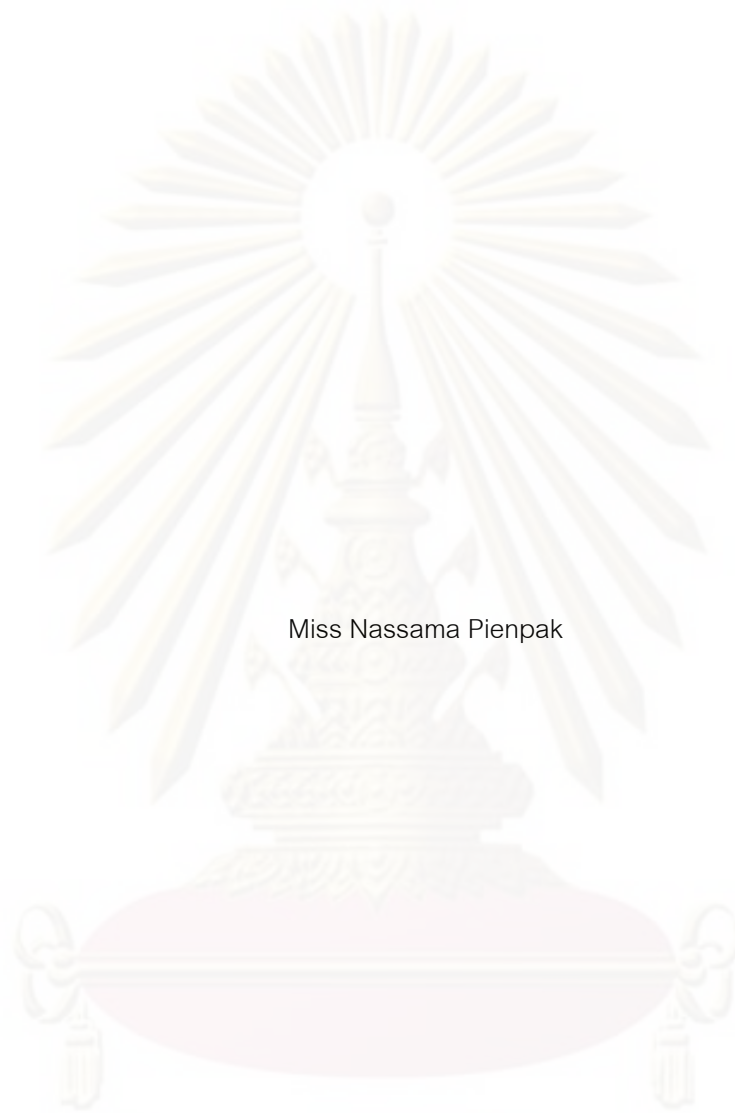
ศูนย์วิทยุทรัพยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TYPE AND SIZE OF A SKYLIGHT FOR DAYLIGHT UTILIZATION IN SUPERSTORES



Miss Nassama Pienpak

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงที่หลังคาเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทชุปเปอร์สโตร์

โดย

นางสาวนศมา เพ็ญนภัตต์

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์

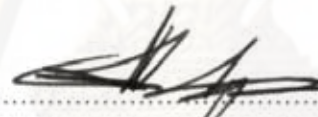
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

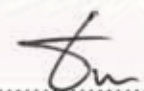
อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

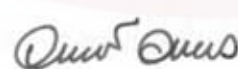
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

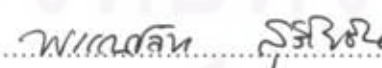
.....  คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาสัย)

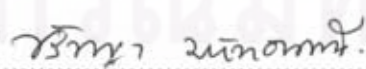
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต นิตยะ)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....  กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญมา มหัทธนทวี)

นคมา เพ็ญนัทธ์ : รูปแบบและขนาดของช่องเปิดที่หลังคาเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์. (Type and Size of a Skylight for Utilization in Superstores) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ธนิต จินดาวงศ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 171 หน้า.

ปัจจุบัน ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานได้ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ การใช้แสงธรรมชาติซึ่งเป็นพลังงานทดแทนจากธรรมชาติเป็นทางเลือกที่ช่วยในด้านการประหยัดพลังงาน โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของการนำแสงแนวตั้ง ซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบ และขนาดของช่องนำแสงแนวตั้งที่เหมาะสม และมีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบช่องนำแสงแนวตั้งสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาตัวแปร 3 ประเภทคือ 1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งประกอบด้วยขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร 2) อัตราส่วนระหว่างความยาวของท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) ซึ่งประกอบด้วย 2, 4, 6, 8 และ 10 และ 3) ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายช่องนำแสงแนวตั้ง โดยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคมในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ เครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์ และ Heliodon โดยศึกษาในห้องกรณีศึกษาขนาด 16 x 16 เมตร โดยเป็นการศึกษาผ่านหุ่นจำลอง ที่มาตราส่วน 1:20

จากการศึกษาพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 0.90 เมตร ที่ค่า Aspect ratio = 2 และที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายช่องนำแสงแนวตั้งที่ 3 เมตร โดยมีช่วงเวลาที่แสงมีความเหมาะสมสำหรับใช้งานภายในช่วงเวลา 12.00 น. – 16.00 น. ที่ 66.66 - 88.88 % และจากการศึกษาตัวแปรทั้งหมด แสงสว่างมีขอบเขตพื้นที่ที่มีความเหมาะสมเฉลี่ยที่เส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกินกว่า 6.00 เมตร โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบช่องนำแสงแนวตั้งที่เหมาะสมกับซูเปอร์สโตร์ที่มีขนาดที่แตกต่างกัน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม
ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5074118025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : DAYLIGHT / LIGHT PIPE / SUPERSTORE

NASSAMA PIENPAK : TYPE AND SIZE OF A SKYLIGHT FOR UTILIZATION IN SUPERSTORES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THANIT CHINDAVANIG, THESIS CO-ADVISOR : VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D., 171 pp.

Nowadays, the environmental and energy crises are widely believed to be having a significant effect on the global population. The utilization of natural light as an alternative energy is one option of helping energy. This research has studied the vertical light pipe which conveys natural light into the building. The objective of the research is to study the appropriate type and size of a vertical light pipe and aims to suggest the design of a vertical light pipe in a superstore type building.

This research focuses on the study of 3 variables, namely :

- 1) The diameter of the light pipe (3 different sizes, 0.3 meter, 0.6 meter, and 0.9 meter)
- 2) The aspect ratio of the length and diameter of the light pipe (2, 4, 6, 8, and 10)
- 3) The vertical distance between the desired spot and the pipe's end

The result were observed and collected on June 21, September 21 and December 21 at 12.00, 14.00, and 16.00 using a Lux meter. The study was conducted in 16 x 16 meters through the model with an aspect ratio of 1:20.

After the research was conducted, the results showed the most appropriate type and size of light pipe, that with a diameter of 0.9 meter, an aspect ratio of length and diameter equal to 2 and the vertical distance from the desired spot to the pipe's end being 3 meter. The most effective period for natural light is during 12.00 – 16.00 at 88.88%. From the above factor, the average area for natural light to be most effective is with a diameter of 1.40-4.08 meter. This research provides guidelines for the design of a vertical light pipe to be used in various sizes of superstore.

Department : Architecture.....

Student's Signature

Field of Study : Architecture.....

Advisor's Signature

Academic Year : 2009.....

Co-Advisor's Signature

N. Pienpak
Thanit Chindavanig
Vorapat Inkarojrit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานดังนี้

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำในงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนแนวทางในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยพลังงาน ที่มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่มอบทุนการศึกษาในการเรียนปริญญาโท และการทำงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนผู้ร่วมงานที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือให้การทำงานผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคุณเศรษฐพรพนธ์ สินเจิมศิริ ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล และขอบคุณเพื่อนๆปริญญาโท ที่ช่วยเหลือระหว่างการเรียนและการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลระหว่างการทำงานวิจัย รวมถึงสนับสนุนและให้กำลังใจในการเรียนปริญญาโทมาโดยตลอด จนจบการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	3
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	5
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง.....	9
2.2 พฤติกรรมของแสง.....	10
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง.....	14
2.4 แสงสว่างธรรมชาติ	20
2.5 สภาพลักษณะท้องฟ้า	28
2.6 การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร.....	30
2.7 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง.....	33
2.8 ค่าการส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร.....	35
2.9 ลักษณะและรูปแบบของร้านค้าและซูเปอร์สโตร์.....	36
2.10 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38

3	วิธีดำเนินการวิจัย	42
3.1	การกำหนดรูปแบบในการทดลอง.....	42
3.2	การกำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.3	การกำหนดขั้นตอนในการเก็บข้อมูล.....	57
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	62
4.1	ผลการทดลอง.....	63
4.2	วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	120
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	142
5.1	บทสรุป.....	142
5.2	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	150
	รายการอ้างอิง	152
	ภาคผนวก	154
	ภาคผนวก ก หลักการและเกณฑ์ในการออกแบบระบบแสงสว่างของอาคาร	155
	ภาคผนวก ข ตารางแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ มุมโพรไฟล์ และมุมอะซิมูท สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ (กรุงเทพมหานคร).....	169
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	171

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแนวโน้มการเติบโตของร้านค้าปลีกในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2001 – 2003	3
2.1 แสดงค่า Daylight Factor ที่เพียงพอต่อการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ	32
2.2 แสดงระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่และกิจกรรมต่างๆ ในอาคาร...	33
2.3 แสดงค่ามาตรฐานของปริมาณแสงสว่างในส่วนต่างๆ ของอาคารของประเทศต่างๆ	34
2.4 แสดงค่าการส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร (Klux)	35
2.5 แสดงคุณสมบัติของท่อนำแสงแนวตั้งของ Beacon Energy Centre-work shop	38
2.6 แสดงคุณสมบัติของท่อนำแสงแนวตั้งของ Beacon Energy Centre-office	38
2.7 แสดงคุณสมบัติของท่อนำแสงแนวตั้งของ West Beacon Farm House	38
2.8 แสดงข้อมูลในการทดลองวัดปริมาณแสงสว่างของท่อนำแสงแนวตั้งของกรณีศึกษา	40
3.1 แสดงมาตรฐานของหุ่นจำลองเพื่อทดสอบแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน	48
3.2 แสดงค่า Aspect Ratio และความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆ	53
4.1 แสดงค่าการส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร; (Klux)	66
4.2 แสดงค่าความส่องสว่างภายในเมื่อมีค่า Daylight Factor = 1%	66
4.3 แสดงค่าความส่องสว่างภายในเมื่อมีค่า Daylight Factor = 1.5%	66
4.4 แสดงรูปแบบของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นอาคารในแนวระนาบ	67
4.5 แสดงค่า Daylight Factor ของปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีความสูง ระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร	69
4.6 แสดงค่า Daylight Factor ของปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีความสูง ระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร	70
4.7 แสดงค่า Daylight Factor ของปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีความสูง ระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร	71
4.8 แสดงช่วงค่า Daylight Factor สูงที่สุด ต่ำที่สุด และค่าเฉลี่ยของท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ	77
4.9 แสดงรายละเอียดของรูปแบบแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นอาคารในแนวระนาบ	121
4.10 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงของแสงอาทิตย์ที่องค์แตกต่างกัน	123
4.11 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ยสูงสุด และต่ำที่สุดของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆ กัน	125

ตารางที่ (ต่อ)	หน้า
4.12 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำที่สุดของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีค่าAspect Ratio ต่างๆ	127
4.13 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำที่สุดของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงต่างๆ	130
4.14 แสดงขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวราบที่มีระดับDaylight Factor = 1.5%...	134
4.15 แสดงช่วงเวลาและขอบเขตของแสงสว่างในแนวระนาบที่ค่าDaylight Factor = 1.5%.....	139
5.1 แสดงตัวแปรที่ทำการศึกษา และสมมุติฐานในงานวิจัย.....	143
5.2 แสดงระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นในแนวระนาบที่ระดับใช้งาน โดยแยกตามเวลาที่วัดแสง.....	145

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวตั้ง (Light Pipe)	2
2.1	แสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงสว่างในช่วงที่ตอบสนองต่อการมองเห็น	9
2.2	แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง	10
2.3	แสดงการสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา	11
2.4	แสดงการสะท้อนของแสงแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน หรือแบบมีทิศทางบางส่วน	11
2.5	แสดงการสะท้อนของแสงแบบกระจายแสงสมบูรณ	12
2.6	แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งใส	13
2.7	แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งแสง	14
2.8	แสดงลักษณะของ Solid angle	15
2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง candela, lumens, lux และ footcandle	16
2.10	แสดงกฎกำลังสองผกผัน	17
2.11	แสดงความสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม	19
2.12	แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ direct illuminance และ diffuse illuminance	21
2.13	แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าหรือ sky luminance	22
2.14	แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	22
2.15	แสดงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	24
2.16	แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับศูนย์สูตรของโลก	25
2.17	แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบอาซิมุท – อัลติจูด	26
2.18	แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบศูนย์สูตร	26
2.19	แสดงลักษณะของสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky	28
2.20	แสดงลักษณะของสภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky	29
2.21	แสดงลักษณะของสภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky	29

ภาพที่	หน้า
2.22 แสดงองค์ประกอบในการคำนวณ Daylight Factor	32
2.23 แสดงลักษณะร้านค้าที่มีขนาดเล็ก.....	36
2.24 แสดงลักษณะร้านค้าที่มีขนาดกลาง.....	36
2.25 แสดงลักษณะร้านค้าที่มีขนาดใหญ่.....	37
2.26 แสดงลักษณะภายในชูปเปอร์สโตร์.....	37
3.1 แสดงลักษณะอุปกรณ์ในการวัดแสง ลักซ์มิเตอร์.....	45
3.2 แสดงลักษณะของเครื่องมือ Helidon	46
3.3 แสดงลักษณะของ Sundial Diagram	47
3.4 แสดงลักษณะหุ่นจำลองเมื่อบางบนเครื่องมือ Heliodon	48
3.5 แสดงระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน.....	49
3.6 แสดงรูปแบบหุ่นจำลองในการทดสอบปริมาณแสงสว่าง.....	50
3.7 แสดงตำแหน่งในการวัดแสงของผังพื้น และ รูปตัดของหุ่นจำลอง.....	51
3.8 แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงในหุ่นจำลอง.....	51
3.9 แสดงลักษณะส่วนประกอบของท่อนำแสง.....	52
3.10 แสดงลักษณะการทำงานของท่อนำแสงแนวตั้ง.....	53
3.11 แสดงความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร	54
3.12 แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ในมาตราส่วน 1:20	54
3.13 แสดงความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร	55
3.14 แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร. ในมาตราส่วน 1:20	55
3.15 แสดงความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร	56
3.16 แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร. ในมาตราส่วน 1:20	56
3.17 แสดงการใช้ Sundial diagram ที่ละติจูด 16 องศาเหนือ ประกอบกับเครื่องมือ Heliodon ในการวัดแสง	58
3.18 แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงกับหุ่นจำลอง.....	58
3.19 แสดงลักษณะรูปถ่ายในการเก็บข้อมูลขณะวัดแสง.....	59

ภาพที่ (ต่อ)	หน้า
4.1 แสดงลักษณะการติดตั้งและตำแหน่งอุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาณแสงสว่าง.....	63
4.2 แสดงลักษณะสภาพท้องฟ้าขณะทำการวัดปริมาณแสงสว่าง.....	64
4.3 แสดงรูปแบบของแผนภูมิในการประเมินขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบ.....	132
5.1 แสดงการวางตำแหน่งท่อน้ำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน แนวระนาบของท่อน้ำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร เวลา 12.00 น.....	147
5.2 แสดงการวางตำแหน่งท่อน้ำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน แนวระนาบของท่อน้ำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร เวลา 14.00 น.....	147
5.3 แสดงการวางตำแหน่งท่อน้ำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน แนวระนาบของท่อน้ำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 12.00 น.....	148
5.4 แสดงการวางตำแหน่งท่อน้ำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน แนวระนาบของท่อน้ำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 14.00 น.....	148
5.5 แสดงการวางตำแหน่งท่อน้ำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน แนวระนาบของท่อน้ำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 12.00 น.....	149
5.6 แสดงการวางตำแหน่งท่อน้ำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน แนวระนาบของท่อน้ำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 14.00 น.....	149



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่	หน้า
4.38 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 16.00 น. ค่า Aspect Ratio = 6	113
4.39 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 12.00 น. ค่า Aspect Ratio = 8	114
4.40 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 14.00 น. ค่า Aspect Ratio = 8	115
4.41 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 16.00 น. ค่า Aspect Ratio = 8	116
4.42 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 12.00 น. ค่า Aspect Ratio = 10	117
4.43 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 14.00 น. ค่า Aspect Ratio = 10	118
4.44 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 16.00 น. ค่า Aspect Ratio = 10	119

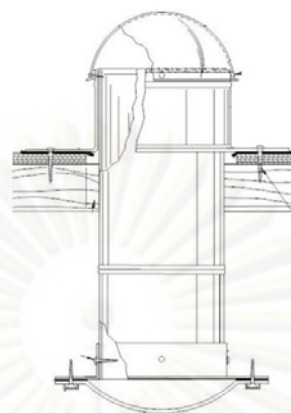
บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมและพลังงานเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์ และส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังคนรุ่นต่อไป เนื่องจากการใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือย โดยเฉพาะทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานจากธรรมชาติจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เข้ามามีบทบาทและมีส่วนช่วยในด้านการใช้พลังงาน เช่น พลังงานจากลม พลังงานจากน้ำ พลังงานจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น

แสงธรรมชาติเป็นหนึ่งในทางเลือกของการใช้พลังงานจากธรรมชาติ ที่มีการนำมาใช้ในงานออกแบบอาคารมากขึ้น โดยการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบันนั้น มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอาคารเพื่อการพาณิชย์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากถึงร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548: 15) ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารจึงสามารถลดปริมาณการใช้แสงประดิษฐ์ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการประหยัดพลังงานของอาคาร รวมถึงการใช้พลังงานรวมของประเทศ

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารนั้น มี 2 วิธีหลักที่สำคัญคือ การนำแสงธรรมชาติจากช่องเปิดทางด้านข้าง และการนำแสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านบน โดยการนำแสงเข้าจากทางด้านข้างนั้น พื้นที่ที่อยู่ห่างจากช่องเปิดจะได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่น้อยกว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับช่องเปิดบริเวณเปลือกอาคาร หากพื้นที่ใช้งานนั้นอยู่ชั้นบนสุดของอาคาร การเปิดรับแสงจากด้านบนสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการเปิดช่องเปิดทางด้านบน ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ โดยท่อนำแสงแนวตั้ง (Vertical Light Pipe) เป็นหนึ่งรูปแบบในการเปิดรับแสงธรรมชาติจากด้านบน ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อที่รับแสงจากด้านบน และนำแสงลงมาผ่านท่อนำแสงเพื่อมากระจายแสงยังพื้นที่ส่วนต่างๆในอาคาร ตามรูปที่ 1.1 ด้วยลักษณะของท่อนำแสง ซึ่งสามารถปรับลดหรือเพิ่มความยาวของท่อได้ ทำให้สามารถนำแสงจากด้านบนส่องไปยังพื้นที่ส่วนต่างๆของอาคารได้แม้ไม่ใช่พื้นที่ที่เป็นส่วนบนสุดของอาคาร จึงลดข้อจำกัดของลักษณะช่องเปิดด้านบนในรูปแบบอื่นที่ต้องเป็นพื้นที่ชั้นบนสุดของอาคารเท่านั้น



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวตั้ง (Vertical light pipe)

ที่มา : www.monodraught.co.uk [12/07/2552]

เนื่องจากแสงธรรมชาตินั้นเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งที่จะหาวิธีและแนวทางในการออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้งานในอาคารให้เกิดประโยชน์ ประกอบกับในประเทศไทยยังมียังงานวิจัยในเรื่องท่อนำแสงแนวตั้งค่อนข้างน้อย ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาท่อนำแสงแนวตั้ง โดยมุ่งศึกษาด้านรูปแบบและขนาดของท่อนำแสงแนวตั้ง รวมไปถึงระยะความสูงในระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งซึ่งสัมพันธ์กับความสูงของอาคาร เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์ขนาดต่างๆ ที่เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในประเทศไทย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเติบโตของร้านค้าในขนาดต่างๆเป็นไปอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ร้านค้าขนาดเล็ก ไปจนถึงซูเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ โดยมีแนวโน้มในการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงแนวโน้มการเติบโตของร้านค้าปลีกในประเทศไทย
ตั้งแต่ปี 2001 – 2003

ชื่อธุรกิจ	จำนวนสาขา		
	2001	2002	2003
Tesco Lotus	34	42	48
Big C	29	33	37
Carrefour	15	17	19
Makro	20	21	23
Tops	41	49	55
Food Lion	28	38	48
Central	12	13	14
7-Eleven	1800	2050	2300

ที่มา: <http://warehouselogistic.igetweb.com/index.php?mo=3&art=257061>[26/07/2009]

จากตารางที่ 1.1 พบว่า ร้านค้าปลีกในประเทศไทยมีจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากขึ้น การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจึงมีแนวโน้มในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อระบบแสงสว่างได้ โดยในส่วนของซูเปอร์มาร์เก็ตนั้นมีลักษณะอาคารเป็นกล่องที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ สามารถเปิดช่องเปิดได้เพียงบริเวณเปลือกของอาคาร ทำให้แสงธรรมชาติไม่สามารถส่องไปยังบริเวณในอาคารที่อยู่ลึกเข้าไปได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นการเปิดช่องแสงที่หลังคาของอาคาร จึงเป็นหนึ่งวิธีในการแก้ปัญหาในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารบริเวณที่อยู่ห่างจากเปลือกของอาคาร ซึ่งการเปิดช่องแสงด้านบนนั้นมีหลายรูปแบบ เช่น Skylight, Sawtooth, Monitor, Light pipe เป็นต้น

ท่อนำแสง หรือ Light pipe นั้น มี 2 ลักษณะคือ ท่อนำแสงแนวนอน (Horizontal light pipe) และ ท่อนำแสงแนวตั้ง (Vertical light pipe) โดยมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาด้านการนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์โดยผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง เช่น งานวิจัยของ Ayers และ Carter ปีค.ศ.1995 ที่ศึกษาเรื่อง Mirrored light pipes สำหรับแสงประดิษฐ์ที่ใช้เทคโนโลยีของ Light pipe สำหรับแสงอาทิตย์ โดยได้ข้อสรุปเรื่องเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงว่าควรเป็น 0.30 เมตร และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

ของวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นท่อนำแสงที่มีประสิทธิภาพควรเป็น 0.95 ซึ่งกลายเป็นมาตรฐานของท่อนำแสงที่ใช้ในห้องทดลอง งานวิจัยของ M. Edmonds และคณะ ปีค.ศ. 1995 ที่ศึกษาเรื่อง Mirrored light pipe ได้สรุปค่าความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงว่าไม่ควรเกิน 6 และค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ทำท่อนำแสงควรเป็น 0.85, 0.90 และ 0.95 และงานวิจัยของ J. Mohelnikova ปีค.ศ. 2009 ที่ศึกษาลักษณะของแสงสว่างผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่แตกต่างกัน โดยสรุปได้ว่า งานวิจัยที่ผ่านมายังขาดเรื่องความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยมีความเห็นว่า ประเทศไทยยังมีข้อมูลด้านท่อนำแสงแนวตั้งค่อนข้างน้อย ประกอบกับงานวิจัยหลายชิ้นยังขาดข้อมูลด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง ซึ่งสัมพันธ์กับระยะความสูงของฝ้าเพดานของอาคาร งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งศึกษาการใช้ท่อนำแสงแนวตั้งสำหรับอาคารที่ตั้งอยู่บนละติจูดที่ 14 องศาเหนือ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตั้งของกรุงเทพมหานคร ในด้านขนาดและรูปแบบของท่อนำแสงแนวตั้ง รวมไปถึงระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่ส่งผลต่อปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสง เพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานกับอาคารประเภทชุปเปอร์สโตร์ ซึ่งมีแนวโน้มที่เติบโตอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งสามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้กับร้านค้าที่มีขนาดและความสูงฝ้าเพดานที่แตกต่างกัน เพื่อให้อาคารได้รับแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการใช้งาน

การใช้แสงธรรมชาติเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยด้านต่างๆตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ ได้แก่ ทิศทางการวางอาคาร (Orientation), สถานที่ตั้งของอาคาร (Site location), รูปทรงของอาคาร (Form), ขนาดและรูปแบบช่องเปิด (Size & Type of opening), ลักษณะพื้นผิวของอาคาร (Material surface), อุปกรณ์บังแดด (Shading devices) เป็นต้น

ในการออกแบบระบบแสงสว่าง โดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารนั้น มีข้อพิจารณาหลายประการ ทั้งด้านรูปแบบสถาปัตยกรรม งบประมาณ การใช้พื้นที่ กิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปิดช่องเปิด เช่น ความร้อนที่เข้ามาในอาคาร ความจ้าของแสง เป็นต้น ดังนั้น ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงการออกแบบในด้านปริมาณ คุณภาพ และทิศทางของแสงสว่างให้ตรงตามความต้องการในการใช้งานของอาคาร โดยต้องมีการพิจารณานำมาใช้งานตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ เนื่องจากการเปิดช่องเปิดเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารนั้น ได้นำความร้อนเข้ามาสู่ตัวอาคารเช่นเดียวกันจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านช่องแสงและเกิดการสะสมความร้อนภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิในอาคารสูงขึ้น เกิดสภาวะที่ไม่สบายในการอยู่อาศัย และส่งผลให้เกิดการเพิ่มภาระการทำความเย็นแก่อาคาร ฉะนั้น ผู้ออกแบบจึงควรมีความรู้ความเข้าใจในลักษณะของแสงธรรมชาติ และตัวแปรต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อตามมา เพื่อทำให้เกิดการออกแบบที่ดีที่สุด

1.2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1. เพื่อศึกษารูปแบบ และขนาดของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีความเหมาะสมในการรับแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร รวมถึงระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งาน และก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานของอาคาร
- 1.2.2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ (Efficiency) ของแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคาร ผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง โดยศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของแสงและศึกษาเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ของท่อนำแสงแนวตั้งลักษณะต่างๆ
- 1.2.3. เพื่อเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานในอาคาร ประเภทซูเปอร์สโตร์ขนาดต่างๆ โดยผ่านทางท่อนำแสงแนวตั้ง

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1. ศึกษาเฉพาะปริมาณของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งเท่านั้น โดยศึกษาผ่านทางหุ่นจำลอง
- 1.3.2. สถานที่ที่ทำการศึกษา กำหนดให้อยู่ในกรุงเทพมหานคร โดยช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม โดยใช้อุปกรณ์ Heliodon สำหรับวัดแสงตามวันและเวลาที่กำหนดไว้
- 1.3.3. ศึกษาเฉพาะระบบนำแสง (Transportor) ของท่อนำแสงเท่านั้น โดยไม่รวมระบบรับแสง (Collector) และระบบกระจายแสง (Distributor)
- 1.3.4. ศึกษาตัวแปรเฉพาะด้านขนาด และรูปแบบ อันประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้ง อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของท่อนำแสงแนวตั้ง (Aspect Ratio) และระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งเท่านั้น
- 1.3.5. การศึกษาครั้งนี้พิจารณาแสงธรรมชาติที่ตกกระทบพื้นที่ใช้งานในแนวระนาบ (Horizontal plane) ที่ระดับความสูงจากพื้นที่ใช้งานที่ 0.75 เมตร
- 1.3.6. สภาพท้องฟ้าขณะทำการศึกษาคือเป็นลักษณะ Clear sky
- 1.3.7. การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นในด้านปริมาณแสงสว่างเท่านั้น ไม่พิจารณาในด้านปริมาณความร้อนและภาวะการทำความเย็นของอาคาร

1.4. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลองในการศึกษา โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์ และเก็บข้อมูลพื้นฐานของการวิจัย โดยศึกษาจาก

- 1.1 ทฤษฎีและข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อ ดังนี้คือ
 - 1.1.1 ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติของท้องฟ้า ที่เกิดจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงโลก ทั้งรังสีตรงที่ตกกระทบในระนาบนอน (Direct solar radiation on horizontal) และค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบในระนาบนอน (Exterior illumination on horizontal)
 - 1.1.2 ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในอาคารที่เกิดขึ้นเมื่อส่องผ่านช่องแสงเข้ามาในอาคาร
 - 1.1.3 ศึกษามาตรฐานการส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์
- 1.2 ศึกษาและค้นคว้าตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งเข้ามาในอาคาร โดยตัวแปรที่ทำการพิจารณามีดังนี้
 - 1.2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง
 - 1.2.2 อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง (Aspect Ratio)
 - 1.2.3 ระยะความสูงจากระดับใช้งาน (Working plane) ถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง
 - 1.2.4 วันและเวลาทำการเก็บข้อมูล
- 1.3 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่ศึกษาในแนวทางเดียวกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างสมมติฐานในการศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 : การกำหนดรายละเอียดของการศึกษา

นำข้อมูลและแนวทางที่ได้จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานมากำหนดรูปแบบของการศึกษาให้ชัดเจน

ขั้นตอนที่ 3 : การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง เพื่อนำไปพัฒนาการใช้แสงธรรมชาติในอาคารประเภทซูปเปอร์สโตรีให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทำการวัดแสงจากหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ลักษณะท้องฟ้าแบบ Clear sky ในการเก็บข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

- 3.1 เก็บข้อมูลเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งเข้าสู่อาคาร กับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร ในการเก็บข้อมูลนั้น ทำการทดสอบในสถานที่ที่ปราศจากอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม เช่น ต้นไม้ อาคารข้างเคียง ในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม โดยใช้เครื่องมือ Heliodon เป็นอุปกรณ์ในการวัดแสงตามวันและเวลาดังกล่าว
- 3.2 เปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างที่วัดได้จริง กับปริมาณแสงสว่างที่วัดโดยใช้เครื่องมือ Heliodon เพื่อทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์
- 3.3 การทดสอบปริมาณแสงสว่าง ใช้เครื่องมือวัดแสง Lux meter ในการวัดปริมาณแสงสว่างในหุ่นจำลองมาตราส่วน 1:20 ของห้องกรณีศึกษาขนาด 16 x 16 เมตร
- 3.4 หาค่า Daylight Factor ของแสงที่ได้ทำการเก็บข้อมูล เพื่อศึกษาลักษณะของแสงและประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวดิ่งตามตัวแปรที่กำหนดไว้ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซูปเปอร์สโตรี โดยอ้างอิงจากมาตรฐานในการส่องสว่าง
- 3.5 วิเคราะห์และสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต่างๆที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 4 : การประเมินผล

- 4.1 การวิเคราะห์และประเมินผลด้านระดับความส่องสว่าง โดยระดับความส่องสว่างต้องอยู่ในระดับที่พอเพียงต่อการใช้งาน
- 4.2 วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของแสงสว่างที่ตกกระทบอาคารในแนวระนาบ
- 4.3 วิเคราะห์ขอบเขตระยะที่แสงสว่างสามารถใช้งานได้ เพื่อนำมาพัฒนาระยะห่างของท่อนำแสงแนวดิ่งต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 : การสรุปผลการวิจัย

ทำการสรุปและประมวลผลข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อปริมาณแสงสว่างที่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งในรูปแบบแผ่นภูมิ เพื่อหาข้อดี-ข้อเสีย และข้อเสนอแนะในการนำท่อนำแสงแนวดิ่งไปพัฒนาเพื่อใช้งานในลำดับต่อไป

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1. ทราบถึงแนวทางในการเลือกใช้ขนาดและรูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่ง ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร รวมถึงสามารถนำข้อมูลด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งมาประยุกต์ใช้งาน ให้เหมาะสมกับซูปเปอร์สโตรีขนาดต่างๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูงสุด คือได้รับปริมาณการส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในอาคารประเภทซูปเปอร์สโตรี
- 1.5.2. เข้าใจในเรื่องประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคาร ด้านการกระจายตัวของแสง และทราบถึงค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งาน ตลอดจนการควบคุมการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารโดยผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง
- 1.5.3. เกิดแนวทางในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งเพื่อการประหยัดพลังงานของอาคารประเภทซูปเปอร์สโตรี

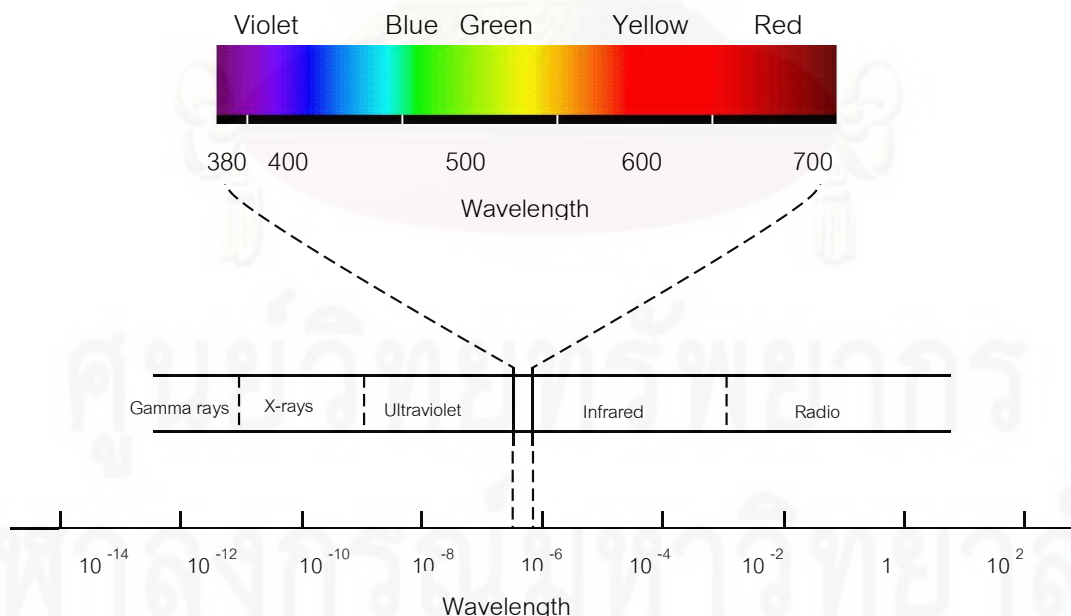
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวนำด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตร / วินาที ใช้เวลา 1.3 วินาที ในการเดินทางจากดวงจันทร์มายังโลก และใช้เวลา 8.3 วินาที ในการเดินทางจากดวงอาทิตย์มายังโลก แสงมีการเคลื่อนที่ในรูปของความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัว โดยความถี่และความยาวคลื่นเป็นตัวกำหนดชนิดของพลังงาน

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากดวงอาทิตย์แบ่งเป็นสามย่าน ดังนี้ รังสีแกมมา เอ็กซ์เรย์ อัลตราไวโอเล็ต คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 290 –1400 นาโนเมตร (nanometers,nm โดยที่ $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.) โดยมีทั้งชนิดคลื่นที่มองเห็นและมองไม่เห็น แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380 – 760 นาโนเมตร โดยพลังงานในช่วงดังกล่าวช่วยในการมองเห็น (Visible spectrum) ประกอบด้วยสเปกตรัม (spectrum) ของสีหลายสีที่เกิดจากความถี่และความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยคลื่นสีม่วงเป็นคลื่นสีที่มีความยาวคลื่นน้อยที่สุด และคลื่นสีแดงเป็นคลื่นสีที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด



รูปที่ 2.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และแสงสว่างในช่วงที่ตอบสนองต่อการมองเห็น

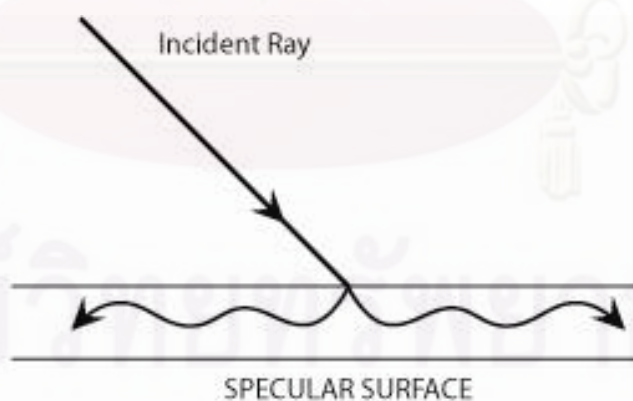
แหล่งกำเนิดแสงแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดแสงทางตรง (Direct light source) ได้แก่ แสงอาทิตย์ และแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (Indirect light source) ได้แก่ แสงที่เกิดจากการสะท้อนหรือการส่องผ่านวัตถุใดๆ โดยวัตถุนั้นทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สอง (Secondary light source) ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยขึ้นกับคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ

2.2 พฤติกรรมของแสง

แสงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดเป็นเส้นตรงสู่ตัวกลางต่างๆ ตั้งแต่ อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง เมื่อเดินทางมากกระทบตัวกลางการเดินทางของแสงจะเปลี่ยนแปลง และแสดงพฤติกรรมต่างๆ ดังนี้

2.2.1 การดูดกลืน (Absorption) เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง จะถูกดูดกลืนหายไปในตัวกลาง และเกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของวัสดุ (Absorptance, α) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนผ่านพื้นผิวเข้าไปในวัตถุ ต่อ ปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้นๆ หรือความส่องสว่างที่ถูกดูดกลืนผ่านพื้นผิวเข้าไปในวัตถุ ต่อ ความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 หรืออาจเทียบเป็นค่าระหว่าง 0 - 100 % ก็ได้

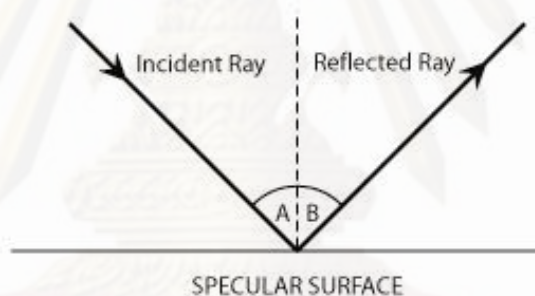


รูปที่ 2.2 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง
ที่มา : พรรณชาติ สุริโยธิน, 2548: 4.

2.2.2 การสะท้อน (Reflection) คือปรากฏการณ์ที่แสงเดินทางกระทบตัวกลาง แล้วสะท้อนกลับออกมา โดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนแปลง โดยลักษณะสะท้อนแบ่งได้เป็น

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance, ρ) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ ต่อ ปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้นๆ หรือความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ ต่อ ความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 หรืออาจเทียบเป็นค่าระหว่าง 0 -100 % ก็ได้

2.2.2.1 การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบเป็นมันวาว (Polished surface) การสะท้อนจะมีมุมของแสงที่ตกกระทบ (Angle of incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน (Angle of reflection)



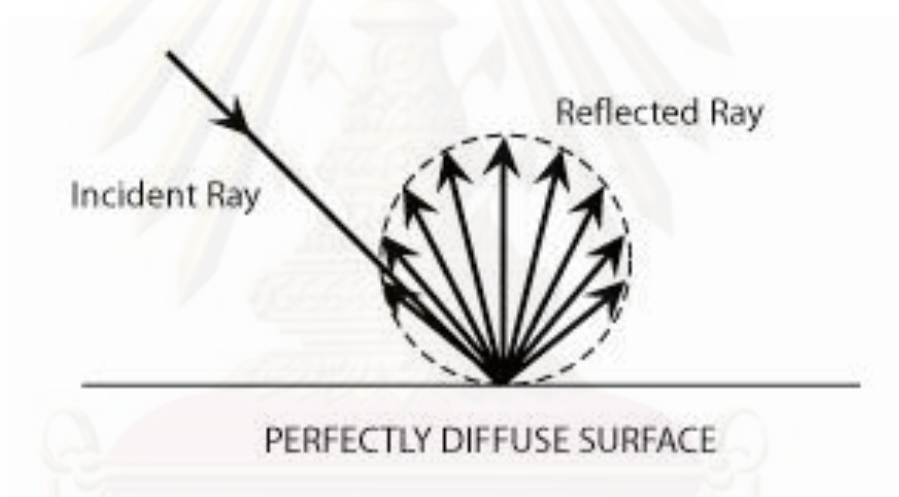
รูปที่ 2.3 แสดงการสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา
ที่มา : พรรณชาติ สุริโยธิน, 2548: 6.



รูปที่ 2.4 แสดงการสะท้อนของแสงแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน
หรือแบบมีทิศทางบางส่วน
ที่มา : พรรณชาติ สุริโยธิน, 2548: 6.

2.2.2.2 การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection) เกิดเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่มีผิวหยาบ แสงจะสะท้อนออกไปในหลายทิศทาง โดยที่ส่วนใหญ่แล้วมุมของแสงสะท้อนที่กระจายออกไปจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบบนและเกิดการกระจายตัวในหลายทิศทาง มี 3 ลักษณะ ดังนี้

2.2.2.2.1 Perfectly diffuse surface ในกรณีที่ผิววัสดุมีลักษณะหยาบอย่างสมบูรณ์คือหยาบสม่ำเสมอทั่วทั้งผิว แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะกระจายแสงแบบสมบูรณ์ (Perfectly diffuse reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่ากันในทุกมุมสะท้อน



รูปที่ 2.5 แสดงการสะท้อนของแสงแบบกระจายแสงสมบูรณ์

ที่มา : พรรณชาติ สุริโยธิน, 2548: 6.

2.2.2.2.2 Semi diffuse reflection ในกรณีที่ผิววัตถุไม่เรียบอย่างสม่ำเสมอ แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจาย (Semi diffuse reflection)

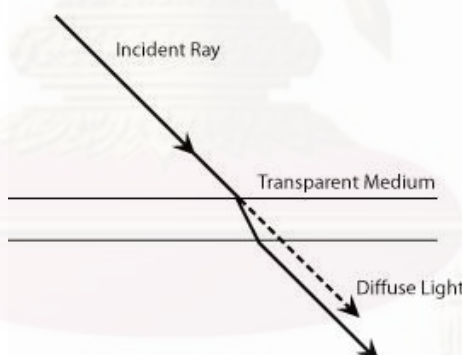
2.2.2.2.3 Combined specular and diffused reflection เป็นกรณีที่แสงสะท้อนที่ออกมาจากวัตถุมักมีลักษณะผสมกันระหว่างการสะท้อนแบบเงากระจกและการสะท้อนแบบกระจาย ซึ่งเป็นลักษณะการสะท้อนของแสงส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจริง

2.2.3 การส่องผ่าน (Transmission) คือปรากฏการณ์เมื่อแสงตกกระทบบนด้านใดด้านหนึ่งของตัวกลาง แล้วทะลุผ่านไปอีกด้านหนึ่ง

สัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของวัสดุ (Transmittance, τ) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านพื้นผิววัตถุ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิวนั้นๆ หรือความส่องสว่างที่ทะลุผ่านวัตถุออกมา ต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบบนวัตถุนั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 หรืออาจเทียบเป็นค่าระหว่าง 0 - 100 % ก็ได้

โดยการส่องผ่านของแสงสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของตัวกลางดังนี้

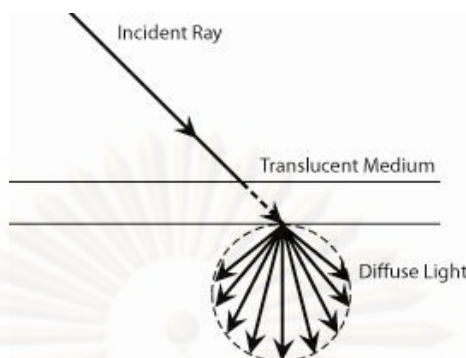
2.1.3.1 ตัวกลางโปร่งใส (Transparent medium) การส่องผ่านตัวกลางลักษณะนี้แสงจะเกิดการหักเห (Refraction) หรือเปลี่ยนทิศทาง (Bent) โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และจะทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกใส เป็นต้น



รูปที่ 2.6 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งใส

ที่มา : พรรณชลัท สุริโยธิน, 2548: 8.

2.1.3.2 ตัวกลางโปร่งแสง (Translucent medium) การส่องผ่านของแสงลักษณะนี้ แสงที่ส่องผ่านจะเกิดการกระจาย (Diffuse transmission) โดยไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงอีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกฝ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.7 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งแสง

ที่มา : พรรณชลัท สุริโยธิน, 2548: 8.

เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่แสงส่องผ่านได้ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ และส่วนที่เหลือจะทะลุผ่านตัวกลาง โดยปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนและปริมาณแสงที่สะท้อนกลับรวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน เขียนเป็นสมการดังนี้

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง (Illuminance Theory)

แหล่งกำเนิดแสงก่อให้เกิดการส่องสว่าง และเมื่อตกกระทบกับวัตถุหรือพื้นๆ ใดๆ จะส่งผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นๆ ที่สะท้อนแสงออกมา และหากวัตถุนั้นไม่มีการสะท้อนของแสง ก็จะไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้นๆ ได้ โดยนิยามที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่างมีดังนี้

2.3.1 ปริมาณแสง (Luminous flux, ϕ)

ปริมาณแสงคือ แสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิด หรือตกลงบนพื้นที่รับแสง หรืออาจเปรียบเทียบได้ว่า เป็นอัตราการไหล (Rate of flow) ของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แสงออกมาในรูปของกำลังไฟฟ้า (Power) มีหน่วยเป็น วัตต์ (watt,W) แต่สำหรับแสงสว่างจะหมายถึงค่าที่วัดออกมาเป็นปริมาณแสง (Luminous flux) ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็นลูเมน (lumen,lm)

2.3.2 ประสิทธิภาพของแสง (Luminous efficacy, η)

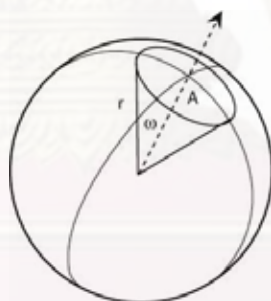
ประสิทธิภาพของแสงคืออัตราส่วนของปริมาณแสง(ϕ) ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด ต่อพลังงานที่ใช้ (watt,W) เพื่อให้ได้ปริมาณแสงนั้นออกมา มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (lumen/watt,lm/W) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการวัดแสง ดังสมการที่ 2

$$\eta = \phi/W \quad (2)$$

2.3.3 Solid angle (ω หรือ Ω)

Solid angle เป็นการวัดสัดส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลมที่ครอบคลุมด้วยพื้นที่สมมุติรูปทรงกรวย ที่มีส่วนแหลมที่สุดของกรวยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้นๆ หรืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมนั้นๆ (A) ต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (steradian,sr) ดังสมการที่ 3

$$\omega = \frac{A}{r^2} \quad (3)$$



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของ Solid angle

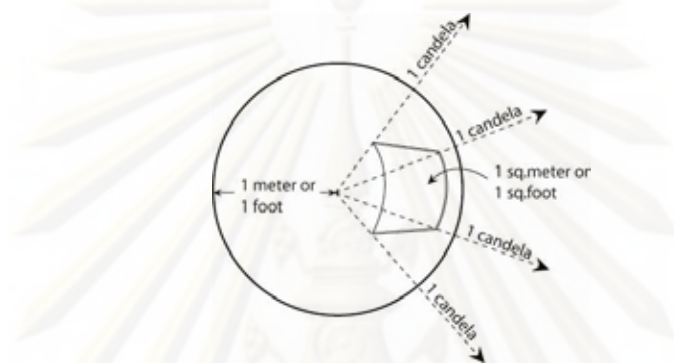
ที่มา : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solid_Angle.png, [31/01/2009]

2.3.4 ความเข้มแสง (Luminous intensity, I)

ความเข้มแสงเป็นค่าที่บอกปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง แหล่งกำเนิดแสงที่วัดได้ใน Solid angle ใดๆ (ω) มีหน่วยเป็นลูเมน ต่อสเตอเรเดียน (lm/sr) หรือแคนเดลา (candela,cd) ดังสมการที่ 4

$$I = \phi/ \omega \quad (4)$$

เมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กจนถือว่าเป็นเสมือนจุด (Point of source) และมีค่าความเข้มแสงสม่ำเสมอทุกทิศทาง เท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ ณ จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งออกมาและตกกระทบบนทุกๆหนึ่งตารางหน่วยของพื้นที่ทรงกลม จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน พื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้น ความเข้มแสง 1 แคนเดลา จะเปล่งแสงออกมาเป็นปริมาณเท่ากับ 12.57 ลูเมน



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง candela, lumens, lux และ footcandle

ที่มา : พรรณชาติ สุริโยธิน, 2548: 16.

2.3.5 ความส่องสว่าง (E)

เมื่อปริมาณแสงตกกระทบลงบนพื้นที่ 1 หน่วยใดๆ (A) จะได้ความส่องสว่าง (E) มีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Lumen per unit area) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงและพื้นที่รับแสง ดังสมการที่ 5

$$E = \phi/A \quad (5)$$

หากพิจารณาในกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงเป็นจุด (Point source) ในทรงกลม เมื่อทรงกลมมีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งไปตกลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางฟุต (lm/ft^2) หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (footcandle, fc) และหากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้น จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m^2) หรือ 1 ลักซ์ (lux, lx) โดยที่ 1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10.76 ลักซ์

หากแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กมากจนถือว่าเป็นจุด ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับระยะห่างและมุมของแสงที่ตกกระทบ จึงเกิดเป็นสมการในการหาค่าความส่องสว่างดังนี้

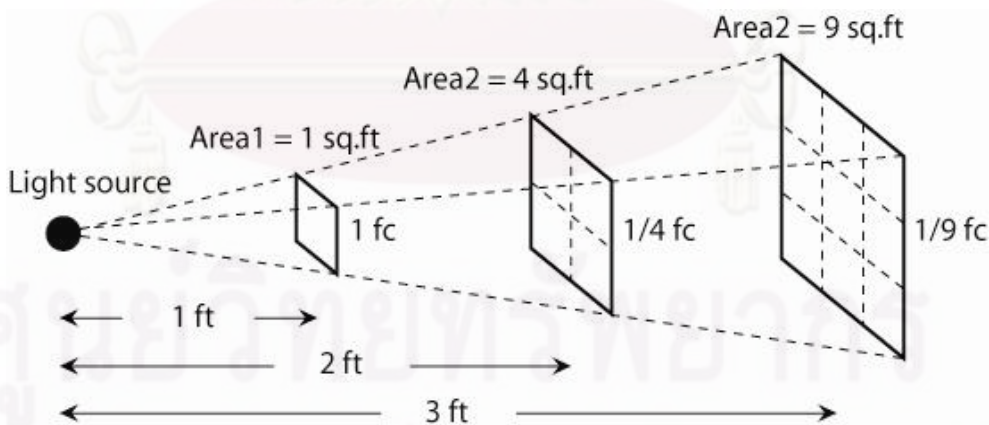
$$E = I \cos\theta / d^2 \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ E คือปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux, lx) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc)

I คือความเข้มของการส่องสว่างบนแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่พุ่งสู่พื้นผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)

d คือระยะทางระหว่างพื้นผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m) หรือ ฟุต (ft)

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



รูปที่ 2.10 แสดงกฎกำลังสองผกผัน
ที่มา : พรรณชาติ สุริโยธิน, 2548: 18.

2.3.6 ความสว่าง (Luminance ,L)

เมื่อแสงตกกระทบบัววัตถุแล้วสะท้อนกลับหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตา ทำให้มองเห็นวัตถุนั้นได้ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ความสว่าง” มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert, FL) เมื่อวัตถุที่แสงตกกระทบบมีพื้นผิวที่ช่วยกระจายแสง (Diffuse) ค่าความสว่างจะแปรผันตรงกับค่าความส่องสว่าง และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงหรือสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสง

ค่าความสว่างขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง (I) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสง (τ) ของวัตถุ และพื้นที่ของวัตถุที่มองเห็น (Area viewed) หรือค่าระดับความส่องสว่างบนวัตถุ (E) กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสง (τ) ของวัตถุ

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแตกต่างกัน ส่งผลต่อการมองเห็นวัตถุนั้นต่างกันด้วยเมื่อให้แสงในปริมาณที่เท่ากัน โดยการหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุนั้น สามารถใช้ลักซ์มิเตอร์วัดความส่องสว่างที่วัสดุ เพื่อวัด ค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบบัววัตถุ จากนั้นหาลักซ์มิเตอร์เข้าหาวัสดุโดยเอียงทำมุม 45 องศาห่างจากพื้นผิวประมาณ 6 นิ้ว เพื่อวัดความส่องสว่างที่สะท้อนออกจากวัสดุ โดยต้องระวังไม่ให้มีเงาบางส่วนรับแสงของลักซ์มิเตอร์

$$\text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง} = \frac{\text{ปริมาณแสงที่สะท้อนจากวัสดุ}}{\text{ปริมาณแสงที่ตกกระทบบัววัตถุ}} \quad (7)$$

2.3.7 ความจ้า (Brightness)

ความจ้า คือการตอบสนองทางด้านความคิด (Subjective response) ต่อความสว่าง (Luminance) ในพื้นภาพที่มองเห็น (Field of view) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของดวงตาของแต่ละบุคคล และบุคคลจะรับรู้ความจ้าของพื้นผิวได้ก็ต่อเมื่อมีการเปรียบเทียบกับพื้นผิวด้านข้างที่มีมืดหรือสว่างกว่า

การคำนวณและการวัดปริมาณแสงที่ตกกระทบบัวพื้นผิวต่างๆเป็นพื้นฐานของการออกแบบการให้แสงสว่าง เนื่องจากค่าความส่องสว่างที่ได้จากการคำนวณนั้นไม่ซับซ้อน และการวัด

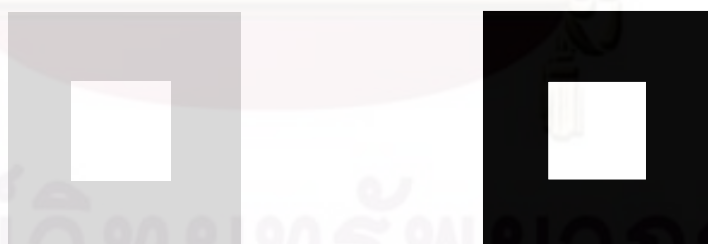
ปริมาณแสงนั้นใช้เพียงแค่เครื่องมือวัดเท่านั้น โดยมีข้อจำกัดในเรื่องของระบบการมองเห็นที่เป็น การตอบสนองทางกายภาพ (Physiologically response) ต่อการกระจายความสว่าง (Luminance distribution) ในพื้นภาพที่มองเห็นแต่ไม่ได้รับรู้ภาพที่เห็น ผู้ที่มองภาพอาจตีความ ภาพที่เห็นโดยมีการแบ่งแยกความแตกต่างของสีผิว การสะท้อนของผิว และการส่องสว่าง กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่เรียกว่าความจ้า และความสม่ำเสมอของสี

2.3.8 ความเปรียบต่าง (Contrast)

ความเปรียบต่างคือความสว่าง (Luminance) ของวัตถุที่ต้องการมอง เทียบกับความสว่าง รอบข้าง เช่น วัตถุสีขาววางบนพื้นสีดำ มองเห็นได้ง่ายกว่าวัตถุสีดำวางบนพื้นสีดำ ค่าความ เปรียบเทียบหาได้จากอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่าง (Contrast Ratio) ระหว่างวัตถุที่ พิจารณา (Target, L_t) กับความสว่างของพื้นหลัง หรือสภาพแวดล้อม (Background, L_b) ดังสมการ ที่ 8

$$\text{Contrast Ratio} = \left| \frac{L_t - L_b}{L_b} \right| \quad (8)$$

หากมีความเปรียบต่างมากจะมีผลทำให้มองเห็นวัตถุได้ง่าย แต่หากมีความเปรียบต่างมาก เกินไป จะทำให้ไม่สบายตาได้



รูปที่ 2.11 แสดงความสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม

ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540 : 11.

จากรูป 2.11 จะพบว่าความสว่างของวัตถุและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงมีผลต่อการมองเห็นวัตถุ โดยหากความสว่างของวัตถุและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกันจะทำให้เห็นวัตถุได้ยาก และหากความสว่างของวัตถุและสภาพแวดล้อมแตกต่างกันจะทำให้มองเห็นวัตถุได้ง่าย

2.3.9 แสงบาดตา (Glare)

แสงบาดตาคือแสงที่ส่องเข้าตาแล้วทำให้มองเห็นวัตถุได้ลำบาก หรือทำให้เกิดความไม่สบายตา ไม่ว่าจะเป็นแสงที่มองเห็นโดยตรง (Direct glare) หรือมองเห็นจากการสะท้อน (Reflect glare) โดยขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ขนาด ตำแหน่ง จำนวนของแหล่งกำเนิดแสง รวมถึงความสามารถในการปรับสายตาต่อแสงนั้น

แสงบาดตาแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามผลที่เกิดกับผู้มองคือ

2.3.9.1 แสงบาดตาที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็น (Disability glare) เป็นแสงบาดตาที่ส่งผลให้ความสามารถในการมองวัตถุลดลง เกิดขึ้นเมื่อมองไปยังพื้นที่ที่สว่างหรือมีดีกว่าสภาพแวดล้อมมากๆ จนเกิดความเปรียบต่างสูง หรือการมองย้อนแสง ทำให้สูญเสียความสามารถในการมองเห็นไปชั่วคราว

2.3.9.2 แสงบาดตาที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา (Discomfort glare) เป็นแสงบาดตาที่ไม่ได้ลดความสามารถในการมองเห็น แต่รบกวนการมองเห็นเนื่องจากบริเวณนั้นมีแหล่งกำเนิดแสงจ้าในพื้นที่ที่มองเห็น เช่น การอ่านหนังสือในบริเวณที่มีแสงแดดส่อง

Veiling reflection คือการมองภาพสะท้อนของแหล่งกำเนิดแสงซ้อนทับบนพื้นที่ที่ทำงาน ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เช่น ภาพของหลอดไฟที่ปรากฏบนจอภาพคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2.4 แสงสว่างธรรมชาติ (Daylight)

2.4.1 แหล่งกำเนิดของแสงสว่างธรรมชาติ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาติ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ โดยจะเป็นส่วนที่ตามนุษย์รับรู้ได้ นอกบรรยากาศคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนนี้จะมีค่าเข้มสูง เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก จะถูกโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง (Aerosol) และเมฆดูดกลืน (Absorb) และกระเจิง (Scatter) ส่วนที่ถูกกระเจิง

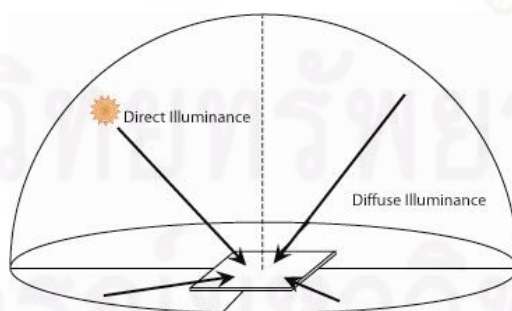
จะทำให้เกิดรังสีกระจาย (Diffuse radiation) และส่วนที่เหลือพุ่งตรงมายังพื้นโลก เรียกว่า รังสีตรง (Direct radiation) โดยผลรวมของรังสีทั้งสองเรียกว่า รังสีรวม (Global radiation)

ในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ สเปกตรัมของรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม จะขึ้นกับองค์ประกอบของบรรยากาศได้แก่ โอโซน ไอน้ำ ฝุ่นละออง และก๊าซต่างๆ นอกจากนี้ ยังขึ้นกับมวลอากาศ (Air mass) ที่รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่าน

ส่วนของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่สายตามนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เรียกว่า แสงสว่างธรรมชาติ (Daylight) ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Skylight) แสงตรงจากดวงอาทิตย์เป็นส่วนหนึ่งของรังสีดวงอาทิตย์ที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกมายังตำแหน่งที่พิจารณา ส่วนแสงกระจายจากท้องฟ้าเป็นแสงที่เกิดจากการกระเจิงของแสงตรงจากดวงอาทิตย์โดยโมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆ เมื่อแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้าตกกระทบพื้นดิน ต้นไม้ และสิ่งสร้างต่างๆ จะมีการสะท้อน ซึ่งแสงสว่างส่วนนี้ยังคงเป็นแสงสว่างธรรมชาติอีกส่วนหนึ่งซึ่งสะท้อนจากผิวโลก

2.4.2 ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

Illuminance เป็นปริมาณของแสงสว่างในรูปของฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วย ถ้าเป็นฟลักซ์ของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ จะเรียกว่า Direct Illuminance หรือ Beam illuminance กรณีที่เป็นฟลักซ์ของแสงกระจายจากท้องฟ้า จะเรียกว่า Diffuse illuminance และเรียกผลรวมของปริมาณแสงสว่างทั้งสองว่า Global illuminance



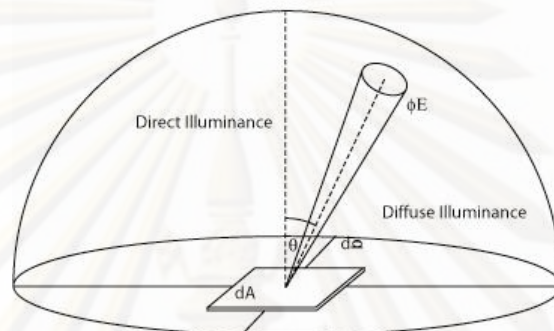
รูปที่ 2.12 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ

Direct illuminance และ Diffuse illuminance

ที่มา : เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2547: 12.

Sky luminance

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศของโลกจะถูกกระเจิงโดยโมเลกุลของอากาศ ฝุ่น ละออง และเมฆ เกิดเป็นรังสีกระจาย ซึ่งสายตามนุษย์รับรู้ได้ในรูปของความเข้มของแสงสว่างจาก ส่วนต่างๆของท้องฟ้า หรือ Sky luminance

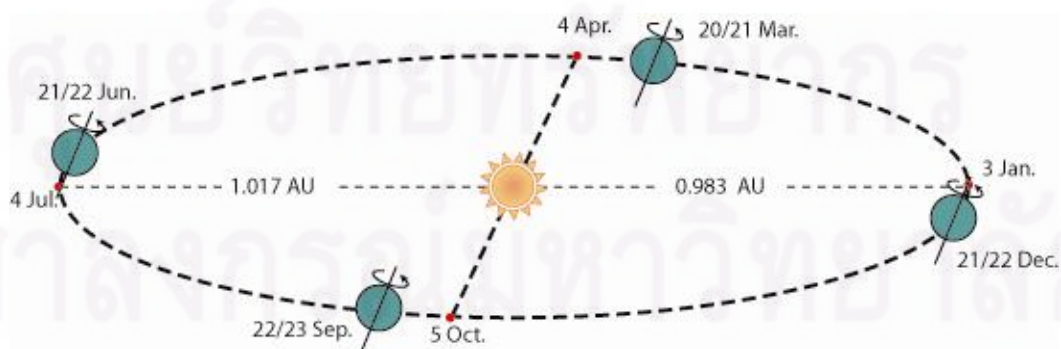


รูปที่ 2.13 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของความเข้มของแสงสว่าง จากส่วนต่างๆของท้องฟ้าหรือSky luminance
ที่มา : เสริม จันทรฉาย และคณะ, 2547: 13.

2.4.3 สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์

2.4.3.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี โดยมีความรีเท่ากับ 0.016722 มีระยะกึ่งแกนหลัก (Semi-major axis) 1.4968×10^8 กิโลเมตร โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุด โฟกัสของวงรี



รูปที่ 2.14 แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
ที่มา : เสริม จันทรฉาย และคณะ, 2547

ระนาบของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เรียกว่า ระนาบสุริยวิถี (Ecliptic plane) แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยวิถี $23 \frac{1}{2}$ องศา ดังนั้น ระนาบศูนย์สูตร (Equatorial plane) ของโลกจึงทำมุมกับระนาบสุริยวิถี $23 \frac{1}{2}$ องศาด้วยการที่แกนหมุนของโลกเอียงทำให้โลกหันซีกเหนือและซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากน้อยต่างกันในขณะที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยโลกจะหันซีกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน หรือโซลส์ติกส์ฤดูร้อน (Summer solstice) ณ ตำแหน่งนี้ กลางวันของซีกโลกเหนือจะยาวที่สุด โลกจะหันซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม หรือโซลส์ติกส์ฤดูหนาว (Winter solstice) ดังนั้นการเกิดฤดูกาลจึงเป็นผลมาจากการที่แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยวิถี

เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีระยะเฉลี่ยเท่ากับ 1.496×10^8 กิโลเมตร หรือ 1 หน่วยดาราศาสตร์ (Astronomical Unit, AU) โลกจะอยู่ที่ตำแหน่งใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด (Perihelion) ที่ระยะห่าง 0.983 AU หรือในวันที่ 3 มกราคม และอยู่ที่ตำแหน่งไกลสุด (Aphelion) ที่ระยะห่าง 1.017 AU ในวันที่ 4 กรกฎาคม ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีผลต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก

2.4.3.2 ทรงกลมท้องฟ้าและทางเดินปรากฏของเทหวัตถุ

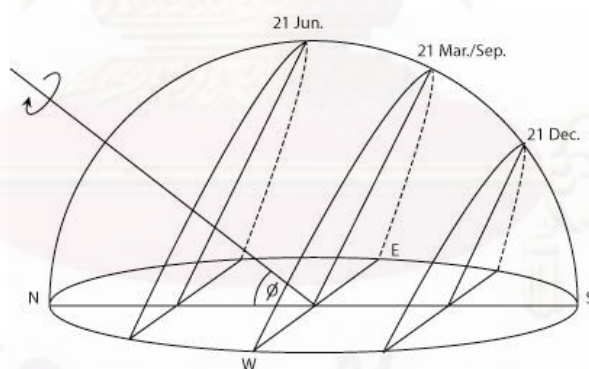
โลกจะโคจรรอบดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก โดยโลกจะหมุนรอบตัวเองไปในทิศเดียวกันด้วย หากยืนอยู่ที่ผิวโลก ณ ตำแหน่งละติจูด ϕ และลองจิจูดใดๆ ตัวเราก็จะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับผิวโลก และหากไม่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อมองไปรอบๆ จะเห็นขอบฟ้ากลม เนื่องจากสายตาค้นมองได้ไกลสุดเท่ากันทุกทิศทาง และเมื่อแหงนมองดูข้างบนจะเห็นท้องฟ้าเป็นทรงครึ่งวงกลมครอบเราอยู่ เนื่องจากเรารับรู้แสงที่มาจากท้องฟ้าซึ่งเกิดจากการกระเจิงของบรรยากาศเข้าตาเราเท่ากันทุกทิศทาง

เมื่อเทียบกับโลก ดวงดาวต่างๆ ซึ่งอยู่ไกลมากจะถือว่าอยู่นิ่งกับที่เมื่อเทียบกับการเคลื่อนไหวของโลก โดยวัตถุบนโลกจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการหมุนรอบตัวเองของโลกจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกผ่านดวงดาวต่างๆ โดยวัตถุบนโลกจะรู้สึกเสมือนว่าเป็นฝ่ายหยุดนิ่ง และดวงดาวต่างๆ เป็นฝ่ายเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกรอบแกน

หมุนซึ่งขนานกับแกนหมุนของโลก โดยเรียกแกนหมุนนี้ว่าแกนหมุนท้องฟ้า โดยระนาบของพื้นโลกเรียกว่า ระนาบขอบฟ้า (Horizontal plane) โดยแกนหมุนท้องฟ้าจะทำมุมกับระนาบขอบฟ้าเท่ากับละติจูด ณ ตำแหน่งที่วัตถุตั้งอยู่บนโลก

2.4.3.3 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์

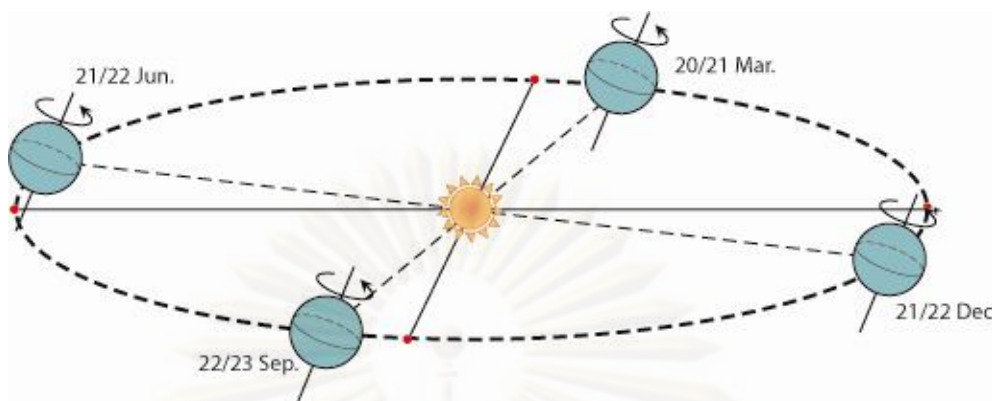
ดาวเคราะห์และดวงอาทิตย์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้โลก จะมีการเปลี่ยนระนาบการเคลื่อนที่บนท้องฟ้าไปตามเวลาในรอบปี ส่งผลให้ตำแหน่งเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก โดยในวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคม และ 22 หรือ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์จะอยู่ในระนาบเดียวกับอิกเวเตอร์โลก ส่วนในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน ดวงอาทิตย์จะอยู่เหนือระนาบอิกเวเตอร์มากที่สุด และวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม ดวงอาทิตย์จะอยู่ใต้ระนาบอิกเวเตอร์มากที่สุด ดังนั้นระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า จึงเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และเนื่องจากระนาบอิกเวเตอร์ของโลกทำมุมกับระนาบสุริยวิถี $23 \frac{1}{2}$ องศา ดังนั้นทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์จึงอยู่ห่างจากระนาบอิกเวเตอร์มากที่สุด $23 \frac{1}{2}$ องศา โดยลักษณะทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าแสดงตามรูป 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

ที่มา : เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2547

จากรูป 2.15 จะเห็นว่า ช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือขอบฟ้า หรือความยาวของกลางวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในรอบปี และขึ้นกับตำแหน่งเส้นรุ้งของผู้สังเกต โดยช่วงฤดูร้อนดวงอาทิตย์จะอยู่ทางเหนือของศูนย์สูตรท้องฟ้า และมีกลางวันยาวกว่า ในช่วงฤดูหนาวซึ่งดวงอาทิตย์อยู่ทางใต้ของศูนย์สูตรท้องฟ้า



รูปที่ 2.16 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับศูนย์สูตรของโลก
ที่มา : เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2547

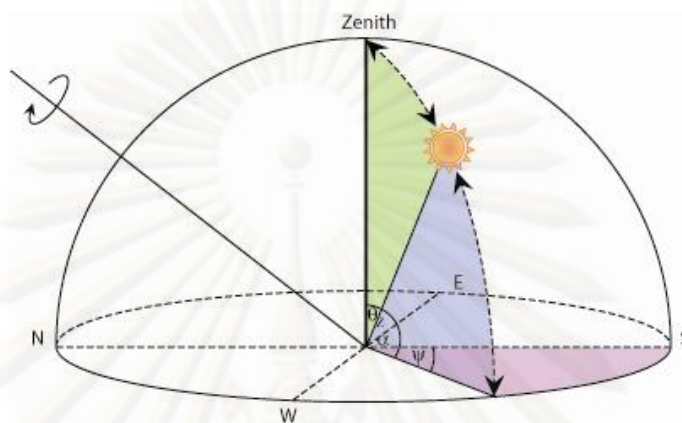
2.4.4.4 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ อาจบอกด้วยมุมหรือบอกด้วยส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้า (Celestial sphere) ที่รองรับมุมดังกล่าวก็ได้ ในงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ มีการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ 2 ระบบดังนี้

2.4.4.4.1 ระบบอาซิมุท – อัลติจูด (Azimuth – Altitude system) ระบบนี้ใช้มุม 2 มุมเป็นตัวบอกตำแหน่งได้แก่

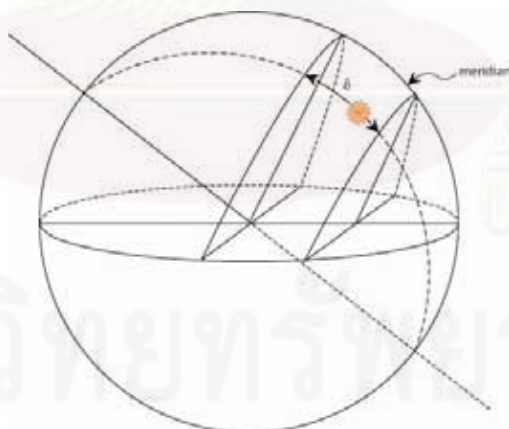
1. มุมอาซิมุท (Azimuth, Ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ไปยังเงา (Projection) บนระนาบขอบฟ้าของเส้นตรง ซึ่งเชื่อมระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ โดยกำหนดว่า ถ้าเงาดังกล่าวอยู่ด้านตะวันออก มุมอาซิมุทมีค่าเป็นบวก และทางตะวันตกมีค่าเป็นลบ ดังนั้น $-180 < \Psi < 180$ องศา
2. มุมอัลติจูด (Altitude, α) เป็นมุมเงย ณ ตำแหน่งผู้สังเกตของเส้นตรงซึ่งเชื่อมระหว่างดวงอาทิตย์กับผู้สังเกต จะมีค่าจาก 0 ถึง 90 องศา สำหรับ มุมที่อยู่ระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์เรียกว่ามุมเซนิท (Zenith angle, θ_z) ซึ่งสามารถใช้อธิบายตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้เช่นกัน โดยที่ $\theta_z = 90 - \alpha$

โดยที่ค่าอาซิมุทและอัลติจูดจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนดวงอาทิตย์ตก และเปลี่ยนแปลงตามวันในรอบปี



รูปที่ 2.17 แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบอาซิมุท - อัลติจูด (ที่มา : เสริม จันทรฉาย และคณะ, 2547)

2.4.4.4.2 ระบบศูนย์สูตร (Ealtorial system) ระบบนี้ใช้มุมหรือส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้า ตามรูปที่ 2.20 เป็นตัวบอกตำแหน่งดังนี้



รูปที่ 2.18 แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบศูนย์สูตร (ที่มา : เสริม จันทรฉาย และคณะ, 2547)

เดคลิเนชัน (Declination, δ) เป็นส่วนโค้งของวงกลมใหญ่ (Great circle) ที่ผ่านขั้วทั้งสองของทรงกลมท้องฟ้าระหว่างเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ากับทางเดินของดวงอาทิตย์ตามรูป มีค่าอยู่ระหว่าง $-23 \frac{1}{2} < \delta < 23 \frac{1}{2}$ องศา ถือว่ามีค่าคงที่ในแต่ละวันและมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปี

2.4.4.5 มุมชั่วโมง (Hour angle , ω)

เป็นมุมที่ขั้วของทรงกลมท้องฟ้า (Celestial pole) หรือส่วนโค้งผ่านดวงอาทิตย์และขั้วทั้งสองของทรงกลมท้องฟ้า มีค่าเป็นบวกเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ทางตะวันออกของเมอริเดียน และเป็นลบเมื่ออยู่ทางตะวันตกของเมอริเดียน

2.4.4.6 เวลาและตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ตามกฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ของเคปเลอร์ (Kepler) ดาวเคราะห์ต่างๆ รวมถึงโลกจะโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนวงโคจรมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ช่วงเวลาของผู้สังเกตบนพื้นโลกที่เห็นดวงอาทิตย์นั้นไม่เท่ากัน การใช้เวลาที่อาศัยดวงอาทิตย์เป็นหลัก (เวลาดวงอาทิตย์ : Solar time) จึงไม่สะดวกในการเปรียบเทียบเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการกำหนดเวลาที่สม่ำเสมอขึ้น โดยการนำเวลาดวงอาทิตย์ในวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1900 มาแบ่งเป็น 84,000 ส่วน เรียก 1 ส่วนว่า 1 วินาที และเรียกเวลานี้ว่าเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (Solar mean time) ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือชนิดที่คงที่ต่างๆ เช่น ตูมนาฬิกา และกำหนดว่า เวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย ณ เมืองกรีนวิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษ เป็นเวลาสากล (Universal time) หรือเวลากรีนวิช (Greenwich Mean Time, GMT) ในประเทศต่างๆ จะแบ่งเวลาออกเป็นเขตๆ เทียบกับเวลากรีนวิช ในแต่ละเขตจะมีเส้นลองจิจูดมาตรฐาน (Standard Longitude, L_s) และในเขตนั้นๆ จะใช้เวลาเดียวกัน เส้นลองจิจูดนี้จะห่างจากกรีนวิชเป็นจำนวนเท่าๆ ของ 15 องศา เช่น เส้นลองจิจูดมาตรฐานของประเทศไทยเท่ากับ 105 องศา (15×7) นั่นคือเวลาของประเทศไทยจะเร็วกว่าเวลากรีนวิช 7 ชั่วโมง เวลาในแต่ละเขตนี้มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า เวลามาตรฐานท้องถิ่น (Local Standard Time, LST) เป็นเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกา (Clocktime) และใช้ในชีวิตประจำวันนั่นเอง

2.5 สภาพลักษณะท้องฟ้า (Sky conditions)

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

2.5.1 Overcast sky

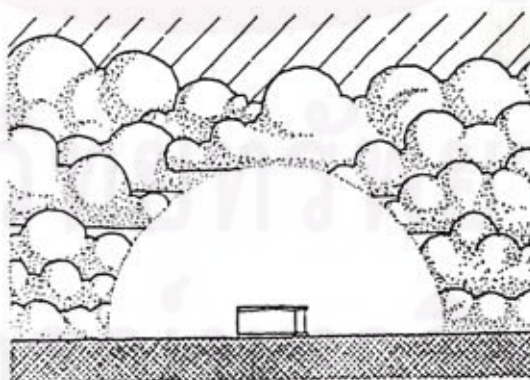
คือลักษณะท้องฟ้าที่มีละอองน้ำกระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศสูง มีปริมาณเมฆปกคลุมมากกว่า 70% ขึ้นไป เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านจะเกิดการสะท้อนและหักเหของแสงอาทิตย์เกือบเท่ากันในทุกทิศทาง ซึ่งส่งผลให้ท้องฟ้าแบบ Overcast sky มีลักษณะเป็นสีขาว (White-colored sky) สามารถหาได้จากสมการที่ 9 (B. Stein and J.S. Reynolds, 1992:973) คือ

$$L_A = L_Z(1 + 2 \sin A)/3 \quad (9)$$

เมื่อ L_A คือความส่องสว่างท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือแนวระนาบนอน (ในทุกทิศทาง)

L_Z คือความส่องสว่างท้องฟ้าที่จุดสูงสุด (Zenith)

ดังนั้น ที่ตำแหน่งแนวระนาบนอน (Horizontal) ที่มุม $A = 0$ องศา ค่า $L_A = L_Z/3$ ดังนั้นอัตราความสว่างที่บริเวณยอดโดม (Zenith) เมื่อเทียบกับบริเวณฐานของโดม (Horizon) เท่ากับ 3 : 1

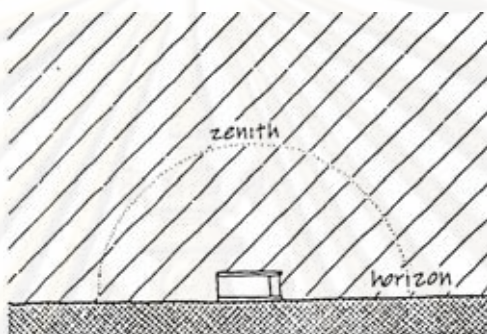


รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast sky

(ที่มา : G.Z. Brown and M. Dekay, 2001)

2.5.2 Clear sky

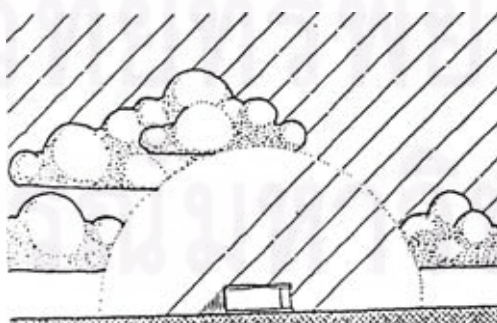
เป็นสภาพท้องฟ้าโปร่ง ท้องฟ้ารูปแบบนี้มีลักษณะทั่วไปเป็นสีฟ้า เป็นสภาวะที่มีเมฆปกคลุมไม่เกิน 30% โดยมีค่าความสว่างสูงสุดบริเวณใกล้ดวงอาทิตย์และค่อยๆลดความสว่างจนกระทั่งมีค่าความสว่างต่ำสุดเมื่อวัดที่มุมห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะ 90 องศา โดยค่าความสว่างของท้องฟ้าจะมีความสว่างบริเวณฐานในแนวระนาบมากกว่าบริเวณด้านบน (Overhead plane) ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะของสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky
(ที่มา : G.Z. Brown and M. Dekay, 2001.)

2.5.3 Partly Cloudy Sky

เป็นลักษณะท้องฟ้าที่ไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จะมีลักษณะผสมกันระหว่างรูปแบบ Clear sky และ Overcast sky หรืออาจพิจารณาจากปริมาณเมฆที่ปกคลุม ท้องฟ้าที่จัดอยู่ในลักษณะ Partly cloudy sky จะมีปริมาณเมฆปกคลุมประมาณ 30% - 70% โดยทั่วไปจะให้ค่าการส่องสว่างที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับแสงที่ได้จากท้องฟ้าชนิดอื่น โดยมีระดับความส่องสว่างของท้องฟ้าแบบโปร่งประมาณ 10-15% ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนแสงจากเมฆ ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของสภาพท้องฟ้าแบบ Partly cloudy sky
(ที่มา : G.Z. Brown and M. Dekay, 2001)

พิรุฬห์รัตน์ บุรีประเสริฐ (2543) กล่าวว่า ผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความสว่างภายนอกตลอดปี พ.ศ.2542 จากข้อมูลที่มีความถี่ในการเก็บบันทึกผลทุก 5 นาทีเฉพาะในช่วงเวลา 08:00 - 17:00 น. นำมาจัดกลุ่มข้อมูลตามสภาพท้องฟ้า 3 ประเภทด้วยวิธีอัตราส่วนท้องฟ้า (Sky ratio) จากพลังงานรังสีกระจายต่อพลังงานรังสีรวม พบว่าสภาพท้องฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) จำนวน 44% เป็นท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (Cloudy sky) จำนวน 33% และเป็นท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky) จำนวน 23%

2.6 การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารนั้น เพื่อให้เกิดความสว่างแก่อาคาร โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแสงประดิษฐ์ในอาคารได้ มีข้อดีคือสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้แก่อาคาร

ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการให้ความสว่างแก่อาคารนั้น ในแต่ละช่วงเวลาจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งในการนำแสงธรรมชาติไปใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้น ไม่ควรก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคาร รวมถึงสภาวะที่ไม่สบายตาของผู้ใช้อาคารเช่นกัน ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมระดับของแสงสว่างจากธรรมชาติให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม

การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารนั้น มี 2 วิธีหลักๆ คือ (พีรส์ เหล่าไพศาลศักดิ์, 2540.)

1. แสงที่เข้ามาจากด้านข้าง (Side lighting)
2. แสงที่เข้ามาจากด้านบน (Top lighting)

โดยแสงที่ถือว่ามีประสิทธิภาพสูงในการให้แสงสว่างกับพื้นที่ทำกิจกรรมในอาคาร คือ แสงที่มาจากด้านบน ซึ่งมีปริมาณความสว่างมากกว่าแสงที่เข้ามาจากด้านข้าง ในทางกลับกัน แสงก็นำความร้อนเข้าสู่อาคารเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการใช้แสงธรรมชาติให้เกิดประสิทธิภาพ คือ การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยหลีกเลี่ยงการใช้แสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่มากับรังสีความร้อน หรืออาจทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแสงที่ส่องเข้ามาโดยตรงกับบริเวณข้างเคียง ก่อให้เกิดสภาวะไม่สบายตาของผู้ใช้อาคารได้

ในการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารที่เกิดจากแสงธรรมชาติ แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ Lumen Method, Daylight Factor และ Flux Transfer Method แต่ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเพียงวิธี Daylight Factor เท่านั้น

2.6.1 การคำนวณแสงธรรมชาติโดยวิธี Daylight Factor Method

เป็นวิธีในการคำนวณระดับความส่องสว่างภายในอาคารที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ โดยระดับแสงสว่างภายในจะขึ้นกับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อแสงสว่างและปริมาณความเข้มของแสง นอกจากนี้ยังขึ้นกับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่ซึ่งแปรเปลี่ยนตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน (อธินันท์ ไสภาพงศ์, 2543) โดยองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติ โดยทั่วไปพิจารณาจากองค์ประกอบดังนี้

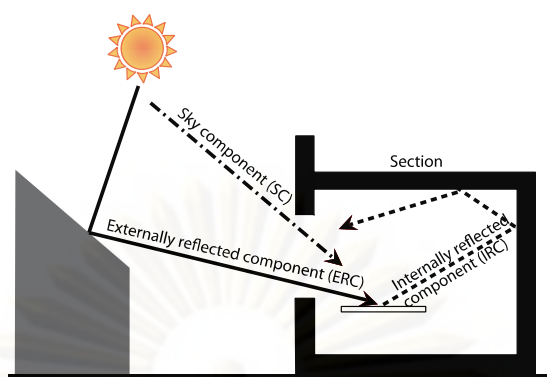
1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component, SC) เป็นแสงธรรมชาติจากภายนอกที่เข้าสู่อาคารโดยตรง โดยแสงธรรมชาติจะมีปริมาณความส่องสว่างที่มากหรือน้อยตามสภาพของท้องฟ้าที่แตกต่างกัน
2. องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (Externally reflected component, ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียงอาคาร และสะท้อนวัตถุดังกล่าวเข้ามาสู่ตัวอาคาร เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้น
3. องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายในอาคาร (Internal reflected component, IRC) เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่อยู่ภายในอาคาร จากแสงที่มาจากองค์ประกอบจากท้องฟ้าและองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก ปริมาณแสงจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้นๆ เช่นเดียวกับองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร

สมการมาตรฐานค่า Daylight Factor จากตัวแปรขององค์ประกอบข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

$$DF = SC + ERC + IRC \quad (10)$$

ในกรณีที่ผนังภายในอาคารมีการใช้งานมานาน หรือมีความสกปรก สมการจะเพิ่มค่าการบำรุงรักษา (Maintenance factor, MF) เข้ามาในสมการดังนี้

$$DF = SC + ERC + [(MF)(IRC)] \quad (11)$$



รูปที่ 2.22 แสดงองค์ประกอบในการคำนวณ Daylight Factor
ที่มา : www.learn.londonmet.ac.uk, [15/02/2009]

โดยการหาค่า Daylight Factor (DF) นั้นใช้หลักในการกำหนดอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคารในระนาบพื้นผิว (E_{interior}) ต่ค่าความส่องสว่างภายนอกของอาคาร (E_{exterior}) ในระนาบเดียวกัน โดยความสว่างที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่ง และทิศทางของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามวันและช่วงเวลา โดยมีสมการมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$DF = \frac{\text{ค่าความส่องสว่างภายใน}}{\text{ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร(ไม่คิดแสงแดดตรง)}} \times 100 \quad (12)$$

การกำหนดค่าของ Daylight Factor ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่หนึ่งๆ พิจารณาได้ตามตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Daylight Factor ที่เพียงพอต่อการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ

ลักษณะการใช้งาน	ค่า DF%
การอ่านหนังสือ การทำงานปกติในช่วงเวลาปกติที่ไม่ได้มีการใช้สายตาในกิจกรรมหนึ่งๆนานเกินไป	1.5 – 2.5
การอ่านหนังสือ หรือการใช้สายตาในการทำงานในช่วงเวลานาน พอสสมควร หรือการทำงานที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย	2.5 – 4.0
การทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้	4.0 – 8.0

ที่มา : Millet and Bedrick ,1980 อ้างอิงใน Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 197

2.7 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง

การเลือกใช้แสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ในห้างสรรพสินค้า¹นั้นมีความสำคัญ เนื่องจากห้างสรรพสินค้ามีความต้องการแสงสว่างค่อนข้างมาก โดยแหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปควรให้แสงครบทุกสีและสามารถนำมาใช้เน้นสินค้าเป็นจุดๆได้

ปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้า รวมไปถึงพื้นที่ในการวางขายสินค้าต่างๆ มีหลายส่วนที่ต้องนำมาพิจารณา โดยมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคาร (พ.ศ. 2546) มาตรฐาน TIEA-GD003:2003

ตารางที่ 2.2 แสดงระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่และกิจกรรมต่างๆในอาคาร

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	E_m lux	UGR,	R_a ,	หมายเหตุ
พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป				
โถงทางเข้าอาคาร	100	22	60	
โถงนั่งพัก	200	22	80	
พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100	28	40	ระหว่างทางเข้า ออก ให้ระวังการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงแบบทันที
บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150	25	40	
พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150	25	40	
ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร	200	22	80	
ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ	200	25	80	
ห้องเก็บของ	50	25	60	
ห้องบรรจุหีบห่อ ขนถ่ายวัสดุ	300	25	60	
ร้านค้าปลีก				
พื้นที่ขาย (ขนาดเล็ก)	300	22	80	
พื้นที่ขาย (ขนาดใหญ่)	500	22	80	
พื้นที่เก็บเงิน/ห่อ บรรจุ	500	19	80	

ที่มา : สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย

1 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. เอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ การอนุรักษ์พลังงานสำหรับห้างสรรพสินค้า

- โดย คอลัมน์ที่ 1 แสดงลักษณะห้อง ลักษณะงาน หรือกิจกรรม
- คอลัมน์ที่ 2 แสดงค่า $E_m Lux$: Minimum Illuminance คือความส่องสว่างขั้นต่ำโดยเฉลี่ยของพื้นที่ที่ใช้ทำกิจกรรมในแถวที่ 1 ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด
- คอลัมน์ที่ 3 แสดงค่า UGR (Limiting Unified Glare Rating) คือดัชนีบอกค่าระดับความไม่สบายตามากที่สุดที่ยอมรับได้จากระบบแสงสว่าง ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน
- คอลัมน์ที่ 4 แสดงค่า colour – rendering (R_a) คือค่าดัชนีความถูกต้องของสีขั้นต่ำ โดยควรเลือกชนิดหลอดไฟที่ให้ค่าความถูกต้องของสีไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด
- คอลัมน์ที่ 5 แสดงคำแนะนำต่างๆ

เมื่อนำมาตรฐานต่างๆมาทำการเปรียบเทียบแล้ว จะได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างของมาตรฐานต่างๆ

ประเภทการใช้งาน	กฎกระทรวง พ.ศ. 2549	Sans 10114-1:2005	NZS 6703 : 1984	ISO 8995 CIE S 008/E	TIEA-GD003:2003	IS : 3646 (Part II) -1966
General areas						
Entrance halls	200	-	-	100	100	-
Corridors, passageways	50	-	100	100	100	-
lifts	-	-	150	150	-	-
External covered ways	-	-	30	-	-	-
Loading ramps /bays	-	-	-	150	150	-
Canteen	200	-	-	100	200	-
Retailing						
Sales areas (small)	-	300	-	300	300	-
Sales areas (large)	-	500	-	500	500	-
Till area, wrapper table	-	500	-	500	500	-
General work areas	-	300	-	-	-	150-300
Stairs and corridors	-	200	-	-	-	-
Stockrooms	-	200	-	150	-	200
Shops						
Conventional with counters	-	-	500	-	-	-
Conventional with wall displays	-	-	500	-	-	-
self - service	-	-	500	-	-	-
Supermarket	-	-	500	-	-	-
Hypermarket	-	-	1000	-	-	-

โดย SANS 10114 – 1 : 2005 คือ SOUTH AFRICAN NATIONAL STANDARD Edition 3
 NZS 6703 : 1984 คือ NEW ZEALAND STANDARD
 ISO 8995 CIE S 008/E คือ INTERNATIONAL STANDARD
 IS : 3646 (Part II) -1966 คือ INDIAN SRANDARD

ที่มา : สมาคมสถาปนิกสยาม , 2539.
 : INDIAN STANDARD, 1966.
 : International Standard, 2002.
 : New Zealand Standard, 1984.
 : South African National Standard, 2005.

2.8 ค่าการส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร

ในการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้งานในอาคาร จำเป็นต้องรู้ข้อมูลความเข้มแสงสว่างในบริเวณที่ต้องการสร้างอาคาร ซึ่งโดยทั่วไป ข้อมูลความเข้มแสงสว่างจะได้จากการจัดตั้งสถานีวัด และทำการวัดต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี จึงมีการพัฒนาแบบจำลองในการคำนวณค่าความเข้มของแสงสว่าง และนำมาจัดแสดงในรูปของข้อมูลรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนและเฉลี่ยต่อปีของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปพัฒนาด้านการออกแบบเครื่องระบบการให้แสงสว่างสำหรับใช้ในงานต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อไป (เสริม จันทรินาย และคณะ, 2547)

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูล sky luminance ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร (klux)

เวลาเดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
9.00-10.00	47.8	55.0	63.8	65.9	73.5	74.8	71.6	70.3	69.7	63.6	59.9	53.1
10.00-11.00	66.3	73.9	83.9	81.7	87.1	89.7	84.4	85.6	85.9	74.2	73.3	69.8
11.00-12.00	79.9	92.8	99.6	86.2	88.8	89.6	85.2	87.6	85.7	75.7	84.7	81.2
12.00-13.00	90.2	106.9	104.7	99.3	102.0	99.5	98.8	101.0	94.3	87.0	89.9	94.9
13.00-14.00	82.8	99.4	106.7	100.5	95.7	88.5	87.2	93.4	89.0	82.9	76.5	78.1
14.00-15.00	70.0	87.3	92.0	88.6	75.2	85.3	78.4	94.4	71.9	65.6	61.5	63.6
15.00-16.00	51.2	68.8	71.9	68.7	56.5	63.2	46.4	59.4	53.0	51.9	41.3	51.2

ที่มา : เสริม จันทรินาย และคณะ, 2547.

2.9 ลักษณะและรูปแบบของร้านค้าและซูเปอร์สโตร์

ลักษณะร้านค้าในประเทศไทยนั้น จะมีลักษณะเป็นกล่องขนาดใหญ่ที่มีการเปิดรับช่องแสง ด้านข้างได้น้อย โดยมีตั้งแต่ร้านค้าขนาดเล็ก ขนาดกลาง จนถึงซูเปอร์สโตร์ขนาดใหญ่ ดังรูปที่



รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะร้านค้าที่มีขนาดเล็ก

ที่มา : <http://iwhale.tumblr.com/post/54187880>[27/09/09]

: <http://allaboutpai.com/intro/>[27/09/09]



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะร้านค้าที่มีขนาดกลาง

ที่มา : <http://market.mthai.com/product/121635>[27/09/09]

: http://www.businesssthai.co.th/bt/content.php?data=413058_Business[27/09/09]



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะร้านค้าที่มีขนาดใหญ่

ที่มา : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carrefour_at_Faa'a_French_Polynesia.JPG [27/09/09]

http://pak-soi.com/view_news.php?id=53

จากการสำรวจร้านค้าในกรุงเทพมหานคร ร้านค้าขนาดเล็กมีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานประมาณ 3 – 3.5 เมตร ร้านค้าขนาดกลางมีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานประมาณ 4 – 5 เมตร ส่วนซูเปอร์สโตร์ขนาดใหญ่จะมีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานประมาณ 7 – 10 เมตร และมีความสูงจากพื้นถึงแสงประดิษฐ์อยู่ที่ 4.5 – 6 เมตร ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะภายในซูเปอร์สโตร์

2.10 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างงานวิจัยที่ 1

“ Daylight Performance of Light pipes “ โดย G.OAKLEY,S.B.RIFFAT และ L.SHAO ปี 2000

การวิจัยนำเสนอคุณสมบัติของแสงธรรมชาติที่ถูกนำเข้าสู่ตัวอาคารโดยผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง โดยสถานที่ในการทดลองแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

1. Beacon Energy Centre เดิมเป็นอาคารทางการเกษตรและได้ปรับปรุงเป็นอาคารสำนักงาน โดยห้องที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1.1. Workshop ทำการติดตั้งท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 330 mm. ภายในทาสีขาว จำนวน 2 ท่อ โดยมีคุณสมบัติของท่อนำแสง ดังนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของท่อนำแสงแนวตั้งของ Beacon Energy Centre-work shop

ลำดับ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความยาว	Aspect Ratio	ระยะห่าง
1	330 mm.	4 m. (ท่อตั้ง 3 ตำแหน่ง)	12.1	1.32 m. จากผนังด้านที่ 4 1.16 m. จากผนังด้านที่ 3 2.08 m. จากพื้นถึงศูนย์กลางของ diffuser
2	330 mm.	2.77 m. (ท่อตรง)	8.4	1.55 m. จากผนังด้านที่ 1 0.57 m. จากผนังด้านที่ 2 2.10 m. จากพื้นถึงศูนย์กลางของ diffuser

1.2 Small office ทำการติดตั้งท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 330 mm. จำนวน 2 ท่อ จำนวน 2 ท่อ โดยมีคุณสมบัติของท่อนำแสงดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของท่อนำแสงแนวตั้งของ Beacon Energy Centre-office

ลำดับ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความยาว	Aspect Ratio	ระยะห่าง
3	330 mm.	1.22 m.	4.6	2.50 m. จากพื้นถึงศูนย์กลางของ diffuser
4	330 mm.	1.22 m.	4.6	2.50 . จากพื้นถึงศูนย์กลางของ diffuser

2. Beacon Farm House ทำการติดตั้งท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 435 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อ ในตำแหน่ง 5 และ 6 โดยมีคุณสมบัติของท่อ นำแสงดังนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติของท่อนำแสงแนวตั้งของ West Beacon Farm House

ลำดับ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความยาว	Aspect Ratio	ระยะห่าง
5	435 mm.	0.90 m.	2.1	2.15 m. จากพื้นถึงศูนย์กลางของ diffuser
6	435 mm.	0.90 m.	2.1	2.23 m. จากพื้นถึงศูนย์กลางของ diffuser

วิธีในการวัดแสง

ทำการวัดแสงทุกครั้งชั่วโมง โดยวัดเปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร โดยทำการปิดช่องเปิดหน้าต่างและประตูเพื่อไม่ให้มีแสงสว่างภายนอกเข้ามาภายในอาคาร

ผลการทดลอง

1. Beacon Energy Centre

1.1. Work shop

สภาพท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจาก Clear sky ไปสู่ Overcast sky โดยพื้นที่ที่ได้รับแสงมากที่สุดคือบริเวณใต้ท่อนำแสงแนวตั้งมีค่า 461 lux ที่เวลา 11.30 น. และพื้นที่ที่ได้รับแสงน้อยที่สุดคือบริเวณที่ห่างจากท่อนำแสงแนวตั้งมากที่สุดมีค่า 4 lux ที่เวลา 15.30 น.

ท่อนำแสงแนวตั้งที่ 2 มีประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาในอาคารมากกว่าท่อนำแสงแนวตั้งที่ตำแหน่ง 1 ถึง 43% อาจเนื่องมาจากผลของการงอท่อ 3 ตำแหน่ง กล่าวได้ว่า จะลดประสิทธิภาพของความส่องสว่างต่อการงอท่อ 1 ตำแหน่งถึง 14%

ค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของทั้งห้องคือ 78 lux และค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างภายนอกคือ 44,000 lux ฉะนั้นค่า Daylight Factor อยู่ที่ 0.18% โดยค่า Daylight Factor ที่ตำแหน่ง 1 เท่ากับ 0.3% และที่ตำแหน่ง 2 เท่ากับ 0.5%

1.2. Office

สภาพท้องฟ้าในช่วง 9.30 – 10.30 น. มีเมฆเล็กน้อย และในช่วงเวลา 10.30 – 15.30 น. ท้องฟ้าใส (Clear sky) ค่าความส่องสว่างที่มากที่สุดคือ 518 lux เมื่อเวลา 13.00 น. และมีค่าความส่องสว่างต่ำที่สุดคือ 157 lux เมื่อเวลา 9.30 น.

ท่อนำแสงแนวตั้งในตำแหน่ง 4 มีความส่องสว่างมากกว่าท่อนำแสงแนวตั้งที่ตำแหน่ง 3 โดยความแตกต่างอาจเนื่องมาจากขนาดของตัวกระจายแสง (Diffuser) เนื่องจากในตำแหน่ง 3 ตัวกระจายแสงของท่อนำแสงมีขนาดเพียงครึ่งหนึ่งของท่อนำแสงในตำแหน่ง 4

ค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของทั้งห้องคือ 326 lux โดยค่าความส่องสว่างภายนอกคือ 86,327 lux ดังนั้นค่า Daylight Factor ของห้องนี้คือ 0.38% โดยค่า Daylight Factor เฉลี่ยของตำแหน่ง 3 เท่ากับ 0.47% และค่าเฉลี่ยของตำแหน่ง 4 เท่ากับ 0.51% แต่ที่เวลา 14.00 น. ค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ของทั้งสองตำแหน่งมีค่าเท่ากัน

2. West Beacon Farm – residential

สภาพท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง Clear sky ถึง Medium cloudy sky ค่าความส่องสว่างที่มากที่สุดคือ 1,538 lux ที่เวลา 13.00 น. ค่าความส่องสว่างที่ต่ำที่สุดคือ 41 lux ที่เวลา 11.30 น.

ตำแหน่ง 6 มีค่าความส่องสว่างที่มากกว่าตำแหน่ง 5 อาจเนื่องมาจากลักษณะห้องเนื่องจากห้องที่ติดตั้งท่อนำแสงที่ตำแหน่ง 6 มีขนาดเพียง 1.3 ม. x 2 ม. ทำให้แสงมีการกระจายตัวที่น้อยกว่า

ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยคือ 366 lux โดยค่าเฉลี่ยของค่าความส่องสว่างภายนอกคือ 76,000 lux ดังนั้นค่า Daylight Factor ของห้องนี้คือ 0.48% โดยค่า Daylight Factor เฉลี่ยของตำแหน่ง 5 เท่ากับ 1.0% และค่าเฉลี่ยของตำแหน่ง 6 เท่ากับ 1.2%

ผลสรุปการทดลอง

ในการทดลองประกอบด้วยท่อนำแสงแนวตั้งจำนวน 6 ท่อ ติดตั้งใน 3 สถานที่คือ Workshop, Office และ Residential เมื่อสรุปข้อมูลของทั้ง 6 ท่อนำแสงที่ติดตั้งใน 3 สถานที่ที่แตกต่างกัน ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2.8 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ท่อนำแสงเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาใช้ในอาคาร โดยท่อนำแสงที่มีประสิทธิภาพควรเป็นท่อนำแสงที่ตรง มีระยะสั้น มีค่า Aspect Ratio ต่ำ และมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางมาก

ตารางที่ 2.8 แสดงข้อมูลในการทดลองวัดปริมาณแสงสว่างของท่อนำแสงแนวตั้งของกรณีศึกษา

	Average Daylight factor	ลำดับ	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ม.)	Aspect Ratio	ระยะห่าง (จากพื้นถึงศูนย์กลางของDiffuser)	ปริมาณแสงสว่างเฉลี่ย (lux)	Daylight Factor (%)	ลักษณะของท่อ
Workshop	0.18%	1	330	4	12.1	2.08 m.	126	0.3	ท่อมีการติดตั้ง 3 ตำแหน่ง
		2	330	2.77	8.4	2.10 m.	220	0.5	ท่อตรง
Office	0.38%	3	330	1.22	4.6	2.50 m.	409	0.47	ท่อตรง , Diffuser มีขนาดครึ่งหนึ่ง
		4	330	1.22	4.6	2.50 m.	440	0.51	ท่อตรง
Farm	0.48%	5	435	0.92	2.1	2.15 m.	759	1.0	ท่อตรง
		6	435	0.92	2.1	2.23 m.	899	1.2	ท่อตรง , ติดตั้งในห้อง ขนาด 1.3 ม. x 2 ม.

ตัวอย่างงานวิจัยที่ 2

“ Tubular light guide evaluation “ โดย J. Mohelnikova ปีค.ศ. 2009

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาเรื่องลักษณะการสะท้อนของแสงที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง และลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ผ่านตัวกระจายแสง โดยมีจุดประสงค์เพื่อประเมินลักษณะการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นและค่าความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง เพื่อเป็นพื้นฐานในการออกแบบท่อนำแสงแนวตั้งต่อไป

ในส่วนของ การเก็บข้อมูลเรื่องตัวกระจายแสงที่ถูกส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง ใช้ท่อนำ แสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 เมตร 0.50 เมตร และ 0.75 เมตร ที่ความยาว 5 เมตร ในสภาพท้องฟ้าลักษณะต่างๆ ได้ผลลัพธ์คือ ในสภาพท้องฟ้าแบบ cloudy sky แสงที่วัดได้จะมีความสม่ำเสมอ และลักษณะการกระจายแสงจะเป็นวงกลมแบบสมดุลง 2 ข้างเท่ากันจากศูนย์กลางของตัวกระจายแสง ส่วนในสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky นั้น จะเกิดจุดที่มีความสว่างสูง และแสงที่ได้มีความสม่ำเสมอที่ต่ำกว่า

ในส่วนของ การเก็บข้อมูลภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ในลักษณะท้องฟ้าแบบ Clear sky มีข้อสรุปในงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ในส่วนของตัวรับแสงของท่อนำแสงแนวตั้ง วัสดุโปร่งแสงรูปทรงใดมีความเหมาะสมมากกว่ารูปทรงแบน
2. พื้นผิวของตัวกระจายแสงที่ผ่านท่อนำแสงมาแล้ว ควรมีรูปแบบที่ช่วยในการกระจายแสงที่จะส่องเข้าสู่ตัวอาคารให้มีความสม่ำเสมอ
3. วัสดุพื้นผิวภายในท่อนำแสงแนวตั้ง ควรมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูง และมีความมันเงา
4. สำหรับท่อนำแสงแนวตั้งที่สั้น ควรมีอุปกรณ์บังเงาของแสงที่จะส่องเข้าสู่ตัวอาคาร เนื่องจากอาจเกิดแสงสะท้อนในวันที่ท้องฟ้ามีแดดจัดได้
5. อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect Ratio) ที่แนะนำคือ 10 และไม่ควรเกิน 20 เพราะจะมีระดับความส่องสว่างที่ค่อนข้างต่ำ
6. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงไม่ควรน้อยกว่า 0.20 เมตร เพราะแสงจะสูญเสียพลังงานในการสะท้อนมาก
7. ท่อนำแสงแนวตั้งมีความเหมาะสมสำหรับสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky และจะให้ค่าความส่องสว่างที่ต่ำสำหรับสภาพอากาศแบบ Overcast sky

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเรื่องแสงสว่างและท่อนำแสง ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางและรูปแบบการวิจัย โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ 1) การกำหนดรูปแบบในการทดลอง เพื่อกำหนดสมมุติฐาน และตัวแปรที่ต้องการศึกษา 2) กำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนดไว้ 3) กำหนดขั้นตอนในการเก็บข้อมูล เพื่อให้กระบวนการในการทดลองมีความเรียบร้อย และเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

3.1 การกำหนดรูปแบบในการทดลอง

3.1.1 กำหนดสมมุติฐานในการทดลอง

- 3.1.1.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้งที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้ปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงเข้ามาในอาคารมากขึ้น
- 3.1.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของท่อนำแสงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสง (Aspect Ratio) ที่มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาในอาคารน้อยลง
- 3.1.1.3 ระยะเวลาสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณแสงสว่างที่วัดได้ ณ ระดับใช้งานลดลง

3.1.2 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงแนวตั้ง

ในการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้งนั้น อ้างอิงจากข้อมูลของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า ท่อนำแสงแนวตั้งในท้องตลาดมีรูปทรงเป็นวงกลมมีขนาดแตกต่างกันดังนี้

- Monodraught Ltd. วางจำหน่ายท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร 0.45 เมตร และ 0.53 เมตร

(ที่มา : <http://www.monodraught.co.uk> [07/01/2009])

- MaxiSolar® tubular skylight มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.31, 0.47 และ 0.64 เมตร
(ที่มา : <http://maxisolar.co.uk> [07/01/2009])
- Sun Dome Tabular Skylight มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25, 0.33 และ 0.53 เมตร
(ที่มา : <http://www.sun-dome.com> [07/01/2009])
- Tabular Direct มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25, 0.35 และ 0.55 เมตร
(ที่มา : <http://www.tubulardirect.com> [07/01/2009])
- Solartube มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25, 0.35 และ 0.53 เมตร
(ที่มา : <http://www.solatube.com> [07/01/2009])

จากการวิเคราะห์ พบว่าค่าที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายคือท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร งานวิจัยนี้จึงทำการเลือกเส้นผ่านศูนย์กลางที่ขนาด 0.30 เมตร และทำการกำหนดขนาดท่อนำแสงแนวตั้งที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวตั้งเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สตริที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

3.1.2.2 อัตราส่วนระหว่างความยาวของท่อนำแสงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสง

(Aspect Ratio)

Aspect Ratio คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้ง จากงานวิจัยของ M. Edmonds ที่ศึกษาเรื่อง Mirror Light Pipe (J. Callow, 2003: 26) ได้สรุปว่า Aspect Ratio ไม่ควรเกิน 6 ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงกำหนดค่าโดยใช้ค่า Aspect Ratio เท่ากับ 6 เป็นเกณฑ์ และศึกษาอัตราส่วนเพิ่มอีก 4 ค่า ดังนั้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกใช้ค่า Aspect Ratio เท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10

3.1.2.3 ระยะเวลาสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง

รูปแบบของซูเปอร์สตริที่มีลักษณะเป็นกล่องขนาดใหญ่ (Big box) นั้น ในปัจจุบันมีขนาดที่หลากหลายตั้งแต่ร้านค้าขนาดเล็กซึ่งมีระยะความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานประมาณ 3 – 3.5 เมตร ร้านค้าขนาดกลางซึ่งมีระยะความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานประมาณ

4 – 5 เมตร และซูปเปอร์สโตร์ขนาดใหญ่ซึ่งมีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานประมาณ 7 – 10 เมตร และมีความสูงจากพื้นถึงแสงประดิษฐ์อยู่ที่ 4.5 – 6 เมตร จากความแตกต่างกันด้านความสูงของอาคาร ใน การกำหนดตัวแปรจึงมุ่งเน้นให้สามารถนำผลการศึกษาไปปรับให้ใช้งานได้กับอาคารที่มีขนาดต่างๆกัน จึงกำหนดความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงเป็น 3 ระยะด้วยกันคือ

- ก) ความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร สำหรับอาคารขนาดเล็ก
- ข) ความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร สำหรับอาคารขนาดกลาง
- ค) ความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร สำหรับอาคารขนาดใหญ่

3.1.2.4 วันที่ทำการศึกษา

วันที่ทำการเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างประกอบด้วย

- ก) วันที่ 21 มิถุนายน (Summer solstice) เป็นวันที่บริเวณขั้วโลกเหนือจะเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด และเป็นวันที่กลางวันยาวนานที่สุด
- ข) วันที่ 21 กันยายน (Equinox) เป็นวันที่มีระยะเวลาของกลางวันและกลางคืนที่เท่ากัน
- ค) วันที่ 21 ธันวาคม (Winter solstice) เป็นวันที่ขั้วโลกเหนืออยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด และมีช่วงเวลากลางวันสั้นที่สุด

3.1.2.5 เวลาที่ทำการศึกษา

ซูปเปอร์สโตร์นั้นมีช่วงเวลาเปิดทำการตั้งแต่ 9.00 น. – 23.00 น. และร้านค้าที่มีขนาดกลางและขนาดเล็กบางประเภทจะเปิดทำการ 24 ชม. เช่น โลตัสเอ็กซ์เพรส 7-11 เป็นต้น จึงกำหนดช่วงเวลาในการวัดแสงคือ 10.00 น. – 16.00 น. โดยในการทดสอบนั้นจะวัดแสงในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ตามเวลา Solar Time สำหรับเวลา 10.00 น. จะเป็นช่วงเวลาเดียวกับ 14.00 น. เนื่องจากตำแหน่งดวงอาทิตย์จะอยู่ในตำแหน่งเดียวกันแต่คนละด้านของท้องฟ้า (ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย, 2542: 86)

3.2 การกำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสง

ในการเก็บข้อมูลงานวิจัย เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง และดวงอาทิตย์จำลอง (Heliodon) ที่ใช้ในการปรับหุ่นจำลองให้สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตามวันและเวลาที่ต้องการ โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือดังนี้

3.2.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณแสงสว่าง

ในการทดลองนี้ใช้ ลักซ์ มิเตอร์ เป็นเครื่องมือ ที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง โดยมีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือฟุตแคนเดิล (footcandle;fc) โดยมีหลักในการทำงานคือ เมื่ออนุภาคของแสง (Flux) ตกกระทบในบริเวณจุดรับแสง จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นในบริเวณจุดรับแสง ส่งผลให้เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดจะอ่านค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แล้วแปลงข้อมูลดังกล่าวมาเป็นหน่วยความส่องสว่าง ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ใช้ลักซ์มิเตอร์ยี่ห้อ INS รุ่น DX – 200 เป็นเครื่องมือวัดแสงที่มีช่วงในการวัดแสงอยู่ระหว่าง 0 – 200,000 ลักซ์ (ข้อมูลจาก Instruction Manual E Chroma meter xy-1, Minallta Camera co.,Ltd) เป็นการวัดค่าระดับความส่องสว่างภายนอกที่ตกกระทบลงบนระนาบแนวนอน ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะอุปกรณ์ในการวัดแสง ลักซ์มิเตอร์

3.2.1.2 ดวงอาทิตย์จำลอง² (Heliodon)

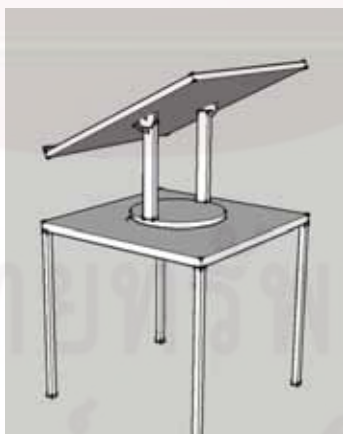
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเรื่องแสง ตามรูปที่ 3.2 โดยในการวิเคราะห์ต้องใช้หุ่นจำลองควบคู่กันด้วย มี 2 ลักษณะคือ

ก) จำลองการโคจรของดวงอาทิตย์เพื่อนำมาศึกษาอุปกรณ์กันแดด ทิศทางของแสงและเงาที่เกิดขึ้นโดยมีอุปกรณ์หลัก 2 ส่วนคือ

- ส่วนหลอดไฟ เป็นส่วนที่ใช้จำลองตำแหน่ง ของดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนของปี
- ส่วนฐาน ทำหน้าที่ยึดและปรับเปลี่ยนทิศทางของหุ่นจำลองให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการศึกษา

ข) ใช้ดวงอาทิตย์จริงเป็นต้นกำเนิดของแสง โดยมีรูปแบบตามรูปที่ 3.2 โดยใช้ประกอบกับ Sundial diagram การใช้อุปกรณ์สามารถกำหนดวันและเวลาที่ต้องการศึกษาได้ โดยการใช้ Sundial diagram (รูปที่3.3) ที่มีละติจูดตรงกันหรือใกล้เคียงกับละติจูดของอาคารที่จะทำการศึกษา

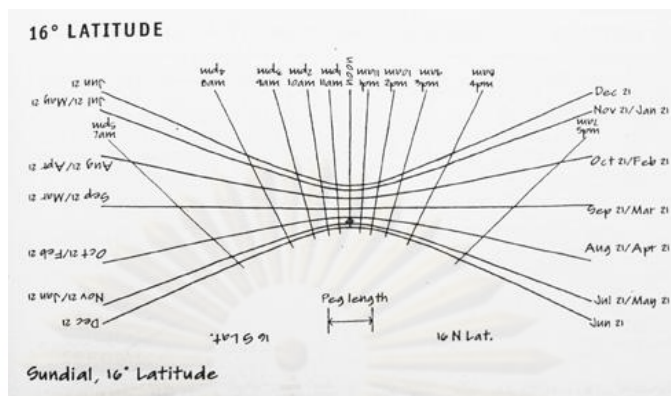
ซึ่งข้อดีของเครื่องมือคือมีขนาดกระทัดรัด เคลื่อนย้ายสะดวก ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย (พรพนชลัท สุริโยธิน,2544) โดยในงานวิจัยนี้ ลักษณะของ Heliodon ที่ใช้จะใช้ดวงอาทิตย์จริงเป็นต้นกำเนิดแสง



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเครื่องมือ Heliodon

² Portable Heliodon Instruction Manual.[ออนไลน์]

<http://daylighting.mit.edu/publications/InstructionsPortableHeliodonMIT.pdf>. [12/07/2552]



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของ Sundial Diagram
ที่มา : G.Z.Brown and M. Dedkay,2001:298.

3.2.2 หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง สำหรับอาคารประเภทชุปเปอร์สโตร์ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ การศึกษาได้มุ่งเน้นศึกษาความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงซึ่งมีรูปแบบต่างๆกันในขอบเขตเพียง 1 ท่อนำแสง จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่อนำแสงแนวตั้งสำหรับอาคาร ทั้งในด้านขนาดและรูปแบบของท่อนำแสงแนวตั้ง รวมถึงระยะห่างของท่อนำแสงแนวตั้ง

3.2.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง และการตรวจสอบ

วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง คือแผ่น MBF หนา 6 มม. ประกอบเป็นกล่องขนาด 0.80 x 0.80 เมตร ส่วนของฝากล่องสามารถปรับเลื่อนระดับได้ บริเวณส่วนกลางของฝา กล่องเจาะช่องเพื่อวางท่อนำแสงแนวตั้ง ส่วนภายในกรุด้วยกระดาษสีที่มีค่าสะท้อนแสงดังนี้

- ก) ฝ้าเพดาน.กรุด้วยกระดาษสีขาว มีค่าสะท้อนแสง 80 %
- ข) ผนังกรุด้วยกระดาษสีเทาอ่อน มีค่าสะท้อนแสง 50 %
- ค) พื้นกรุด้วยกระดาษสีเทาเข้ม มีค่าสะท้อนแสง 25 %

บริเวณรอยต่อปิดด้วยวัสดุสีดำทึบ (เทปกาวสีดำ) และคลุมผ้าสีเข้มเพื่อป้องกันการเล็ดลอดของแสงเข้าไปในหุ่นจำลอง



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะหุ่นจำลองเมื่อบางบนเครื่องมือHeliodon

3.2.2.2 ขนาดของหุ่นจำลอง

แสงธรรมชาตินั้นเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของการออกแบบอาคาร การใช้หุ่นจำลองเป็นอีกหนึ่งวิธีในการทดสอบคุณสมบัติและปริมาณของแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในอาคาร โดยมีการกำหนดขนาดและมาตราส่วนในการทำหุ่นจำลอง (M.Bodart and Ar. Deneter, 2006) ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงมาตราส่วนของหุ่นจำลองเพื่อทดสอบแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน

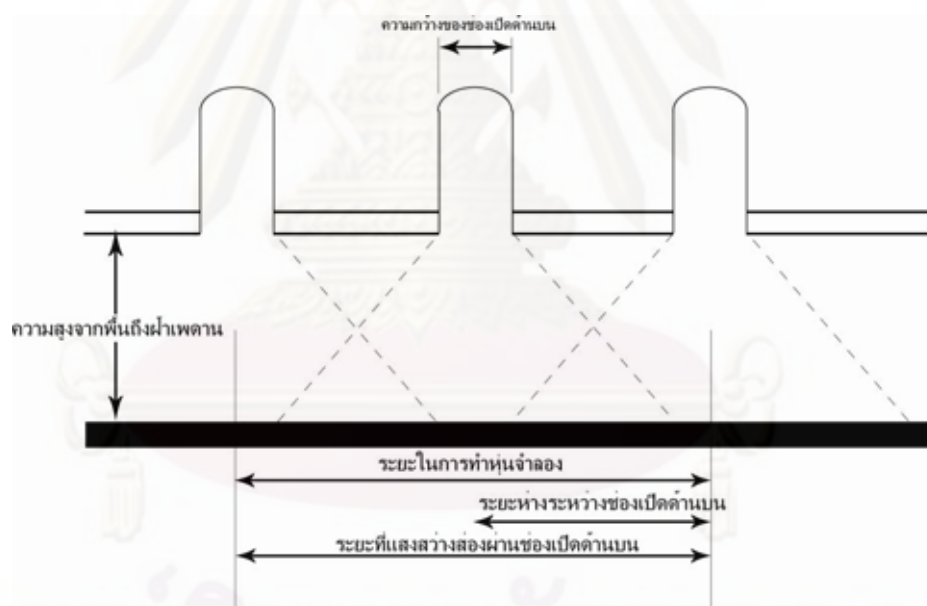
มาตราส่วน	วัตถุประสงค์
1:200 ถึง 1:500	<ul style="list-style-type: none"> - สำหรับการพัฒนาแนวความคิดในงานออกแบบเบื้องต้น - เพื่อกำหนดภาพรวมของลักษณะแสงของกลุ่มอาคารโดยรวม - เพื่อศึกษาเงาที่เกิดขึ้นของอาคาร หรือจากอาคารข้างเคียง
1:200 ถึง 1:50	<ul style="list-style-type: none"> - เพื่อศึกษาแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร - เพื่อศึกษาแสงกระจายในพื้นที่
1:100 ถึง 1:10	<ul style="list-style-type: none"> - เพื่อพิจารณาลักษณะแสงของรายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญ - เพื่อให้เห็นรายละเอียดเล็กๆในมุมมองที่ต้องการ - เพื่อศึกษาแสงกระจายและแสงตรงจากดวงอาทิตย์อย่างถูกต้องแม่นยำ
1:10 ถึง 1:1	<ul style="list-style-type: none"> - เพื่อพิจารณาลักษณะของแสงที่องค์ประกอบที่ไม่สามารถย่อส่วนได้ - เพื่อประเมินผลลัพธ์สุดท้ายของระบบแสงธรรมชาติผ่านระบบการวัดค่าจริงและการใช้งานของผู้ใช้อาคาร

ที่มา : M. Bodart and A. Deneter, 2006.

ผู้วิจัยได้เลือกช่วงของมาตราส่วน 1:100 ถึง 1:10 เนื่องจากต้องการศึกษาด้าน ความส่องสว่างทั้งจากแสงตรงและแสงกระจายที่เกิดขึ้นในอาคาร โดยเลือกใช้มาตราส่วน ที่ 1: 20 โดยการอ้างอิงจากงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องระบบแสงธรรมชาติที่ส่องผ่าน Light Shelves และ Light Pipes (L.O. Beltran, E.S. Lee and S.E. Selkowitz, 1996)

ในการกำหนดขนาดของหุ่นจำลอง ได้อ้างอิงหลักในการออกแบบเรื่อง ระยะห่างระหว่างช่องเปิดด้านบน (Energy design resources ,1998.) ตามรูปที่ 3.5 ซึ่งมีหลักการในการคำนวณ ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ระยะห่างระหว่างช่องเปิดด้านบน} = & (1.4 \times \text{ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน}) + \\ & \text{ความกว้างของช่องเปิดด้านบน} \end{aligned} \quad (13)$$



รูปที่ 3.5 แสดงระยะห่างระหว่างช่องแสงด้านบน

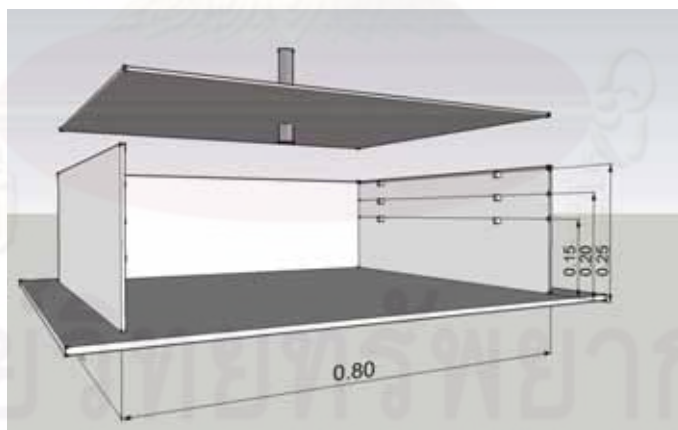
ที่มา : Energy design resources. Design brief : DAYLIGHTING, 1998.

จากสมการ 13 นั้น ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานจะสอดคล้องกับตัวแปรที่ใช้ในการทดลองเรื่องระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง โดยมีการกำหนดระยะที่ 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร เมื่อพิจารณาตัวแปรแล้วผู้วิจัยได้เลือกตัว

แปรที่ระยะ 5 เมตร ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีค่ามากที่สุดมาพิจารณา และในส่วนของความกว้างของช่องเปิดด้านบนนั้น จะสอดคล้องกับตัวแปรเรื่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสง ซึ่งตัวแปรประกอบด้วยท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร ผู้ศึกษาได้ใช้ตัวแปรขนาด 0.90 เมตรซึ่งเป็นตัวแปรที่มีค่ามากที่สุดมาพิจารณา เมื่อนำมาแทนค่าในสมการ ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะห่างระหว่างช่องเปิดด้านบน} &= (1.4 \times 5) + 0.90 \\ &= 7.90 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

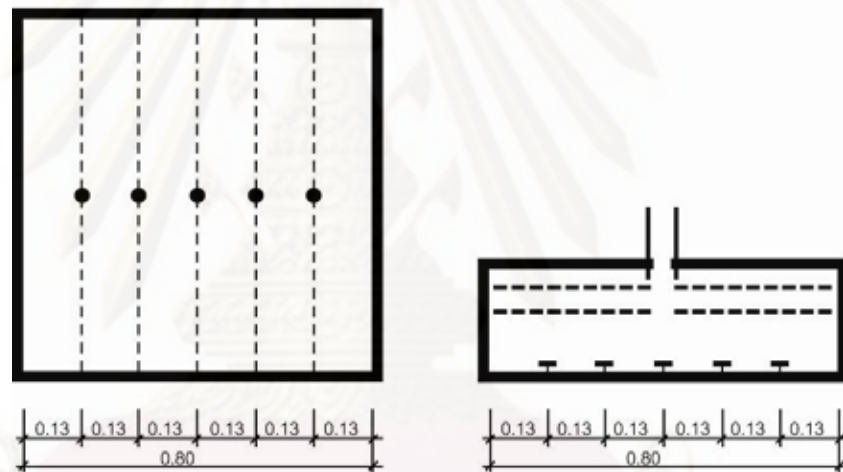
จากรูปที่ 3.5 พบว่าระยะนี้จะครอบคลุมรัศมีของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง ดังนั้น ขอบเขตของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง จะมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณที่ 15.80 เมตร จึงใช้ขนาดห้องที่จะทำการศึกษาคือ 16.00 x 16.00 เมตร ซึ่งในการทำหุ่นจำลองที่มาตราส่วน 1: 20 นั้น หุ่นจำลองจะมีขนาด 0.80 x 0.80 เมตร ส่วนความสูงของหุ่นจำลองจะขึ้นอยู่กับตัวแปรเรื่องระยะในการวัดแสงจากระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง คือ 3, 4 และ 5 เมตร ตามลำดับ โดยสามารถปรับระยะความสูงของหุ่นจำลองได้ ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบหุ่นจำลองในการทดสอบปริมาณแสงสว่าง

3.2.2.3 ตำแหน่งในการวัดปริมาณแสงสว่างภายในหุ่นจำลอง

ตำแหน่งที่ทำการวัดค่าความส่องสว่างนั้น กำหนดให้อยู่กึ่งกลางของห้องที่ต้องการศึกษาและตั้งฉากกับท่อนำแสงแนวดิ่ง โดยแบ่งตำแหน่งที่วัดแสงออกเป็น 5 จุด ซึ่งมีระยะห่างเท่าๆ กันคือ 2.60 , 5.20 , 7.80 , 10.40 และ 13.00 เมตรจากผนังของห้องกรณีศึกษา ระดับความสูงในการวางตัวรับแสงอยู่ที่ 0.75 เมตร (ระดับใช้งาน) ในส่วนของหุ่นจำลองที่มีมาตราส่วน 1: 20 นั้น หุ่นจำลองจะมีขนาด 0.80 x 0.80 เมตร การแบ่งระยะวัดแสงจะแบ่งระยะห่างเท่าๆ กันดังนี้คือ 0.13, 0.26, 0.39, 0.52 และ 0.65 เมตรจากผนังของหุ่นจำลอง และระดับความสูงในการวางตัวรับแสงอยู่ที่ 0.035 เมตร ดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งในการวัดแสงของผังพื้น และ รูปตัดของหุ่นจำลอง



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงในหุ่นจำลอง

3.2.3 ท่อนำแสงแนวตั้ง

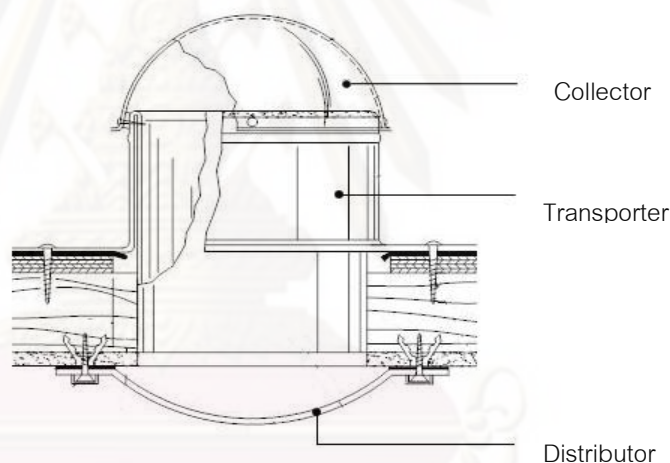
3.2.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทำท่อนำแสงแนวตั้ง

ใช้แผ่นอลูมิเนียมเรียบเงา มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 95 % (ข้อมูลจากโรงงาน) และคุณสมบัติของอลูมิเนียมสามารถม้วนงอเป็นท่อกลมได้ จึงเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการทดลอง

3.2.3.2 ขนาดและความยาวของท่อนำแสงแนวตั้ง

ท่อนำแสงแนวตั้งนั้น มีส่วนประกอบ 3 ส่วนด้วยกัน (รูปที่ 3.9) คือ

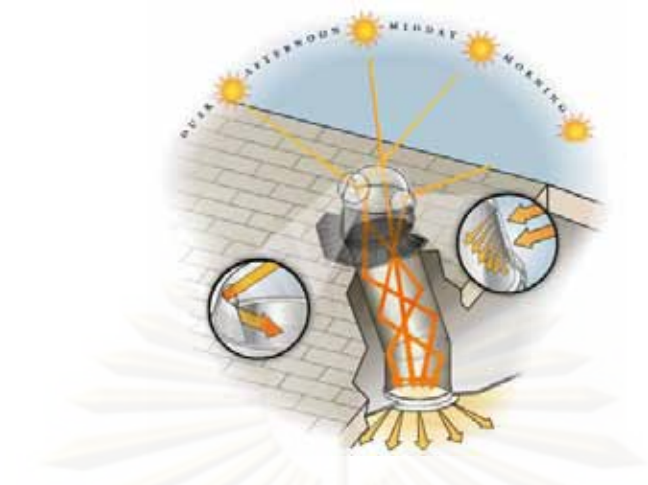
- ระบบรับแสง (Collector)
- ระบบนำแสง (Transporter)
- ระบบกระจายแสง (Distributor)



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะส่วนประกอบของท่อนำแสง
ที่มา : www.monodraught.co.uk ,[12/07/2552]

โดยหลักในการทำงานของท่อนำแสงแนวตั้งคือ ส่วนที่เป็นระบบรับแสง จะทำการรับแสงจากดวงอาทิตย์ จากนั้นแสงสว่างจะสะท้อนไปมาในระบบนำแสงซึ่งมีลักษณะเป็นท่อ จากนั้นระบบกระจายแสงจะทำการกระจายแสงจากระบบนำแสงสู่ภายในอาคาร ดังรูปที่ 3.10

³ Simone C. Molteni, G. Court, B. Paule, L. Michel and J.L. Scartezini., 2001.



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการทำงานของท่อนำแสงแนวตั้ง
ที่มา : <http://jcwinnie.biz/wordpress/?p=1918> [30/09/09]

โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะในส่วนระบบนำแสง ด้านขนาด และค่าความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้ง (Aspect Ratio) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก) ขนาดของท่อนำแสงแนวตั้ง

ท่อนำแสงแนวตั้งมี 3 ขนาดด้วยกัน คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30, 0.60 และ 0.90 เมตร

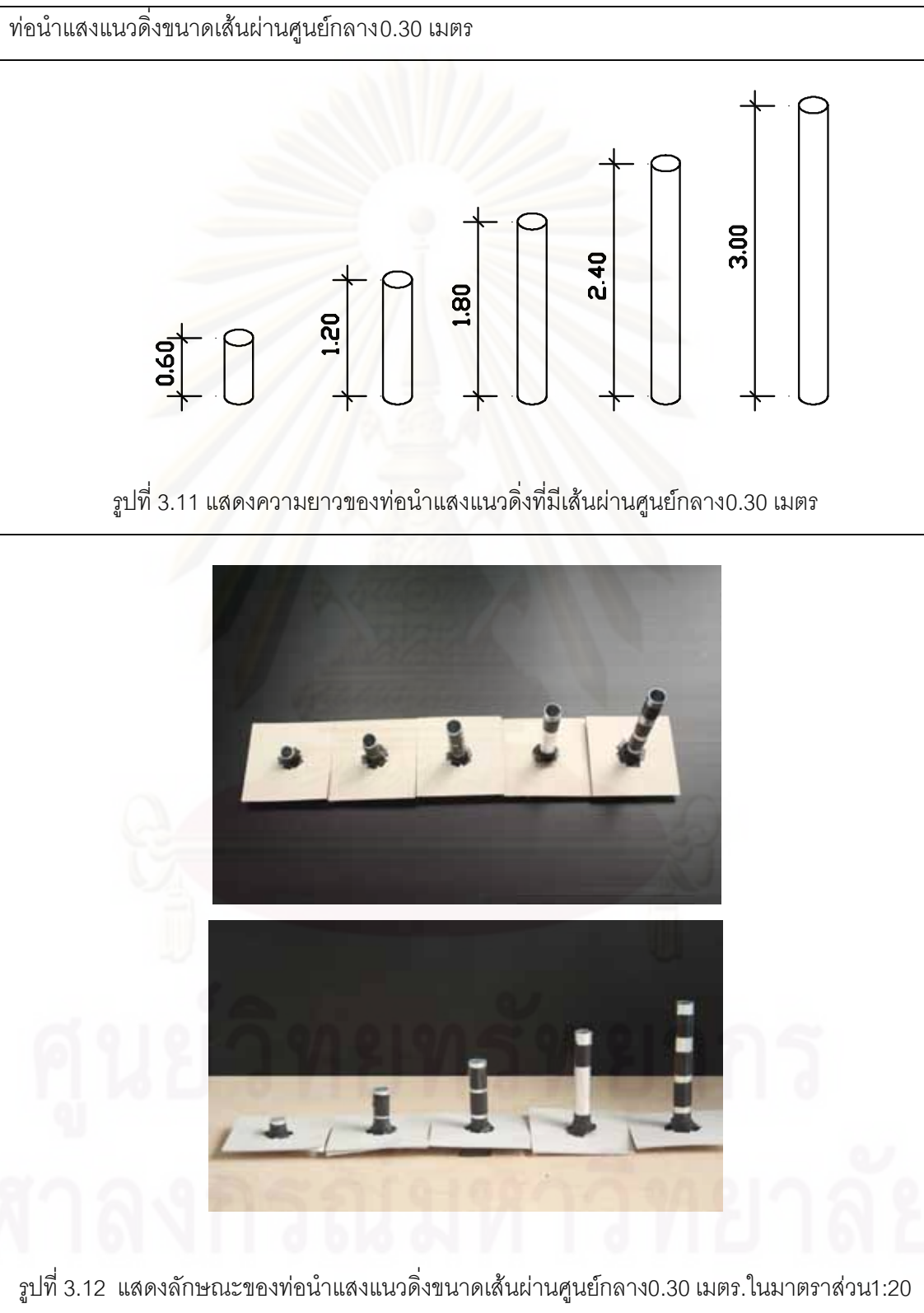
ข) ความยาวของท่อนำแสงแนวตั้ง

ความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งนั้น จะขึ้นอยู่กับค่า Aspect Ratio ของท่อนำแสงแนวตั้ง ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

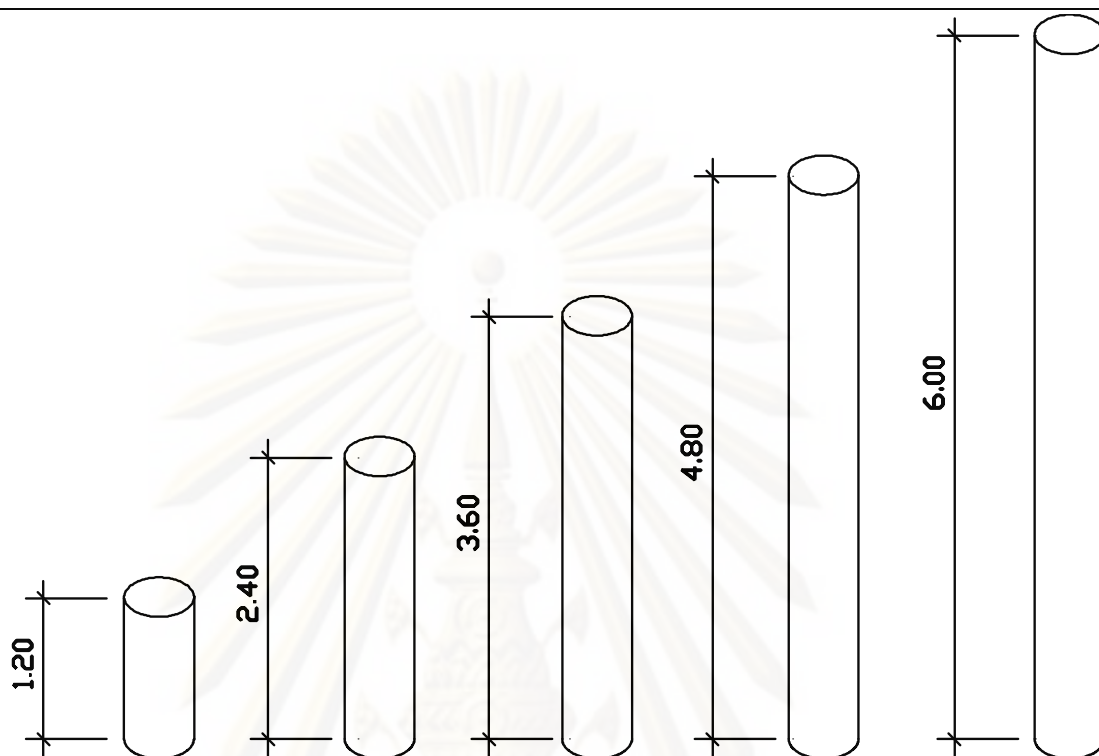
ตารางที่ 3.2 แสดงค่า Aspect Ratio และความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆ

เส้นผ่านศูนย์กลาง ท่อนำแสง (เมตร)	Aspect Ratio				
	2	4	6	8	10
	ความยาวท่อ (เมตร)				
0.30	0.6	1.2	1.8	2.4	3
0.60	1.2	2.4	3.6	4.8	6
0.90	1.8	3.6	5.4	7.2	9

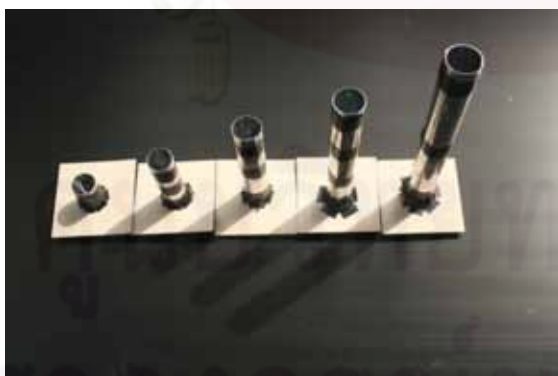
โดยรูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่ง มีดังนี้



ท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร

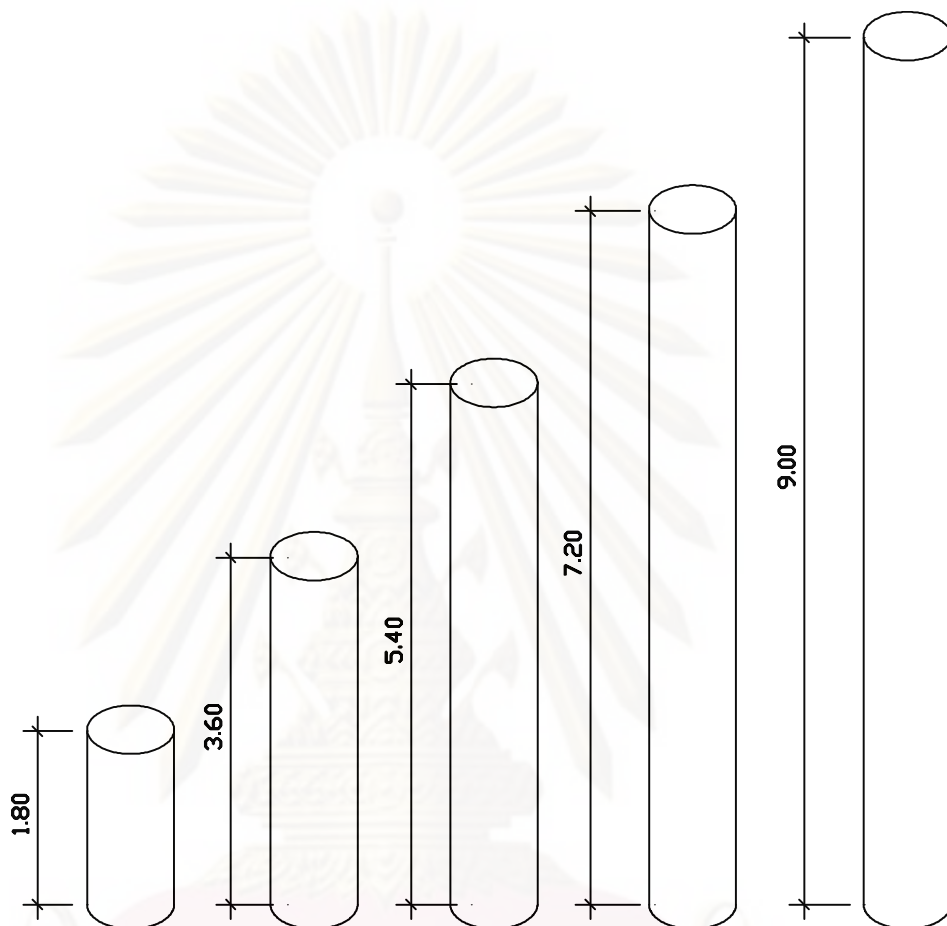


รูปที่ 3.13 แสดงความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร. ในมาตราส่วน 1:20

ท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร



รูปที่ 3.15 แสดงความยาวของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร



รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร. ในมาตราส่วน 1:20

3.3 การกำหนดขั้นตอนในการเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดวิธีการเก็บข้อมูล เพื่อให้เกิดแนวทางที่ชัดเจนระหว่างการทำทดลอง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ในการวัดแสง และหุนจำลอง

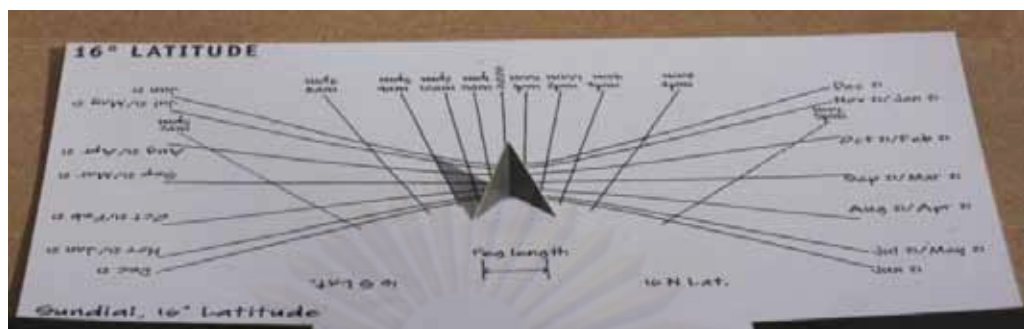
3.3.1.1 การตรวจสอบเครื่องมือวัดแสง

- ก) อุปกรณ์ในการวัดแสง ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ ดิจิตอล ลักซ์มิเตอร์ ยี่ห้อ INS รุ่น DX – 200 จำนวน 6 เครื่อง ดังนั้นก่อนทำการทดสอบสมมุติฐาน ต้องทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่นำมาวัดแสง ให้มีค่าเท่ากันทั้งหมด โดยเปรียบเทียบข้อมูลเมื่อวัดในสภาพท้องฟ้าจริง จากนั้นวิเคราะห์ผลที่วัดได้เพื่อทำการปรับค่าก่อนการนำไปใช้
- ข) เครื่องมือ Heliodon เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ จึงทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวัดแสงโดยการใช้เครื่องมือ Heliodon กับข้อมูลที่ไดจากการวัดแสงในวันและเวลาจริง เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก่อนการทดลอง

3.3.1.2 การตรวจสอบหุนจำลอง ในการตรวจสอบหุนจำลองนั้น ได้ทำการวัดค่าความส่องสว่างภายในหุนจำลองในขณะที่ปิดทึบ โดยค่าความส่องสว่างต้องเป็นศูนย์ จึงจะถือว่าหุนจำลองไม่มีการเล็ดลอดของแสง และค่าความส่องสว่างที่วัดได้จะมาจากทางท่อนำแสงแนวตั้งเพียงทางเดียวเท่านั้น

3.3.2 ติดตั้งหุนจำลองบนเครื่องมือ Heliodon

ทำการติดตั้งหุนจำลองบนเครื่องมือ Heliodon พร้อมกับติดตั้งแผ่น Sundial diagram ในระนาบเดียวกับหุนจำลอง โดยบนแผ่น Sundial diagram ได้ประกอบแท่งวัดแสงที่มีขนาดความสูงเท่ากับระยะ Peg length โดยหลักในการวัดแสงคือ ให้ทำการหมุนเครื่องมือ Heliodon ที่ติดตั้งหุนจำลองและแผ่น Sundial Diagram จนกระทั่งเงาที่เกิดขึ้นจากแท่งวัดแสงทาบบนวันและเวลาที่ต้องการศึกษา ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงการใช้ Sundial diagram ที่ละติจูด 16 องศาเหนือ ประกอบกับ
เครื่องมือ Heliodon ในการวัดแสง
(ที่มา : G.Z.Brown & Mark Dekay,2001)

3.3.3 ติดตั้งอุปกรณ์วัดแสง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ใช้เครื่องมือวัดแสงจำนวน 6 เครื่อง โดยทำ การติดตั้งในหุ่นจำลอง จำนวน 5 เครื่องตามระยะที่กำหนดไว้ และติดตั้งภายนอกหุ่นจำลองจำนวน 1 เครื่อง สำหรับวัดค่าความส่องสว่างภายนอกเพื่อทำการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor โดยให้จุดรับแสงวางบนระนาบเดียวกันกับ หุ่นจำลองเพื่อให้ได้รับปริมาณแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ในองศาเดียวกัน ตามรูปที่ 3.18 โดยในการเก็บข้อมูลนั้น ทำภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงแบบ Clear sky



รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงกับหุ่นจำลอง

3.3.4 วิธีในการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างนั้น ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีในการบันทึกข้อมูล ด้วยวิธีถ่ายรูปเครื่องวัดแสงทั้ง 6 เครื่องพร้อมกัน เพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างในช่วงเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะรูปถ่ายในการเก็บข้อมูลขณะวัดแสง

3.3.5 การแบ่งชุดตัวแปรในการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลนั้น ผู้วิจัยได้แบ่งตัวแปรในการเก็บข้อมูลเป็น 3 ชุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก) ชุดตัวแปรของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร

ในชุดตัวแปรของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ประกอบด้วยท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio เท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยทำการวัดแสงที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร ฉะนั้น ในการวัดแสง 1 รอบ จะทำการเก็บข้อมูล 15 ครั้ง และในแต่ละ 1 ชุดตัวแปร จะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 6 รอบ โดยแบ่งเป็นการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 วัน คือ วันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม และในแต่ละวันจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ช่วงเวลาคือเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ฉะนั้น ใน 1 ชุดตัวแปรจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 135 ครั้ง

ข) ชุดตัวแปรของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร

ในชุดตัวแปรของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ประกอบด้วยท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio เท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยทำการวัดแสงที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร ฉะนั้น ในการวัดแสง 1 รอบ จะทำการเก็บข้อมูล 15 ครั้ง และในแต่ละ 1 ชุดตัวแปร จะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 6 รอบ โดยแบ่งเป็นการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 วัน คือ วันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม และในแต่ละวันจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ช่วงเวลาคือเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ฉะนั้น ใน 1 ชุดตัวแปรจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 135 ครั้ง

ค) ชุดตัวแปรของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร

ในชุดตัวแปรของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ประกอบด้วยท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio เท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยทำการวัดแสงที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร ฉะนั้น ในการวัดแสง 1 รอบ จะทำการเก็บข้อมูล 15 ครั้ง และในแต่ละ 1 ชุดตัวแปร จะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 6 รอบ โดยแบ่งเป็นการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 วัน คือ วันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม และในแต่ละวันจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ช่วงเวลาคือเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ฉะนั้น ใน 1 ชุดตัวแปรจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 135 ครั้ง

3.3.6 วิเคราะห์ข้อมูล

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ในลักษณะของแผนภูมิ เพื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ในหัวข้อดังนี้

3.3.6.1 ลักษณะของแผนภูมิที่เกิดขึ้น เพื่อศึกษาลักษณะของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งไปตกกระทบพื้นที่ใช้งานในอาคาร

3.3.6.2 ค่าความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง ในด้านความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์

3.3.6.3 ประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง ในด้านระยะขอบเขตของแสงสว่างที่สามารถนำไปใช้งานได้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระยะห่างของท่อนำแสงแนวดิ่ง

3.3.7 นำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่อนำแสงแนวดิ่ง

นำข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์มาทำการออกแบบท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นการหาแนวทางในการออกแบบเพื่อให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบนในรูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่งเข้ามาในอาคารนั้นมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์ ซึ่งรวมไปถึงร้านค้าที่มีรูปแบบอาคารใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดที่แตกต่าง โดยการพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในนั้น จะทำการทดสอบจากหุ่นจำลอง และทำการเก็บข้อมูลในรูปแบบของค่า Daylight Factor (DF) ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบข้อมูลของ 2 ส่วนดังนี้คือ 1) ค่าความส่องสว่างภายนอกที่ตกกระทบในแนวราบ 2) ค่าความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งเข้าสู่หุ่นจำลอง โดยการวัด ค่าความส่องสว่างทั้งสองส่วนนั้นจะวัดในเวลาเดียวกัน ผ่านการถ่ายรูปเพื่อให้ข้อมูลที่วัดได้อยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยในการทดลองมีการทดสอบตัวแปรต่างๆเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบและนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ปริมาณแสงสว่างภายนอก
2. การกำหนดค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์
3. รูปแบบการกระจายตัวของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นในแนวราบ
4. เปรียบเทียบค่าสูงที่สุด ต่ำที่สุด และค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ของความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง
5. เปรียบเทียบค่า Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร
6. เปรียบเทียบค่า Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีค่า Aspect Ratio 2, 4, 6, 8 และ 10
7. เปรียบเทียบค่า Daylight Factor ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 3, 4 และ 5 เมตร

เพื่อให้การเก็บข้อมูลมีความเที่ยงตรง ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือในการวัดแสงก่อนการเก็บข้อมูล โดยแบ่งการตรวจสอบอุปกรณ์เป็น 2 ส่วน คือ

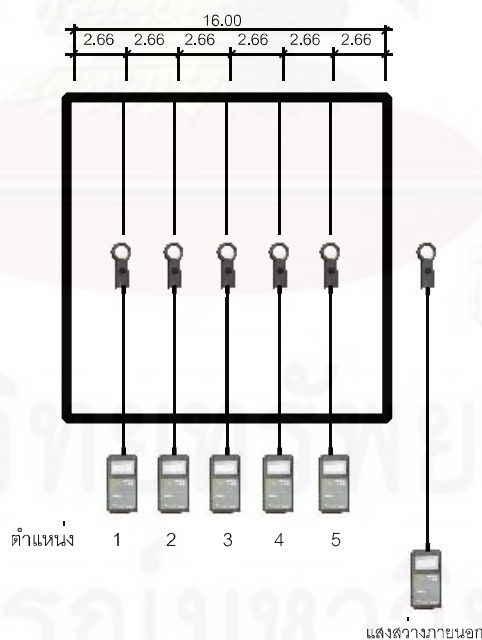
- ก) อุปกรณ์ในการวัดแสง การทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์นั้น ได้ทำการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการวัดความส่องสว่างของเครื่องวัดแสงทั้ง 6 เครื่อง เพื่อนำ

ข้อมูลมาหาค่าเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์นำมาปรับค่าเครื่องมือให้สามารถวัดข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียงกัน

- ข) เครื่องมือ Heliodon โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูล 2 ส่วนระหว่างข้อมูลที่ได้จากการวัดแสงในวันและเวลาจริง กับข้อมูลที่ได้จากการวัดแสงโดยใช้เครื่องมือ heliodon โดยเลือกทำการวัดแสงในวันที่ 21 มิถุนายน จากผลการเปรียบเทียบ พบว่าค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากวันที่ 21 มิถุนายน และ ค่าความส่องสว่างที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือ Heliodon มีความแตกต่างกันไม่เกิน 5 % เครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือสำหรับการเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้

4.1 ผลการทดลอง

ในการทดลอง ได้ทำการวัดค่าความส่องสว่างในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม โดยใช้เครื่องมือ Heliodon โดยมีรูปแบบในการวัดเป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการติดตั้งและตำแหน่งอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความส่องสว่าง

4.1.1 ค่าความส่องสว่างภายนอก

สภาพท้องฟ้าขณะทำการวัดเป็นแบบ Clear sky ของวันที่ 25 มิถุนายน (รูปที่ 4.2) โดยในช่วงเวลา 12.00 – 16.00 น. นั้น ค่าความส่องสว่างภายนอกที่วัดได้ในช่วงระหว่างการทดลองมีค่าอยู่ที่ 20,000 – 65,000 ลักซ์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39,333 ลักซ์



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะสภาพท้องฟ้าขณะทำการวัดค่าความส่องสว่าง

4.1.2 การกำหนดค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์

จากการวิเคราะห์มาตรฐานของค่าความส่องสว่างภายในที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์ผ่านมาตรฐานต่างๆ ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าความส่องสว่างตามค่ามาตรฐานของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย (TIEA-GD003:2003)⁴ ในส่วนของพื้นที่ขายขนาดใหญ่ และตามมาตรฐานของประเทศนิวซีแลนด์ (NZS 6703:1984)⁵ ในส่วนของซูเปอร์มาเก็ต ที่ต้องการค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

⁴ สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย

⁵ New Zealand Standard. Code of practice for Interior Lighting Design, 1984.

ในการหาค่า Daylight Factor ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูล 2 ส่วนคือ
 1) เปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร เพื่อหาค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมกับการใช้งานในช่วงเวลาตลอดทั้งปี 2) เปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างภายนอกเฉลี่ยที่ได้จากการเก็บข้อมูลในงานวิจัย เพื่อให้ค่า Daylight Factor ที่ได้ครอบคลุมกับการใช้งานที่สุด

1) เมื่อนำค่าความส่องสว่างมาเปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างทั้งปีของ

กรุงเทพมหานคร (ตารางที่ 4.1) พบว่า เมื่อกำหนดค่า Daylight Factor เท่ากับ 1% ค่าความส่องสว่างภายในเมื่อเทียบกับค่าความส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร จะเป็นไปตามตารางที่ 4.2 คือมีค่าความส่องสว่างภายในอยู่ที่ 413 – 1,069 ลักซ์ โดยช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างภายในที่มีค่าน้อยกว่า 500 ลักซ์ 3 ช่วงเวลาดังกล่าวคือ ช่วงเวลา 9.00 น. – 10.00 น. ที่ความส่องสว่างภายในมีค่าที่ 478 ลักซ์ และช่วงเวลา 15.00 น. – 16.00 น. ของเดือนกรกฎาคม และเดือนพฤศจิกายน ที่มีค่าความส่องสว่างภายใน 464 ลักซ์ และ 413 ลักซ์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานสำหรับซูเปอร์สโตร์ และเมื่อกำหนดค่า Daylight Factor เท่ากับ 1.5 % ค่าความส่องสว่างภายในเมื่อเทียบกับค่าความส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร จะเป็นไปตามตารางที่ 4.3 คือมีค่าความส่องสว่างภายในอยู่ที่ 620 – 1,604 ลักซ์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานสำหรับซูเปอร์สโตร์

2) ในส่วนของงานวิจัยชิ้นนี้ ค่าความส่องสว่างภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 39,333 ลักซ์ หากต้องการค่าความส่องสว่างภายในที่ 500 ลักซ์ จะพบว่าค่า Daylight Factor ที่ต้องการจะเป็นไปตามสมการที่ 12 ในหน้าที่ 32 ดังนี้

$$\begin{aligned} DF &= \frac{\text{ค่าความส่องสว่างภายใน}}{\text{ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร}} \times 100 \\ &= \frac{500}{39,333} \times 100 \\ &= 1.27 \% \end{aligned}$$

จากการเปรียบเทียบเพื่อหาค่า Daylight Factor จากข้อมูลทั้งสองส่วน คือจากค่าความส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร และจากค่าความส่องสว่างภายนอกเฉลี่ยที่ได้จากการเก็บ

ข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ค่า Daylight Factor ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของท่อนำแสง
แนวตั้งในงานวิจัยนี้ที่ 1.5 %

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการส่องสว่างทั้งปีของกรุงเทพมหานคร; (Klux)

เวลาเดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
9.00-10.00	47.8	55.0	63.8	65.9	73.5	74.8	71.6	70.3	69.7	63.6	59.9	53.1
10.00-11.00	66.3	73.9	83.9	81.7	87.1	89.7	84.4	85.6	85.9	74.2	73.3	69.8
11.00-12.00	79.9	92.8	99.6	86.2	88.8	89.6	85.2	87.6	85.7	75.7	84.7	81.2
12.00-13.00	90.2	106.9	104.7	99.3	102.0	99.5	98.8	101.0	94.3	87.0	89.9	94.9
13.00-14.00	82.8	99.4	106.7	100.5	95.7	88.5	87.2	93.4	89.0	82.9	76.5	78.1
14.00-15.00	70.0	87.3	92.0	88.6	75.2	85.3	78.4	94.4	71.9	65.6	61.5	63.6
15.00-16.00	51.2	68.8	71.9	68.7	56.5	63.2	46.4	59.4	53.0	51.9	41.3	51.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความส่องสว่างภายในเมื่อมีค่า Daylight Factor = 1% (lux)

เวลาเดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
9.00-10.00	478	550	638	659	735	748	716	703	697	636	599	531
10.00-11.00	663	739	839	817	871	897	844	856	859	742	733	698
11.00-12.00	799	928	996	862	888	896	852	876	857	757	847	812
12.00-13.00	902	1069	1047	993	1020	995	988	1010	943	870	899	949
13.00-14.00	828	994	1067	1005	957	885	872	934	890	829	765	781
14.00-15.00	700	873	920	886	752	853	784	944	719	656	615	636
15.00-16.00	512	688	719	687	565	632	464	594	530	519	413	512

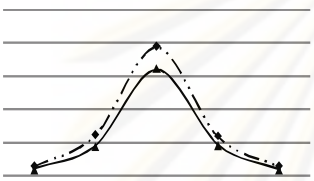

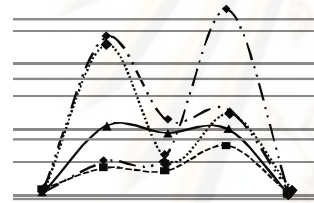
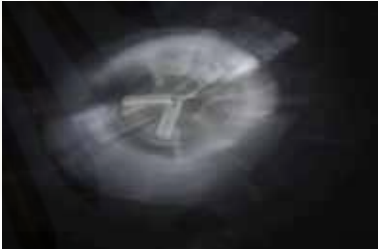
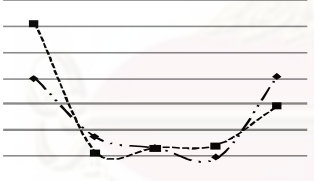
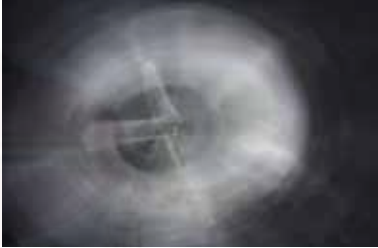


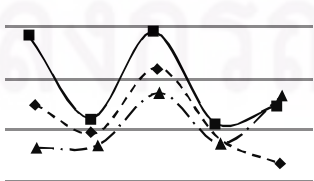
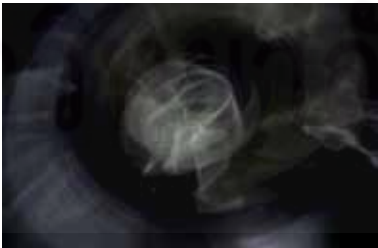
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความส่องสว่างภายในเมื่อมีค่า Daylight Factor = 1.5% (lux)

เวลาเดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
9.00-10.00	717	825	957	989	1103	1122	1074	1055	1046	954	899	797
10.00-11.00	995	1109	1259	1226	1307	1346	1266	1284	1289	1113	1100	1047
11.00-12.00	1199	1392	1494	1293	1332	1344	1278	1314	1286	1136	1271	1218
12.00-13.00	1353	1604	1571	1490	1530	1493	1482	1515	1415	1305	1349	1424
13.00-14.00	1242	1491	1601	1508	1436	1328	1308	1401	1335	1244	1148	1172
14.00-15.00	1050	1310	1380	1329	1128	1280	1176	1416	1079	984	923	954
15.00-16.00	768	1032	1079	1031	848	948	696	891	795	779	620	768

4.1.3 รูปแบบของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นในแนวราบ

เมื่อสังเกตรูปแบบของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวราบ พบว่ามีลักษณะของแสงที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ ตามตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงรูปแบบของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นอาคาร

รูปแบบ (แสดงในรูปแบบ Daylight section)	จำนวนรูปแบบ (ครั้ง)	การจำลองการเกิดด้วยแสงประดิษฐ์ (แสดงในรูปแบบ Daylight distribution)
1 	215	
2 	108	
3 	19	
4 	35	
5 	28	

รูปแบบที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือรูปแบบที่ 1 ซึ่งมีค่าความส่องสว่างมากที่สุดในตำแหน่งที่ 3 บริเวณใต้ท่อนำแสง ส่วนรูปแบบที่เกิดขึ้นรองลงมา คือรูปแบบที่ 2 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดในตำแหน่งที่ 2 หรือ 4 หรือทั้งตำแหน่งที่ 2 และ 4 โดยตำแหน่งที่ 3 จะมีค่าความส่องสว่างรองลงมา และบริเวณตำแหน่งที่ 1 และ 5 จะมีค่าความส่องสว่างน้อยที่สุด รูปแบบที่ 4 มีการเกิดรองลงมา โดยในตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 2 หรือ 4 มีค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน ส่วนรูปแบบที่ 5 มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 1 แต่มีค่าความส่องสว่างในตำแหน่งที่ 1 หรือ 5 ค่อนข้างสูง ส่วนรูปแบบที่เกิดน้อยที่สุดคือรูปแบบที่ 3 ซึ่งมีค่าความส่องสว่างในตำแหน่งที่ 1 หรือ 5 มากที่สุด

4.1.4 เปรียบเทียบค่าสูงที่สุด ต่ำที่สุด และค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ของความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง

ในการเก็บข้อมูล ได้บันทึกข้อมูลความส่องสว่าง ที่มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างทั้ง 5 ตำแหน่ง นำมาเปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างภายนอก เพื่อแสดงผลเป็นค่า Daylight Factor จะได้ผลตามตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 โดยแบ่งข้อมูลตามตัวแปรเรื่องความสูงจากระดับความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่ 3 ,4 และ 5 เมตร ตามลำดับ จากนั้นจึงนำมาแสดงข้อมูลในรูปแบบแผนภูมิ โดยแบ่งตามค่า Aspect Ratio ดังนี้คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามแผนภูมิที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Daylight Factor ของความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 3 เมตร

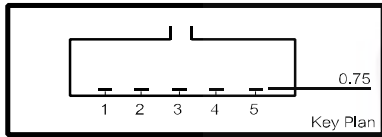
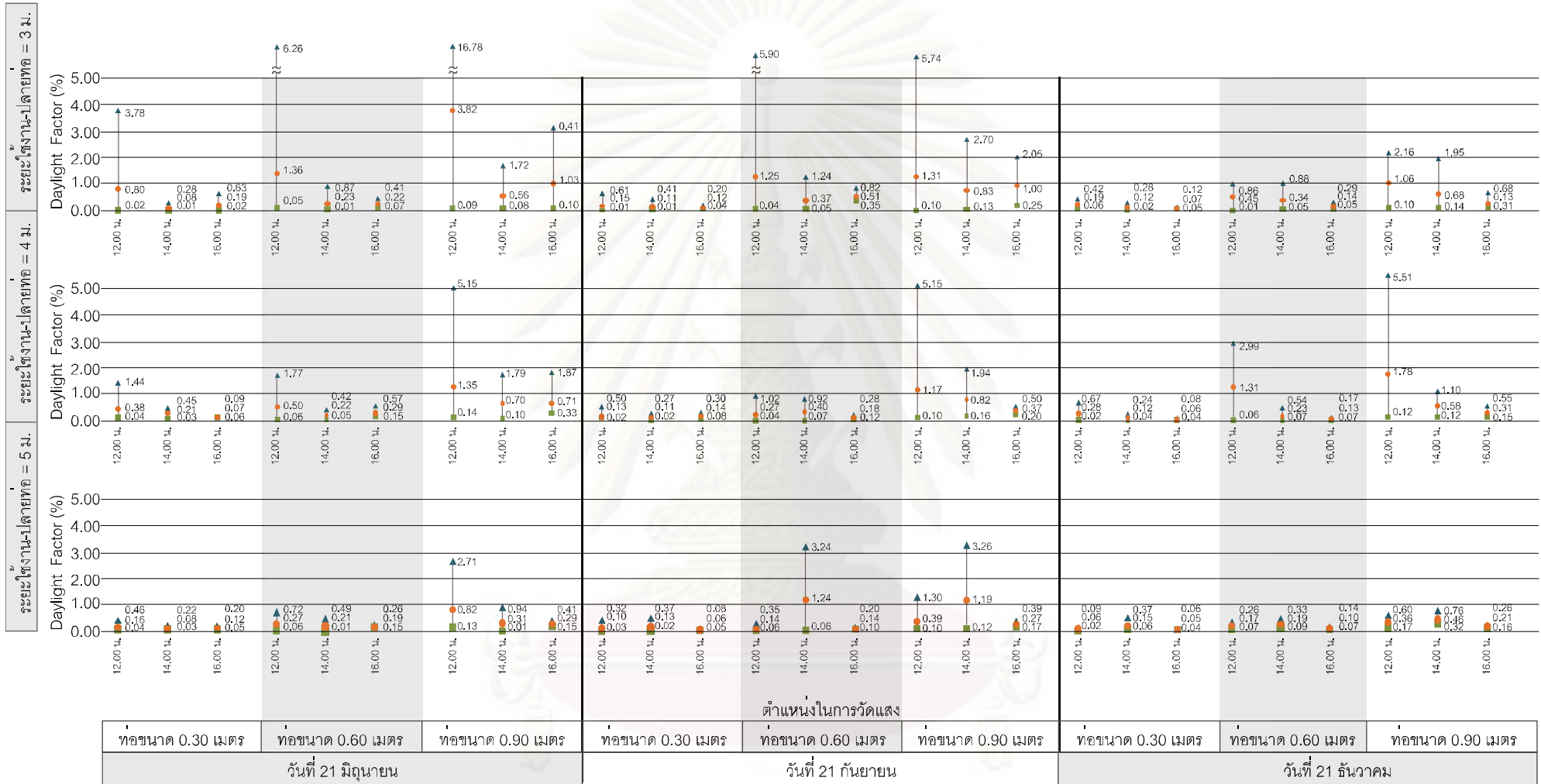
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	เวลาที่วัดแสง	Aspect Ratio	ค่า Daylight Factor (%)								
			21 มิถุนายน			21 กันยายน			21 ธันวาคม		
			สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
0.30	12.00	2	3.78	0.02	0.80	0.61	0.01	0.15	0.42	0.06	0.19
		4	3.62	0.02	0.76	0.32	0.01	0.09	0.37	0.05	0.20
		6	7.70	0.02	1.58	0.41	0.01	0.11	0.28	0.02	0.16
		8	1.01	0.01	0.24	0.41	0.01	0.11	1.03	0.02	0.29
		10	7.07	0.01	1.44	0.38	0.01	0.10	0.79	0.02	0.28
	14.00	2	0.28	0.01	0.08	0.41	0.02	0.13	0.28	0.02	0.12
		4	0.27	0.01	0.08	0.35	0.02	0.12	0.46	0.02	0.17
		6	0.39	0.01	0.10	0.42	0.02	0.13	0.25	0.02	0.10
		8	0.28	0.01	0.08	0.35	0.02	0.16	0.25	0.02	0.10
		10	0.26	0.01	0.07	0.37	0.02	0.11	0.26	0.02	0.13
	16.00	2	0.63	0.02	0.19	0.20	0.04	0.12	0.12	0.05	0.07
		4	0.22	0.02	0.11	0.17	0.06	0.17	0.09	0.02	0.05
		6	0.13	0.02	0.08	0.24	0.07	0.13	0.10	0.02	0.05
		8	0.31	0.02	0.13	0.19	0.05	0.10	0.08	0.01	0.03
		10	0.08	0.01	0.05	0.18	0.03	0.09	0.08	0.01	0.03
0.60	12.00	2	6.26	0.05	1.36	5.90	0.04	1.25	0.86	0.06	0.45
		4	7.59	0.04	1.60	3.13	0.03	0.69	0.78	0.05	0.46
		6	10.47	0.03	2.17	1.93	0.02	0.44	2.12	0.05	0.63
		8	11.81	0.03	2.44	1.70	0.03	0.40	1.06	0.04	0.43
		10	14.41	0.04	2.96	0.98	0.03	0.26	1.11	0.04	0.59
	14.00	2	0.87	0.01	0.23	1.24	0.05	0.37	0.88	0.05	0.34
		4	0.77	0.03	0.24	1.24	0.05	0.37	0.88	0.05	0.37
		6	0.74	0.03	0.24	1.35	0.07	0.40	0.85	0.05	0.32
		8	0.91	0.03	0.26	1.14	0.04	0.32	0.86	0.04	0.31
		10	0.82	0.01	0.21	1.25	0.05	0.51	0.87	0.04	0.54
	16.00	2	0.41	0.07	0.22	0.82	0.35	0.51	0.29	0.05	0.14
		4	1.00	0.05	0.40	0.81	0.10	0.40	0.26	0.06	0.14
		6	1.08	0.05	0.41	0.79	0.27	0.46	0.24	0.04	0.10
		8	0.34	0.04	0.22	0.87	0.16	0.40	0.28	0.04	0.12
		10	1.22	0.04	0.40	0.54	0.11	0.32	0.26	0.03	0.10
0.90	12.00	2	16.78	0.09	3.82	5.74	0.10	1.31	2.16	0.12	1.06
		4	15.08	0.08	3.20	18.85	0.07	4.19	1.51	0.11	0.55
		6	9.46	0.07	2.06	11.91	0.05	2.50	1.26	0.08	0.46
		8	19.37	0.09	4.07	16.61	0.07	3.45	1.55	0.07	0.47
		10	7.48	0.04	1.62	20.06	0.08	4.15	1.55	0.06	0.67
	14.00	2	1.72	0.08	0.56	2.70	0.13	0.83	1.95	0.14	0.68
		4	1.47	0.05	0.46	2.63	0.12	0.77	1.69	0.11	0.60
		6	1.64	0.06	0.47	2.43	0.09	0.69	1.61	0.08	0.53
		8	1.62	0.06	0.45	2.69	0.09	0.76	1.91	0.06	0.63
		10	1.67	0.06	0.45	2.49	0.11	0.71	1.77	0.07	0.55
	16.00	2	3.16	0.10	1.03	2.05	0.25	1.00	0.68	0.13	0.31
		4	0.92	0.12	0.49	1.55	0.32	0.91	0.51	0.10	0.25
		6	2.26	0.08	0.69	0.83	0.13	0.60	0.51	0.08	0.23
		8	0.86	0.07	0.44	0.92	0.31	0.66	0.59	0.06	0.21
		10	2.31	0.07	0.85	0.70	0.15	0.49	0.66	0.07	0.23

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Daylight Factor ของความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 4 เมตร

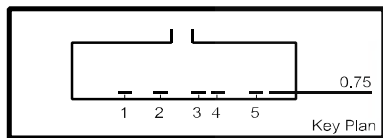
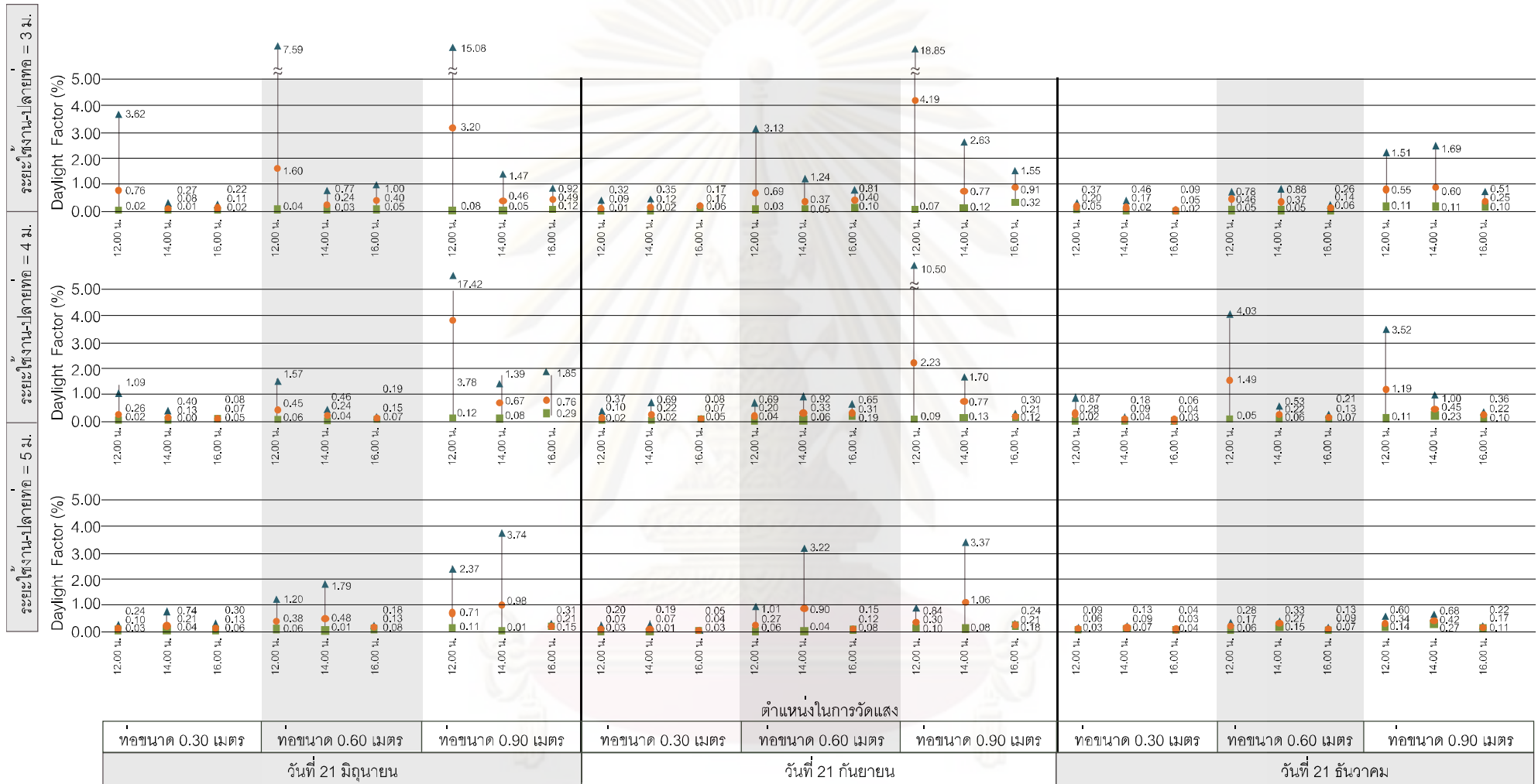
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	เวลาที่วัดแสง	Aspect Ratio	ค่า Daylight Factor (%)								
			21 มิถุนายน			21 กันยายน			21 ธันวาคม		
			สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
0.30	12.00	2	1.44	0.04	0.38	0.50	0.13	0.13	0.67	0.02	0.28
		4	1.09	0.02	0.26	0.37	0.02	0.10	0.87	0.02	0.28
		6	1.85	0.03	0.42	0.29	0.02	0.09	1.11	0.02	0.33
		8	2.10	0.02	0.46	1.11	0.02	0.25	0.37	0.02	0.14
		10	0.39	0.02	0.12	0.22	0.02	0.07	0.61	0.01	0.21
	14.00	2	0.45	0.03	0.21	0.27	0.02	0.11	0.24	0.04	0.12
		4	0.40	0.01	0.13	0.69	0.02	0.22	0.18	0.04	0.09
		6	0.35	0.02	0.13	0.37	0.03	0.18	0.18	0.03	0.08
		8	0.37	0.01	0.14	0.30	0.03	0.13	0.15	0.04	0.08
		10	0.13	0.01	0.07	0.27	0.02	0.12	0.16	0.03	0.07
	16.00	2	0.09	0.06	0.07	0.30	0.08	0.14	0.08	0.04	0.06
		4	0.08	0.05	0.07	0.08	0.05	0.07	0.06	0.03	0.04
		6	0.15	0.05	0.08	0.07	0.03	0.05	0.06	0.03	0.04
		8	0.08	0.06	0.07	0.05	0.02	0.04	0.06	0.02	0.04
		10	0.08	0.04	0.06	0.06	0.02	0.04	0.06	0.03	0.04
0.60	12.00	2	1.77	0.06	0.50	1.02	0.04	0.27	2.99	0.06	1.31
		4	1.57	0.06	0.45	0.69	0.04	0.20	4.03	0.05	1.49
		6	5.71	0.07	1.37	0.89	0.03	0.23	2.24	0.05	0.77
		8	2.26	0.06	0.65	0.54	0.04	0.17	1.06	0.04	0.47
		10	3.50	0.05	0.82	1.33	0.04	0.33	2.94	0.04	0.92
	14.00	2	0.42	0.05	0.22	0.92	0.07	0.40	0.54	0.07	0.23
		4	0.46	0.04	0.24	0.92	0.06	0.33	0.53	0.06	0.22
		6	0.41	0.04	0.17	0.85	0.07	0.45	0.52	0.07	0.21
		8	0.57	0.03	0.26	0.82	0.06	0.33	0.50	0.08	0.24
		10	0.54	0.03	0.26	0.93	0.06	0.39	0.54	0.11	0.23
	16.00	2	0.57	0.15	0.29	0.28	0.12	0.18	0.17	0.07	0.13
		4	0.19	0.07	0.15	0.65	0.19	0.31	0.21	0.07	0.13
		6	0.47	0.15	0.26	0.17	0.08	0.12	0.14	0.06	0.10
		8	0.36	0.11	0.17	0.16	0.08	0.13	0.14	0.05	0.09
		10	0.21	0.09	0.15	0.16	0.09	0.13	0.14	0.04	0.09
0.90	12.00	2	5.15	0.14	1.35	5.15	0.10	1.17	5.51	0.12	1.78
		4	17.42	0.12	3.78	10.50	0.09	2.23	3.52	0.11	1.19
		6	11.91	0.05	2.59	1.45	0.06	0.40	4.05	0.09	1.69
		8	9.95	0.05	2.19	3.41	0.06	0.79	2.92	0.09	1.34
		10	7.21	0.03	1.54	6.37	0.08	1.40	9.87	0.09	2.54
	14.00	2	1.79	0.10	0.71	1.94	0.16	0.82	1.10	0.12	0.58
		4	1.39	0.08	0.67	1.70	0.13	0.77	1.00	0.23	0.45
		6	0.87	0.07	0.38	1.86	0.13	0.66	0.98	0.12	0.51
		8	1.04	0.07	0.50	1.86	0.12	0.71	1.07	0.27	0.63
		10	1.05	0.06	0.61	1.83	0.11	0.76	1.10	0.13	0.42
	16.00	2	1.87	0.33	0.71	0.50	0.20	0.37	0.55	0.15	0.31
		4	1.85	0.29	0.76	0.30	0.12	0.21	0.36	0.10	0.22
		6	0.45	0.12	0.27	0.87	0.31	0.45	0.26	0.09	0.19
		8	1.43	0.24	0.51	0.39	0.16	0.29	0.26	0.07	0.17
		10	0.70	0.23	0.37	0.30	0.11	0.22	0.26	0.05	0.16

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Daylight Factor ของความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	เวลาที่วัดแสง	Aspect Ratio	ค่า Daylight Factor (%)								
			21 มิถุนายน			21 กันยายน			21 ธันวาคม		
			สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
0.30	12.00	2	0.46	0.04	0.16	0.32	0.03	0.10	0.09	0.02	0.06
		4	0.24	0.03	0.10	0.20	0.03	0.07	0.09	0.03	0.06
		6	0.34	0.04	0.13	0.16	0.03	0.07	0.08	0.02	0.06
		8	0.62	0.05	0.22	0.15	0.03	0.06	0.10	0.02	0.06
		10	0.48	0.04	0.18	0.13	0.03	0.06	0.08	0.02	0.05
	14.00	2	0.22	0.03	0.08	0.37	0.02	0.13	0.37	0.06	0.15
		4	0.74	0.04	0.21	0.19	0.01	0.07	0.13	0.07	0.09
		6	0.62	0.04	0.19	0.24	0.02	0.15	0.64	0.07	0.22
		8	0.25	0.03	0.09	0.36	0.02	0.13	0.11	0.04	0.07
		10	0.52	0.03	0.15	0.23	0.02	0.12	0.16	0.06	0.09
	16.00	2	0.20	0.05	0.12	0.08	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05
		4	0.30	0.06	0.13	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
		6	0.07	0.04	0.06	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04
		8	0.05	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.03	0.04
		10	0.05	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.03	0.04
0.60	12.00	2	0.72	0.06	0.27	0.35	0.06	0.14	0.26	0.07	0.17
		4	1.20	0.06	0.38	1.01	0.06	0.27	0.28	0.06	0.17
		6	0.89	0.08	0.34	0.37	0.05	0.14	0.27	0.06	0.17
		8	0.88	0.06	0.30	0.38	0.05	0.14	0.25	0.05	0.14
		10	1.34	0.06	0.39	0.50	0.04	0.16	0.29	0.06	0.16
	14.00	2	0.49	0.01	0.21	3.24	0.06	1.24	0.33	0.09	0.19
		4	1.79	0.01	0.48	3.22	0.04	0.90	0.33	0.15	0.27
		6	1.39	0.01	0.41	3.08	0.05	1.02	0.34	0.17	0.21
		8	1.28	0.01	0.41	0.80	0.08	0.36	0.32	0.15	0.19
		10	1.95	0.01	0.55	2.92	0.04	0.99	0.35	0.13	0.22
	16.00	2	0.26	0.15	0.19	0.20	0.10	0.14	0.14	0.07	0.10
		4	0.18	0.08	0.13	0.15	0.08	0.12	0.13	0.07	0.09
		6	0.14	0.09	0.12	0.13	0.08	0.11	0.09	0.06	0.08
		8	0.15	0.08	0.11	0.12	0.06	0.09	0.09	0.05	0.07
		10	0.21	0.15	0.18	0.13	0.08	0.11	0.10	0.06	0.08
0.90	12.00	2	2.71	0.13	0.82	1.30	0.10	0.39	0.60	0.17	0.36
		4	2.37	0.11	0.71	0.84	0.10	0.30	0.60	0.14	0.34
		6	2.38	0.09	0.67	11.70	0.10	2.46	0.62	0.11	0.33
		8	2.24	0.10	0.65	15.98	0.09	3.32	0.73	0.11	0.34
		10	2.16	0.09	0.64	1.45	0.09	0.40	0.69	0.10	0.29
	14.00	2	0.94	0.01	0.31	3.26	0.12	1.19	0.76	0.32	0.46
		4	3.74	0.01	0.98	3.37	0.08	1.06	0.68	0.27	0.42
		6	1.69	0.01	0.54	3.04	0.06	0.79	0.70	0.20	0.40
		8	3.41	0.01	0.92	3.53	0.07	1.55	0.99	0.16	0.43
		10	2.59	0.01	0.73	1.96	0.07	1.00	0.94	0.19	0.41
	16.00	2	0.41	0.15	0.29	0.39	0.17	0.27	0.26	0.16	0.21
		4	0.31	0.15	0.21	0.24	0.18	0.21	0.22	0.11	0.17
		6	0.35	0.13	0.23	0.26	0.14	0.20	0.16	0.10	0.13
		8	0.26	0.15	0.22	0.43	0.13	0.24	0.17	0.10	0.13
		10	0.23	0.11	0.18	0.32	0.13	0.21	0.18	0.09	0.12

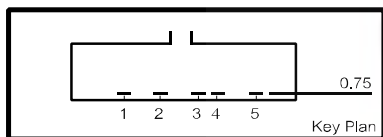
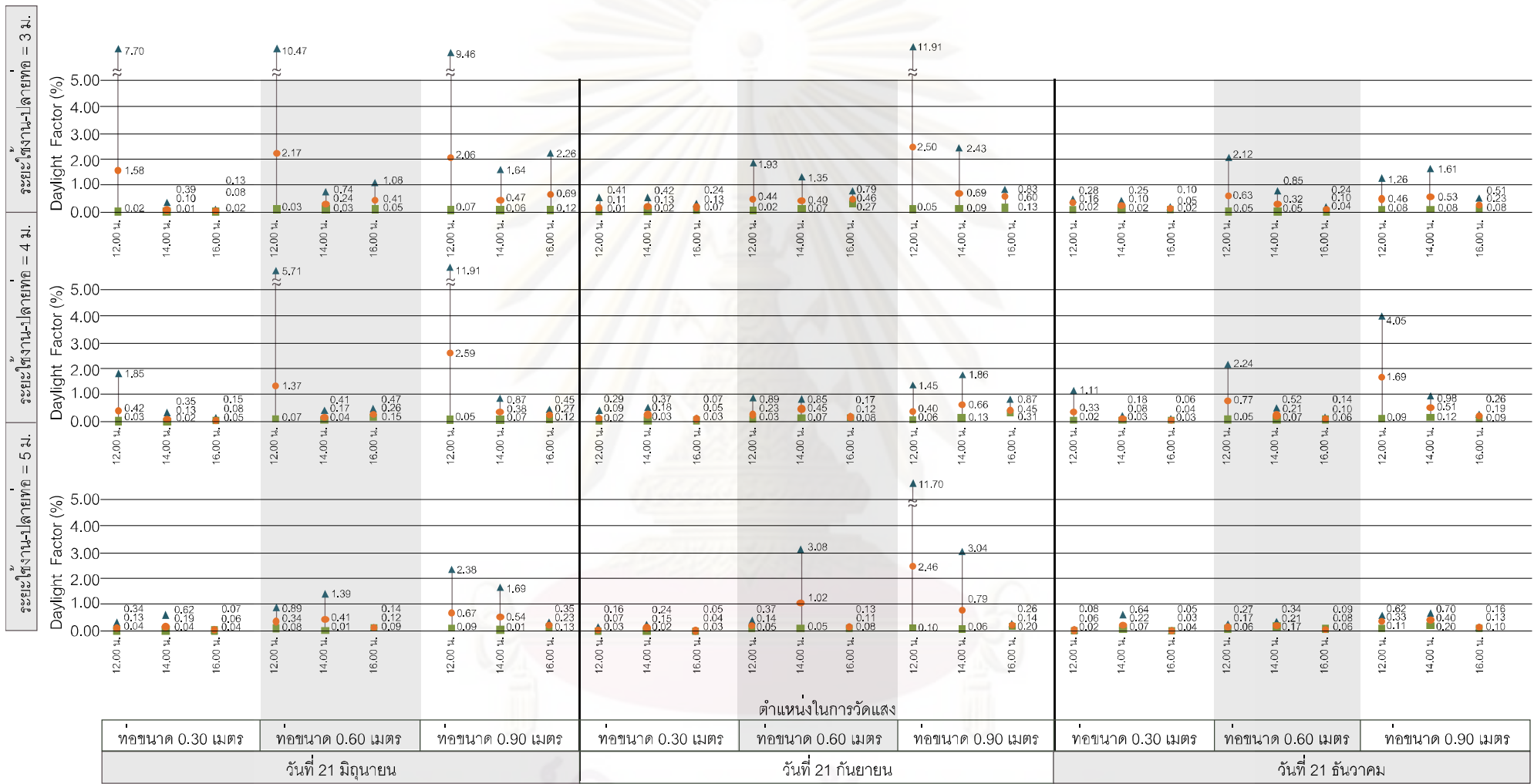


ปริมาณ Daylight Factor (%) ----- สูงที่สุด ----- ต่ำที่สุด ----- ค่าเฉลี่ย
 แผนภูมิที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ย
 ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆที่มีค่า Aspect Ratio = 2



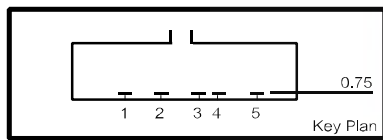
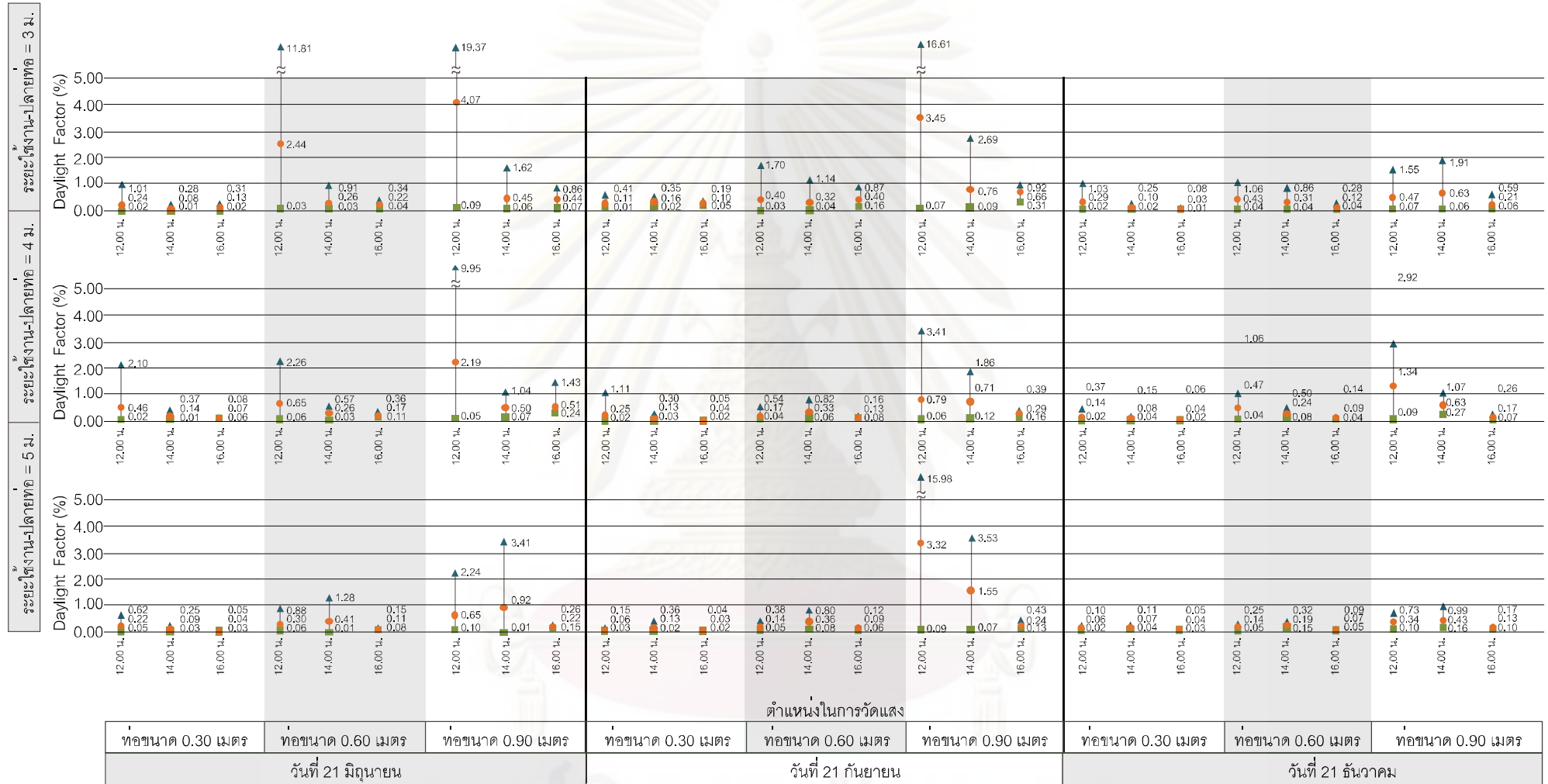
ปริมาณ Daylight Factor (%) ▲ สูงที่สุด ■ ต่ำที่สุด ● ค่าเฉลี่ย

แผนภูมิที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆที่มีค่า Aspect Ratio = 4



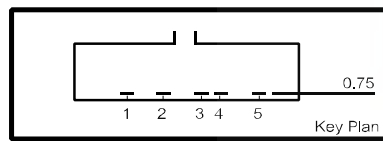
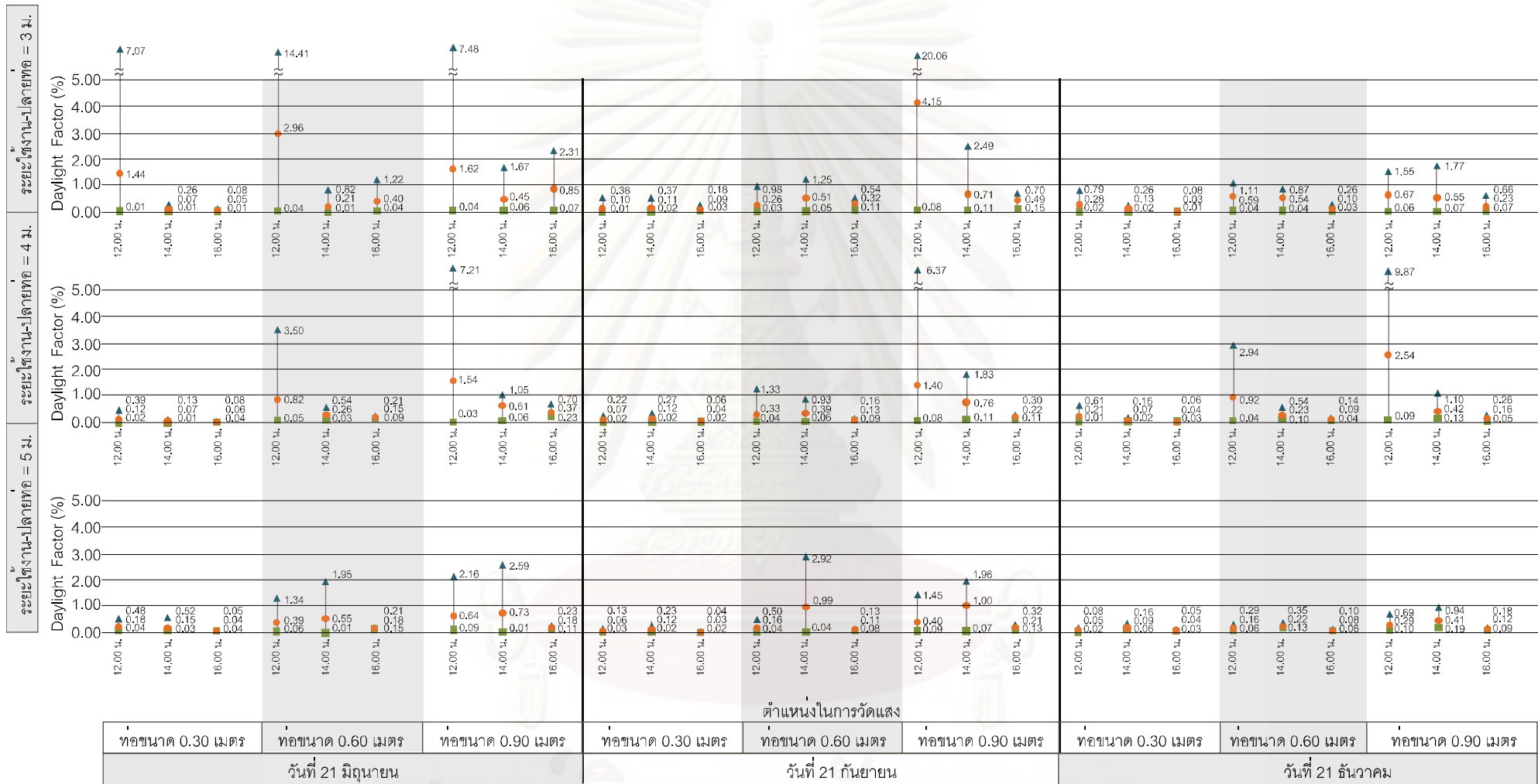
ปริมาณ Daylight Factor (%) ----- สูงที่สุด ----- ต่ำที่สุด ----- ค่าเฉลี่ย

แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยของแสงสว่างที่ส่องผ่านหน้าแสงแนวตั้งขนาดต่างๆที่มีค่า Aspect Ratio = 6



ปริมาณ Daylight Factor (%) ▲ สูงที่สุด ■ ต่ำที่สุด ● ค่าเฉลี่ย

แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ย
ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆที่มีค่า Aspect Ratio = 8



ปริมาณ Daylight Factor (%) ----- สูงที่สุด ----- ต่ำที่สุด ----- ค่าเฉลี่ย
 แผนภูมิที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ย
 ของแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆที่มีค่า Aspect Ratio = 10

จากข้อมูล สามารถสรุปค่า Daylight Factor (DF) ได้ดังนี้
 ตารางที่ 4.8 แสดงช่วงค่า Daylight Factor สูงที่สุด ต่ำที่สุด และค่าเฉลี่ยของท่อนำแสงที่ค่า Aspect Ratio 2, 4, 6, 8 และ 10

ช่วงเวลา	ค่า DF(%) สูงที่สุด	ค่า DF(%) ต่ำที่สุด	ค่า DF(%) เฉลี่ย	
ระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง = 3 เมตร	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร			
	12.00 น.	0.38 – 7.70	0.01 – 0.06	0.09 – 1.44
	14.00 น.	0.25 – 0.46	0.01 – 0.02	0.07 – 0.19
	16.00 น.	0.08 – 0.63	0.01 – 0.06	0.03 – 0.19
	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร			
	12.00 น.	0.78 – 14.41	0.02 – 0.06	0.40 – 2.96
	14.00 น.	0.74 – 1.35	0.01 – 0.07	0.21 – 0.54
	16.00 น.	0.24 – 1.22	0.03 – 0.35	0.10 – 0.46
	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร			
	12.00 น.	1.26 – 19.37	0.04 – 0.12	0.46 – 4.19
	14.00 น.	1.47 – 2.70	0.05 – 0.14	0.45 – 0.83
	16.00 น.	0.51 – 3.16	0.06 – 0.32	0.21 – 1.03
ระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง = 4 เมตร	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร			
	12.00 น.	0.22 – 2.10	0.01 – 0.13	0.07 – 0.46
	14.00 น.	0.13 – 0.69	0.01 – 0.04	0.07 – 0.22
	16.00 น.	0.05 – 0.30	0.02 – 0.08	0.04 – 0.14
	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร			
	12.00 น.	0.54 – 5.71	0.03 – 0.07	0.17 – 1.49
	14.00 น.	0.41 – 0.93	0.03 – 0.11	0.17 – 0.40
	16.00 น.	0.14 – 0.65	0.04 – 0.15	0.09 – 0.31
	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร			
	12.00 น.	1.45 – 17.42	0.03 – 0.14	0.40 – 3.78
	14.00 น.	0.87 – 1.94	0.06 – 0.27	0.42 – 0.82
	16.00 น.	0.26 – 1.87	0.05 – 0.33	0.16 – 0.76
ระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง = 5 เมตร	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร			
	12.00 น.	0.08 – 0.62	0.02 – 0.04	0.05 – 0.22
	14.00 น.	0.11 – 0.74	0.01 – 0.07	0.07 – 0.22
	16.00 น.	0.25 – 1.34	0.02 – 0.06	0.03 – 0.13
	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร			
	12.00 น.	0.25 – 1.34	0.05 – 0.07	0.14 – 0.39
	14.00 น.	0.32 – 3.33	0.01 – 0.17	0.19 – 1.24
	16.00 น.	0.09 – 0.26	0.05 – 0.15	0.07 – 0.19
	ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร			
	12.00 น.	0.60 – 15.98	0.01 – 0.32	0.29 – 3.32
	14.00 น.	0.68 – 3.74	0.01 – 0.32	0.31 – 1.55
	16.00 น.	0.16 – 0.43	0.09 – 0.18	0.12 – 0.29

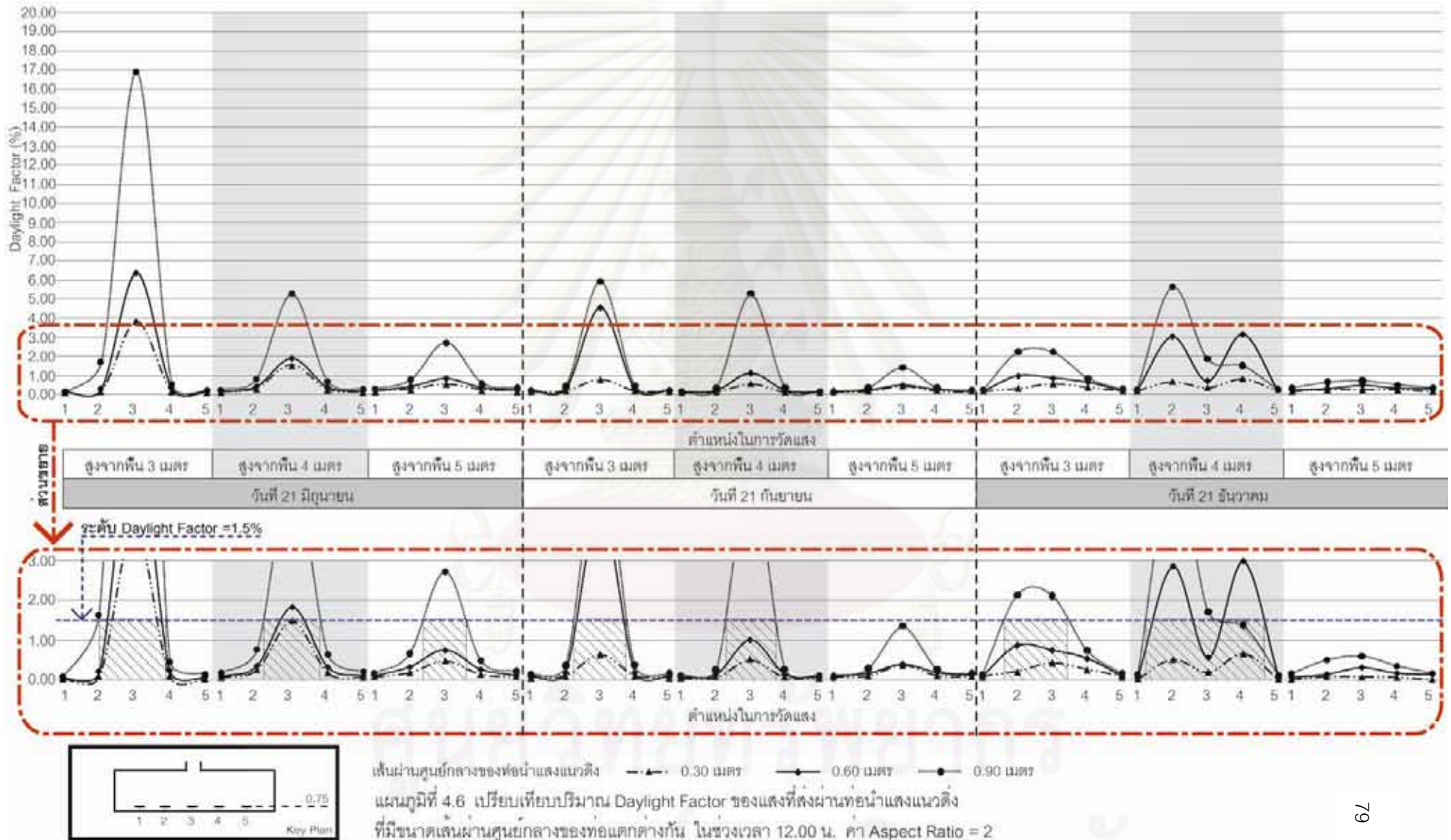
ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งเท่ากับ 3 เมตร ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor มากที่สุดคือ 12.00 น. โดยค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor คือ 0.09% – 1.44% , 0.40% – 2.96% และ 0.46% – 4.19% สำหรับท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 , 0.60 และ 0.90 เมตร ตามลำดับ และท่อนำแสงที่สามารถให้แสงผ่านเข้าสู่หุ่นจำลองได้มากที่สุดคือท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร โดยค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor คือ 0.46% – 4.19% , 0.45% – 0.83% และ 0.21% – 1.03% สำหรับช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ตามลำดับ

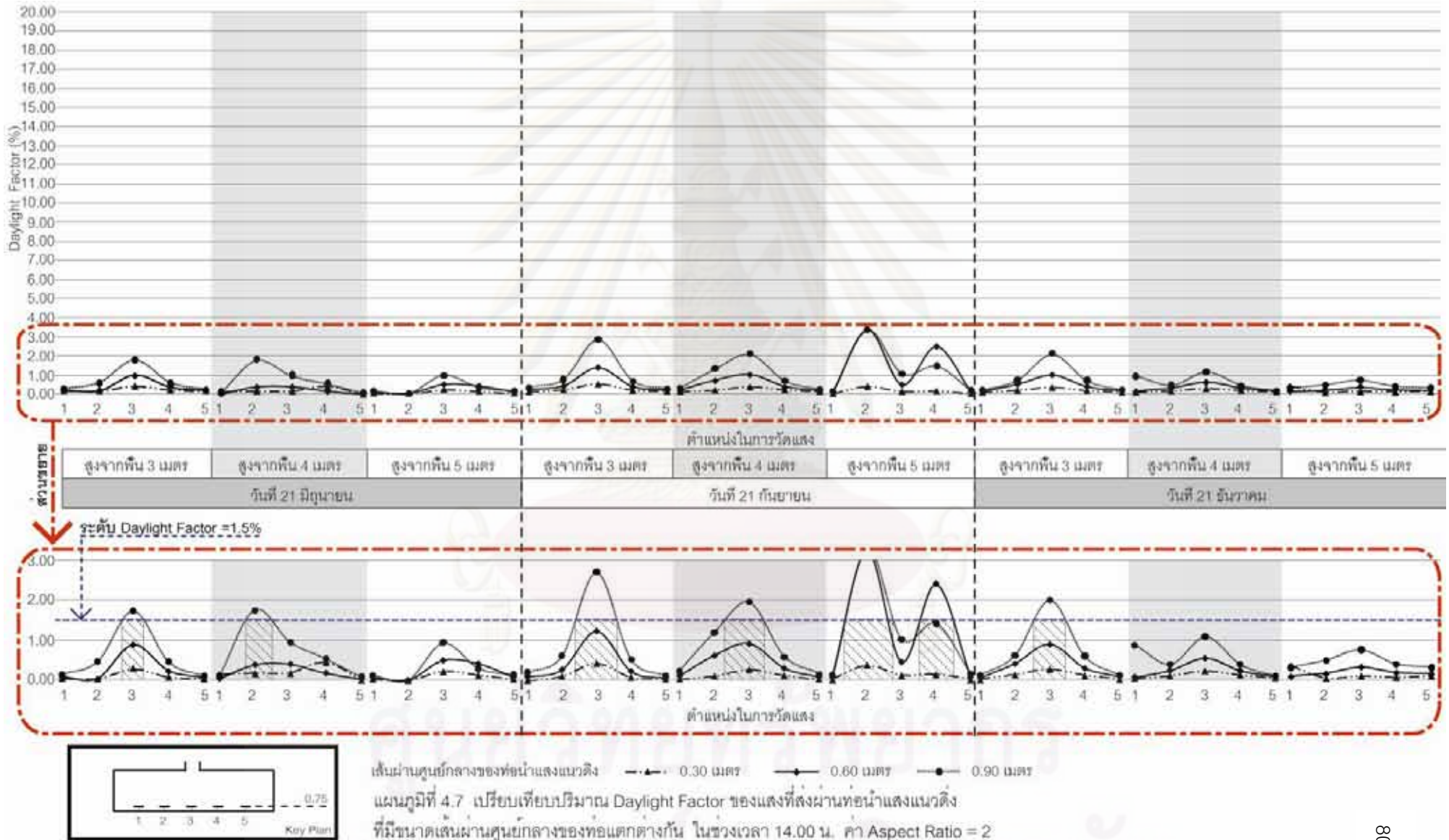
ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งเท่ากับ 4 เมตร ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor มากที่สุดคือ 12.00 น. โดยค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor คือ 0.07% – 0.46% , 0.17% – 1.49% และ 0.40% – 3.78% สำหรับท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 , 0.60 และ 0.90 เมตร ตามลำดับ และท่อนำแสงที่สามารถให้แสงผ่านเข้าสู่หุ่นจำลองได้มากที่สุดคือท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร โดยค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor คือ 0.40% – 3.78% , 0.42% – 0.82% และ 0.16% – 0.76% สำหรับช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ตามลำดับ

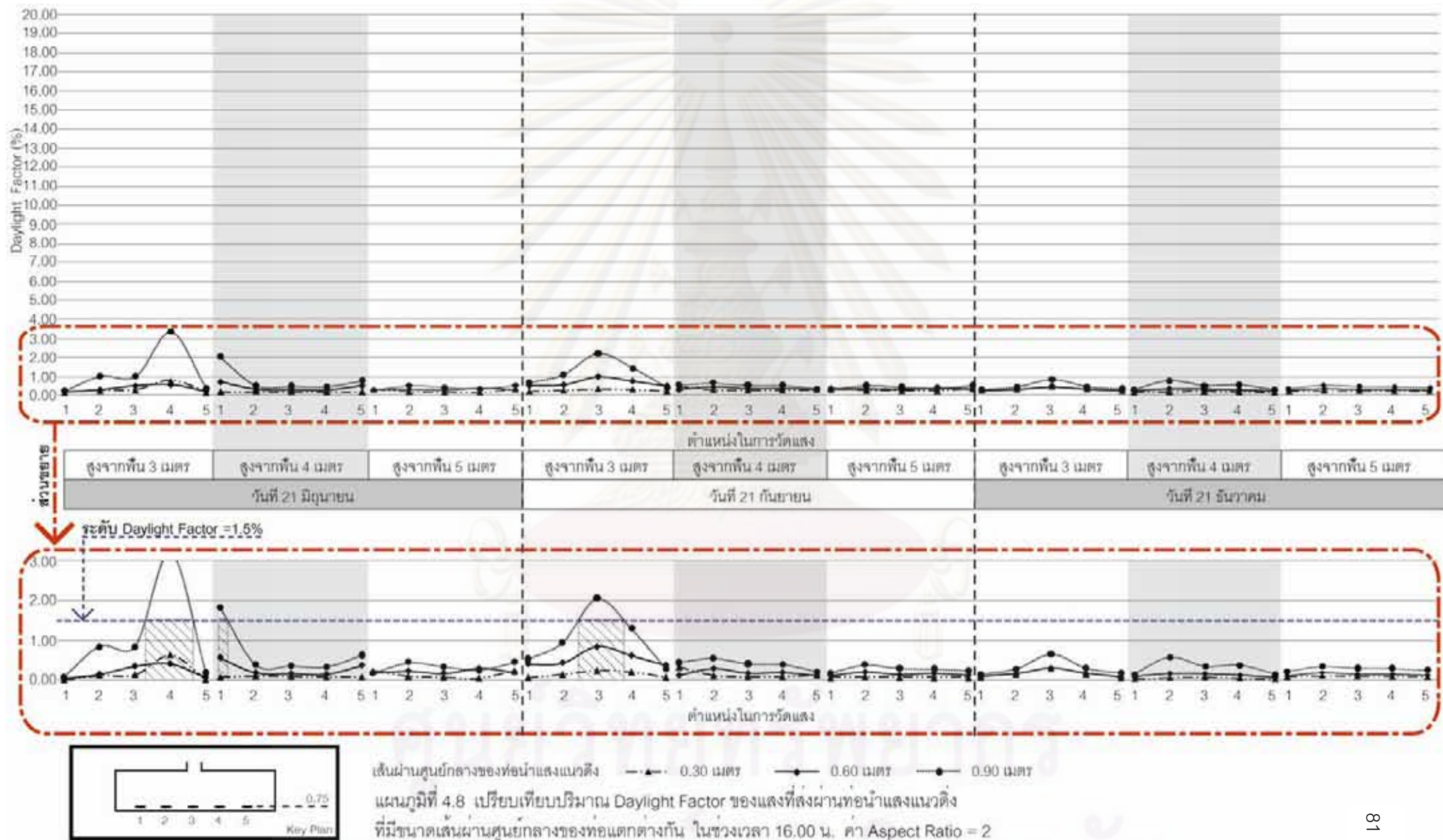
ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งเท่ากับ 5 เมตร ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor มากที่สุดคือ 12.00 น. โดยค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor คือ 0.07% – 0.22% , 0.19% – 1.24% และ 0.29% – 3.32% สำหรับท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 , 0.60 และ 0.90 เมตร ตามลำดับ และท่อนำแสงที่สามารถให้แสงผ่านเข้าสู่หุ่นจำลองได้มากที่สุดคือท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร โดยค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor คือ 0.29% – 3.32% , 0.31% – 1.55% และ 0.12% – 0.29% สำหรับช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ตามลำดับ

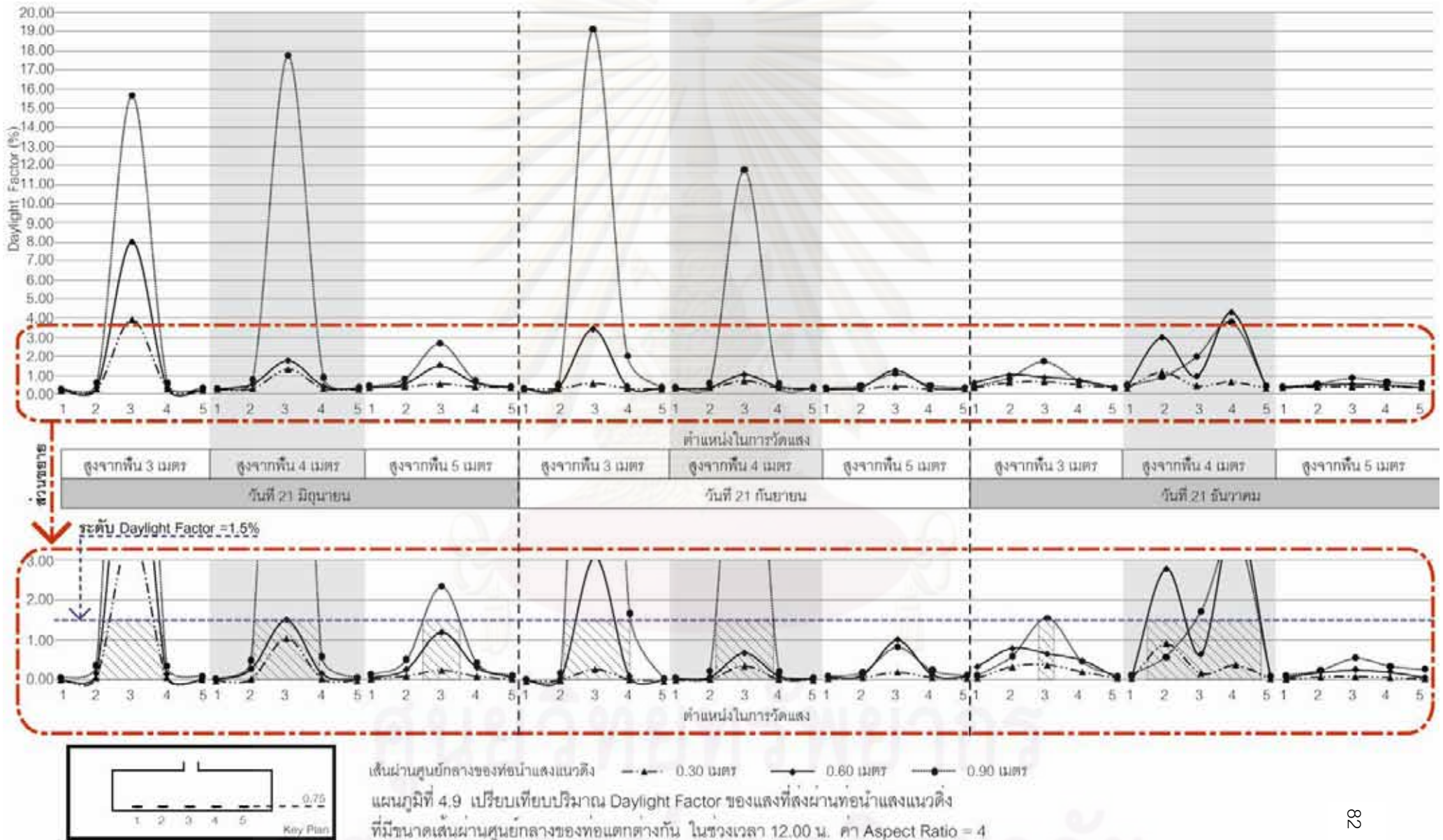
4.1.5 เปรียบเทียบความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร

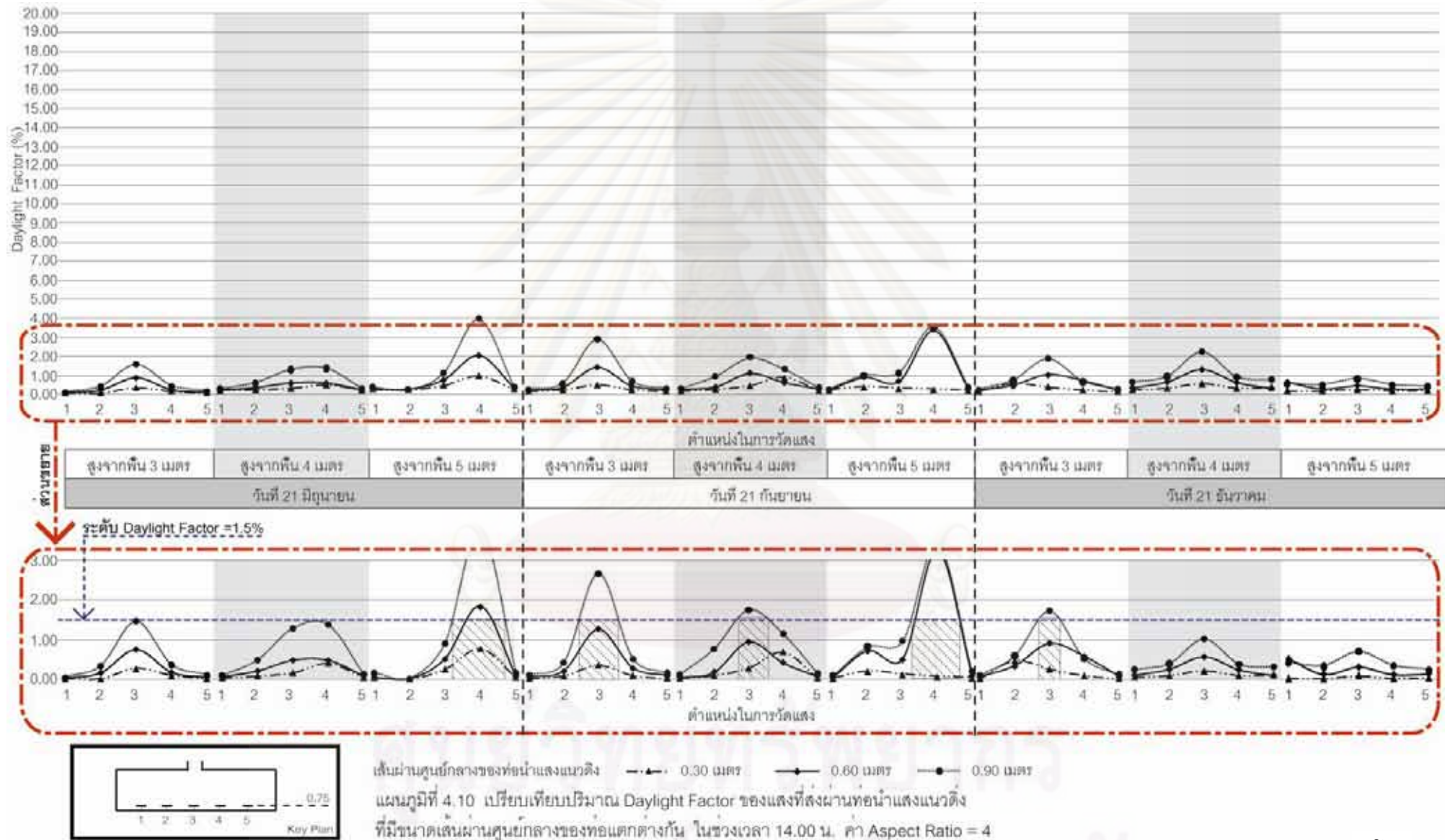
เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรด้านขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง ที่ส่งผลต่อความส่องสว่างที่ส่องผ่านเข้าสู่หุ่นจำลอง ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองในรูปแบบของแผนภูมิ โดยเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ตามช่วงเวลาที่วัด 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. และค่า Aspect Ratio 2, 4, 6, 8 และ 10 ดังแผนภูมิที่ 4.6 – 4.20

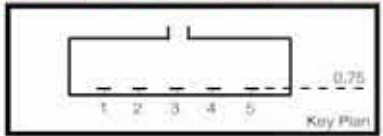
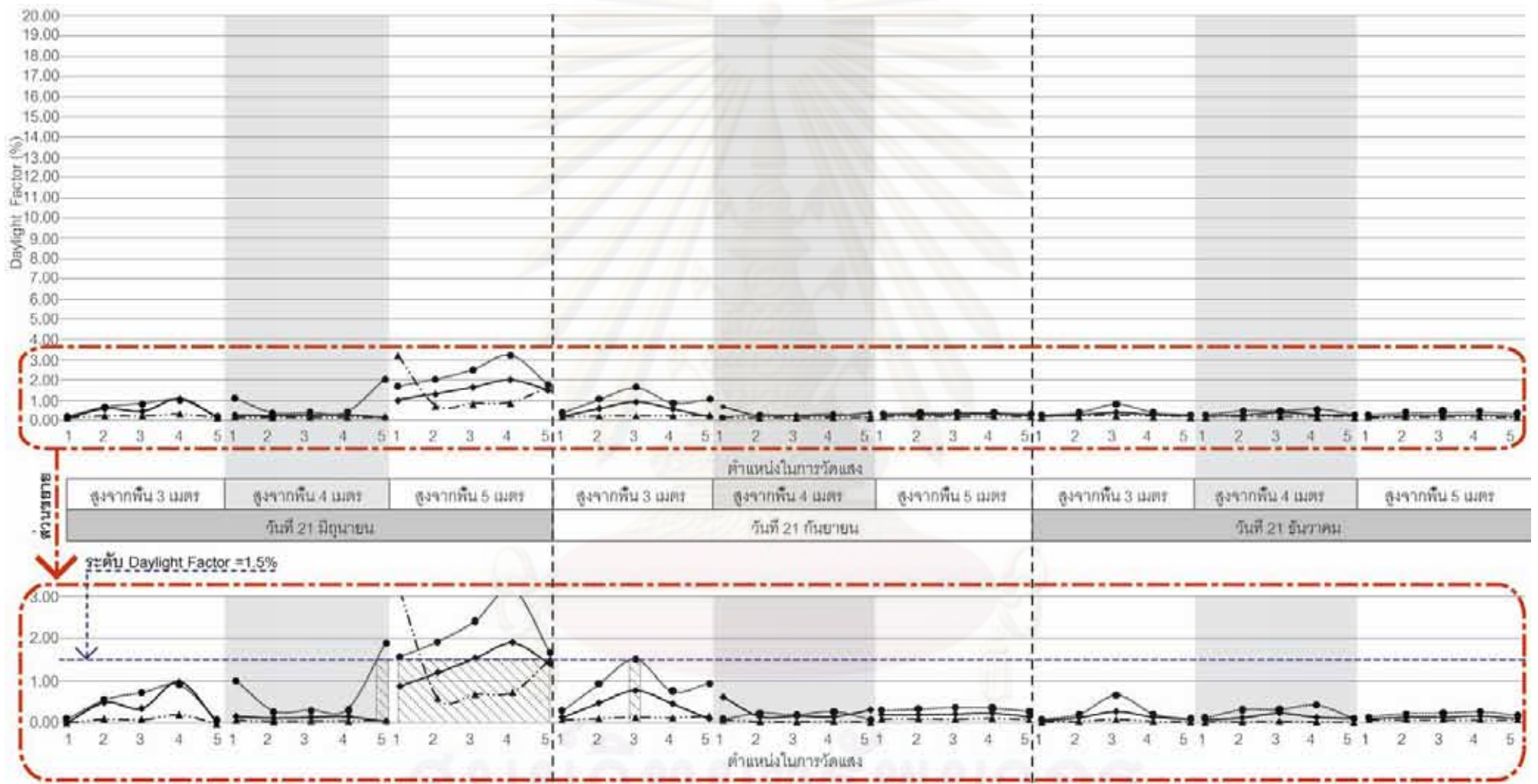




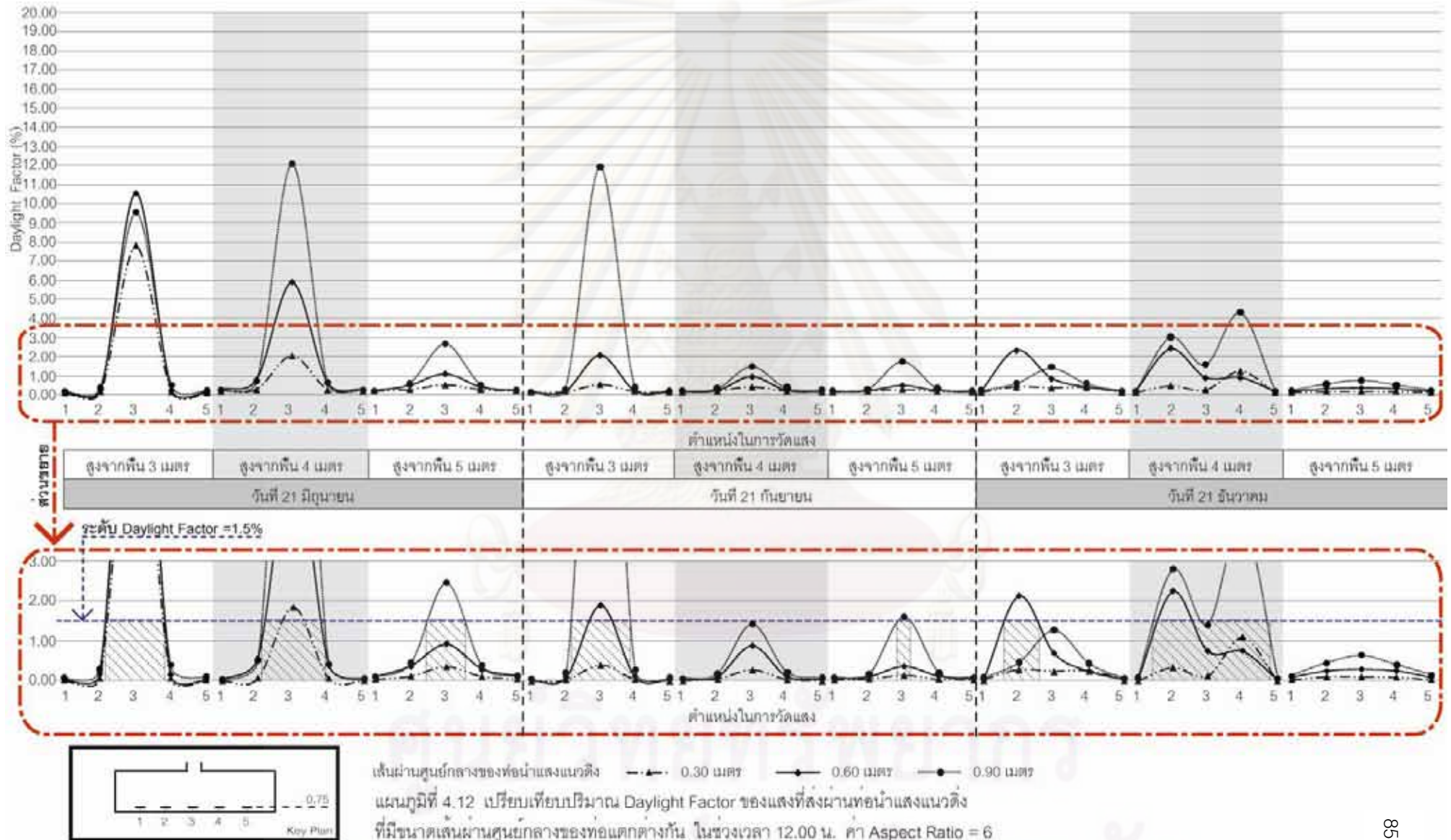


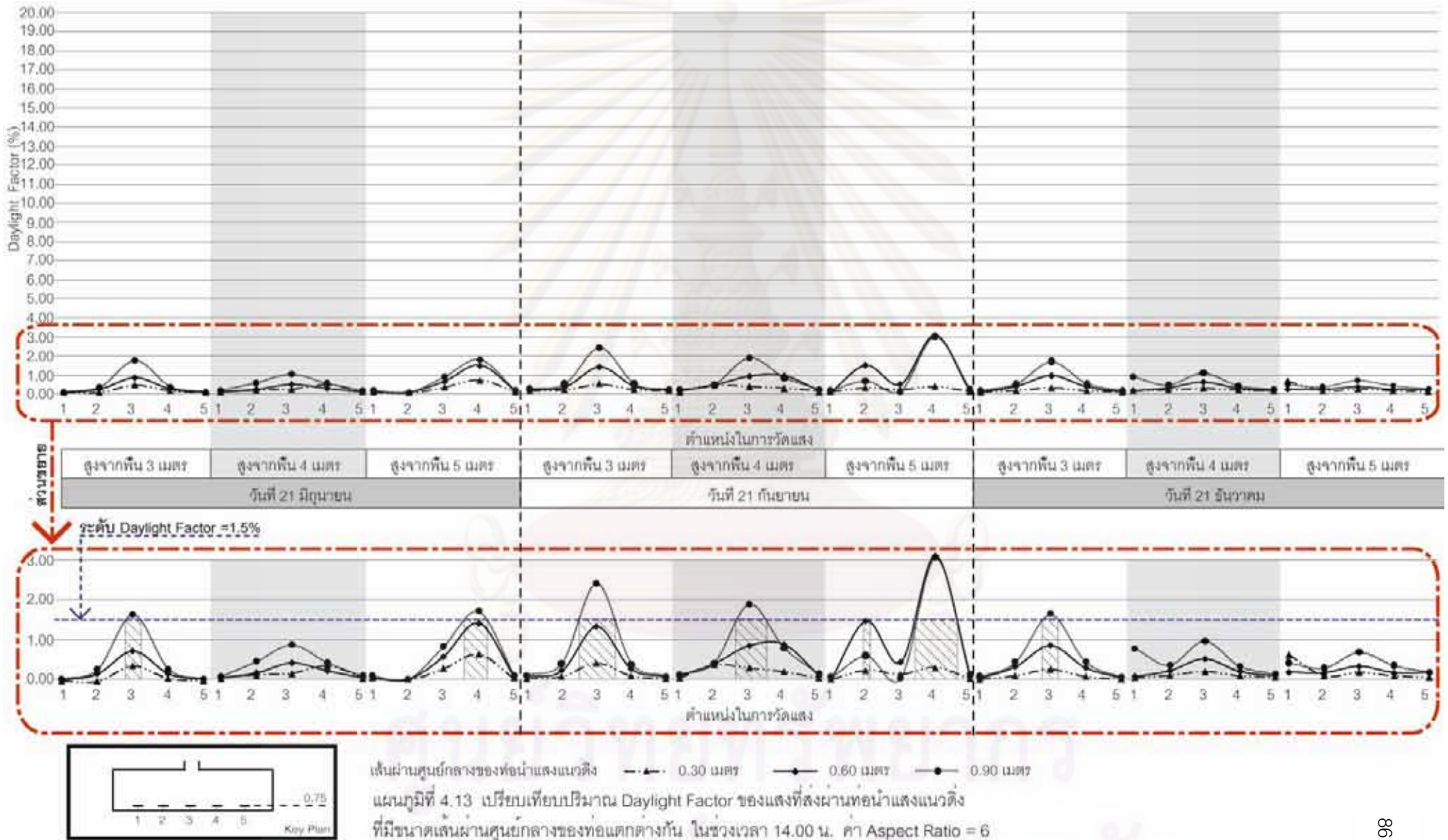


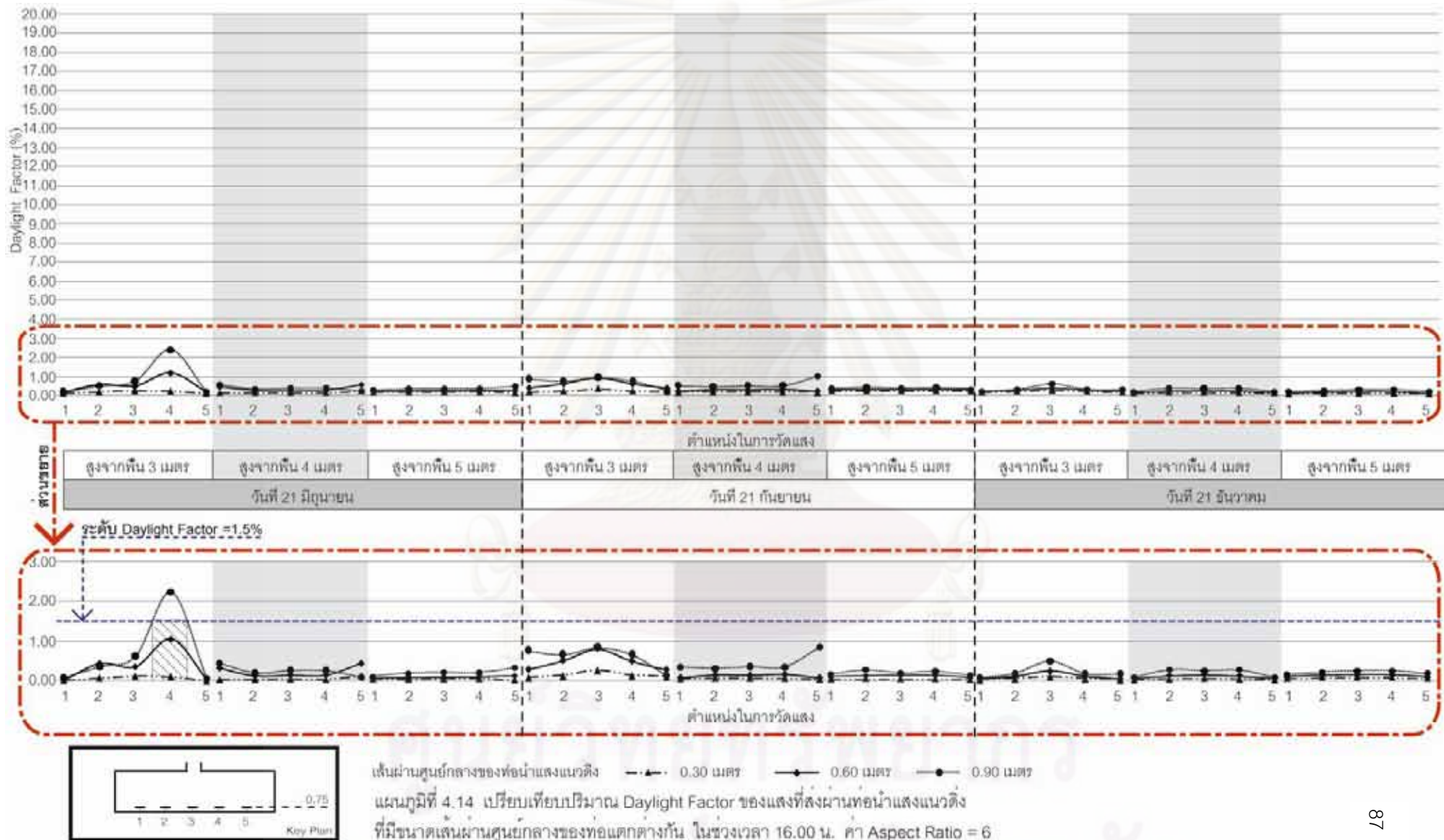


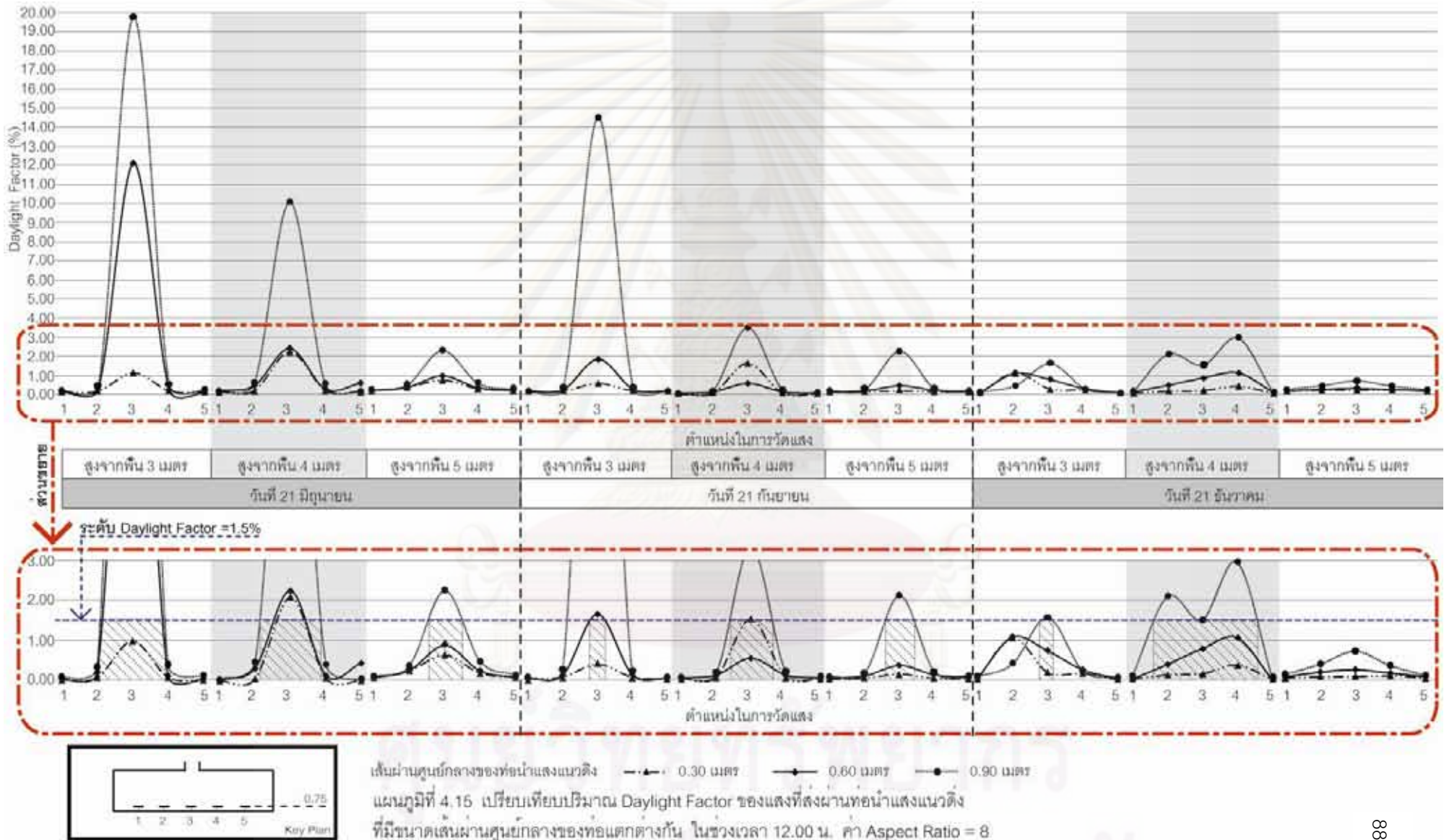


เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง \dashrightarrow 0.30 เมตร \dashrightarrow 0.60 เมตร \dashrightarrow 0.90 เมตร
 แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงที่ส่งผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง
 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 16.00 น. ค่า Aspect Ratio = 4

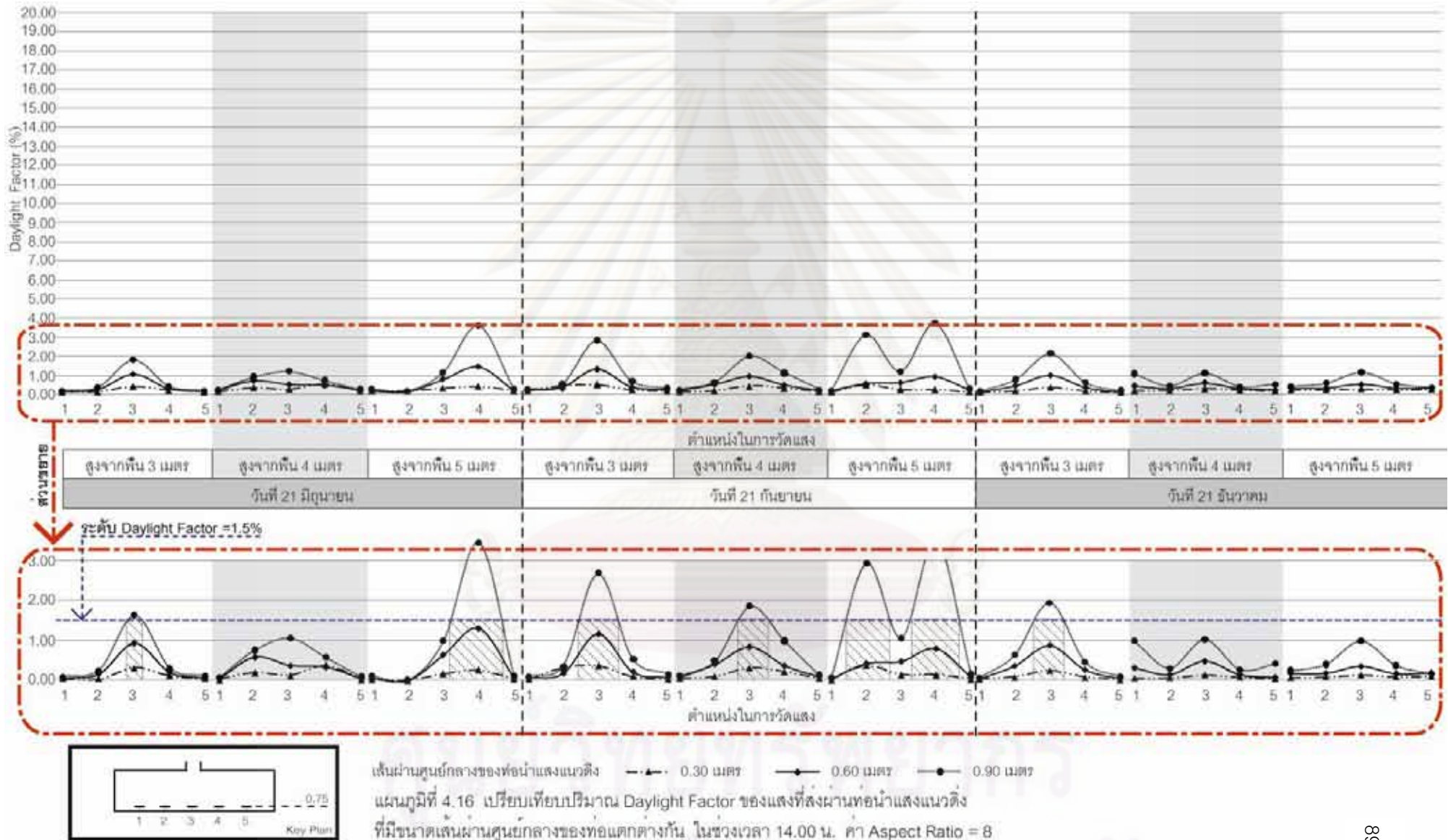


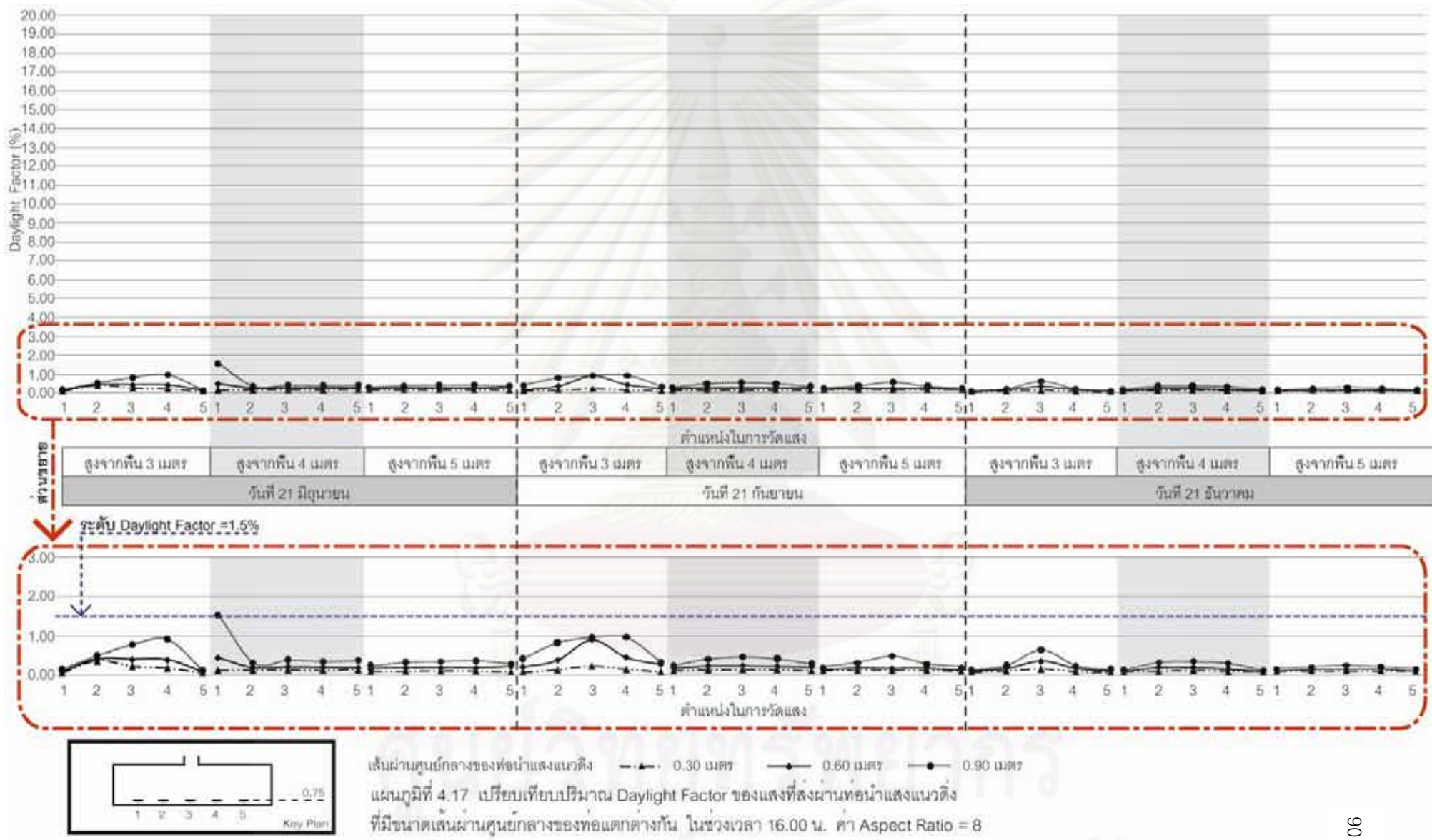


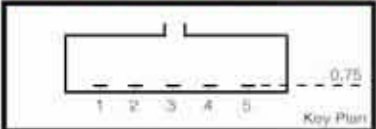
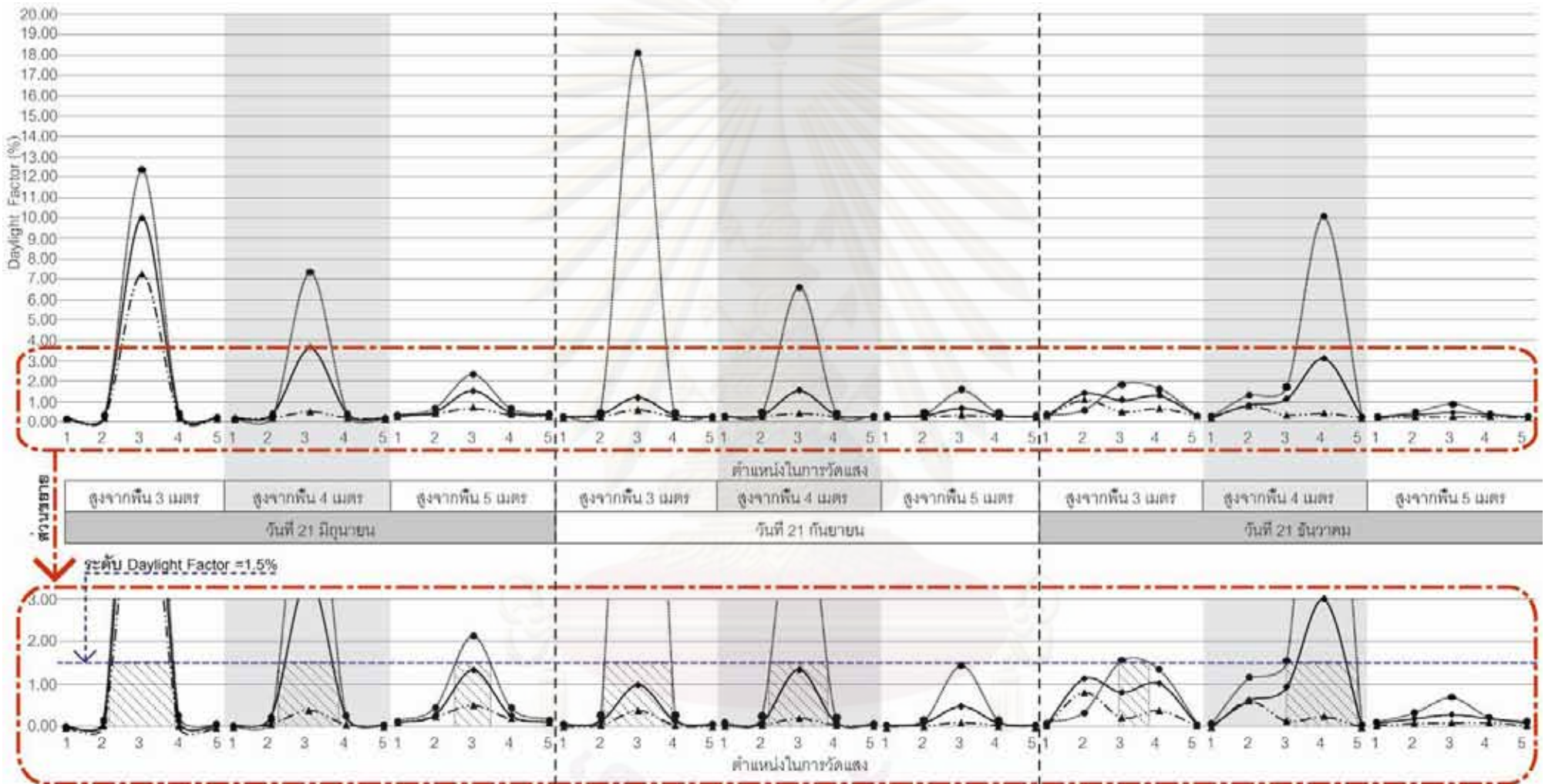




เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแสงแนวตั้ง ▴ 0.30 เมตร ● 0.60 เมตร ■ 0.90 เมตร
 แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงที่ส่งผ่านท่อแสงแนวตั้ง
 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 12.00 น. ค่า Aspect Ratio = 8

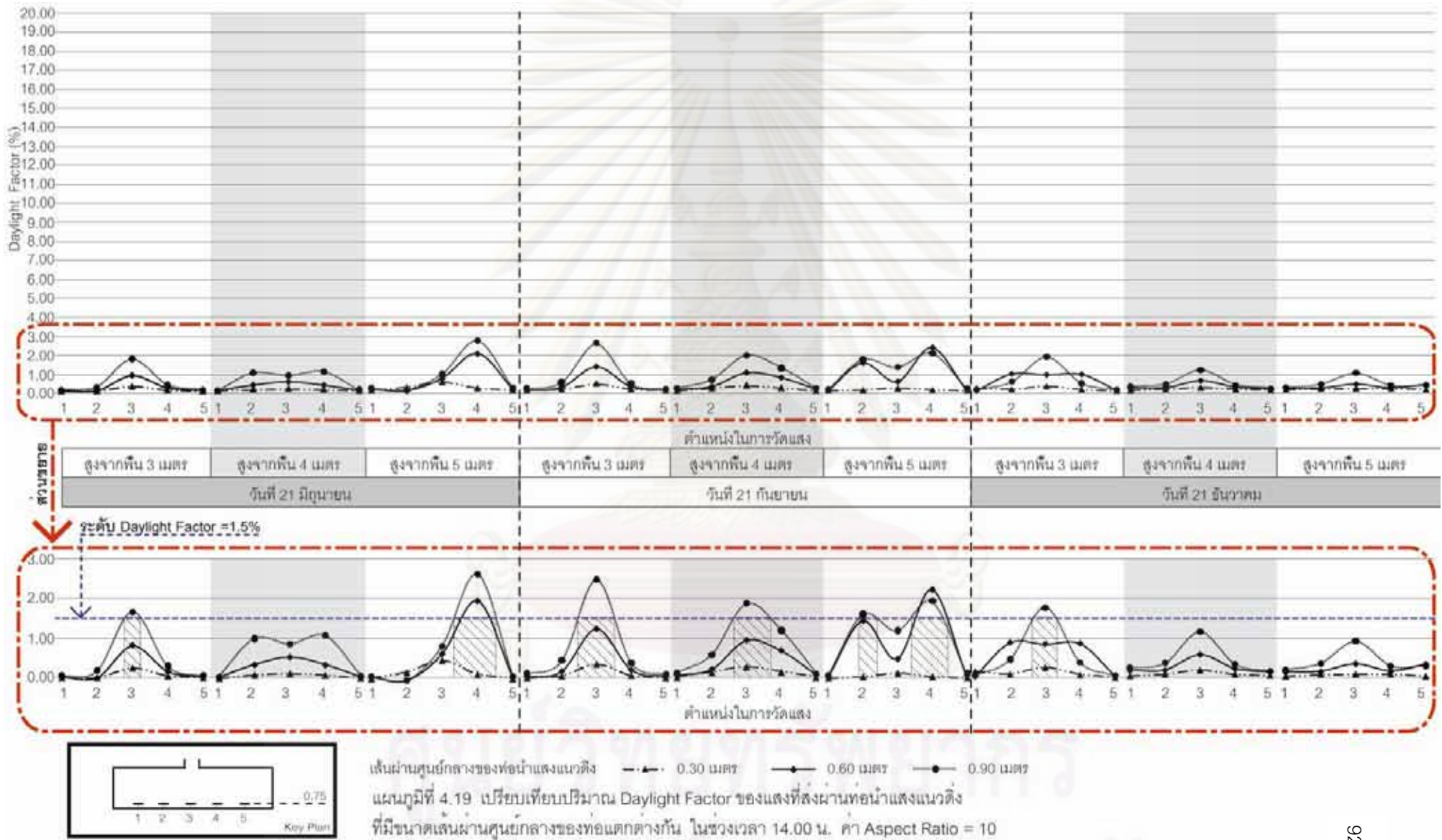


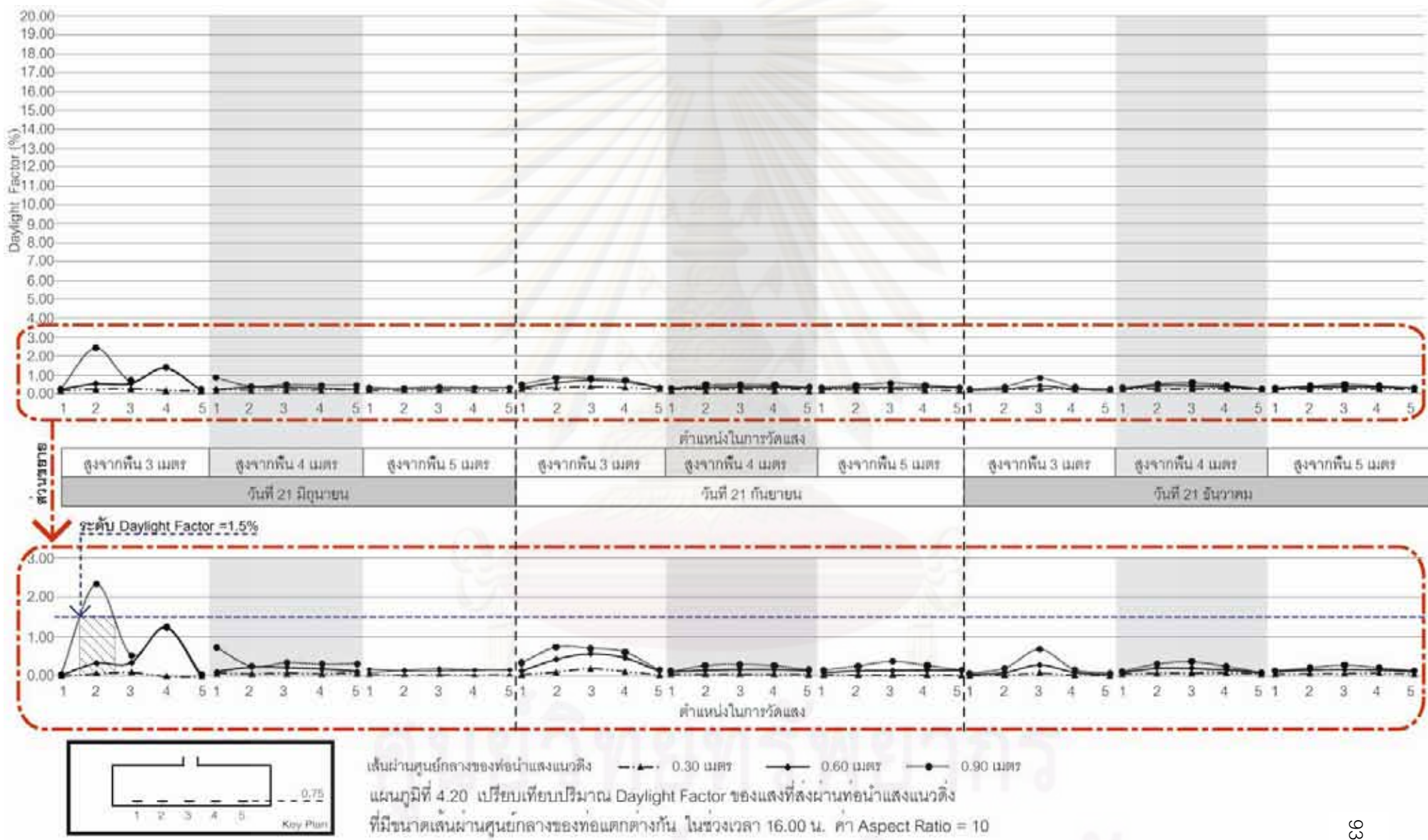




เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง —●— 0.30 เมตร —●— 0.60 เมตร —●— 0.90 เมตร

แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณ Daylight Factor ของแสงที่ส่งผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแตกต่างกัน ในช่วงเวลา 12.00 น. ค่า Aspect Ratio = 10



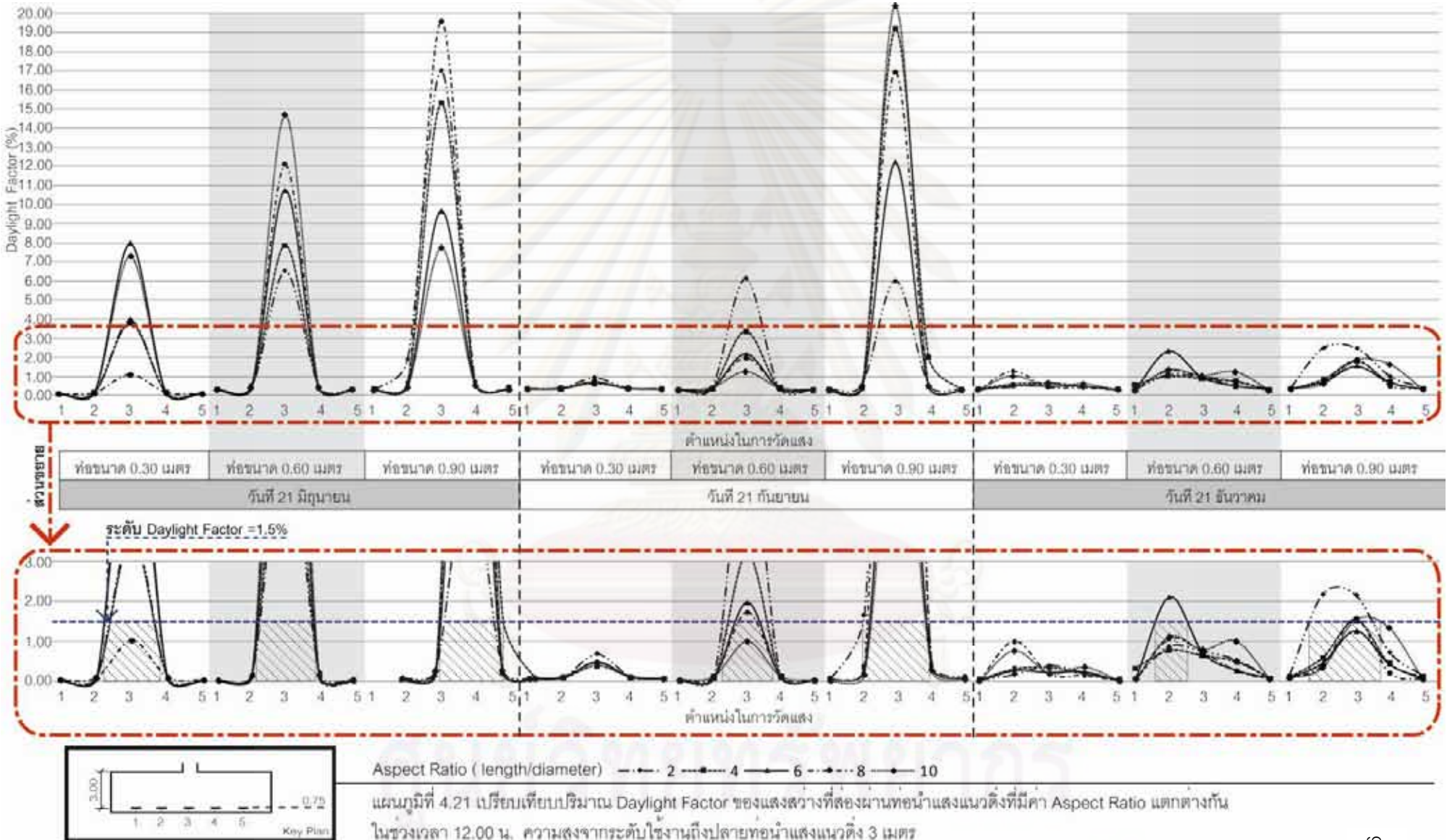


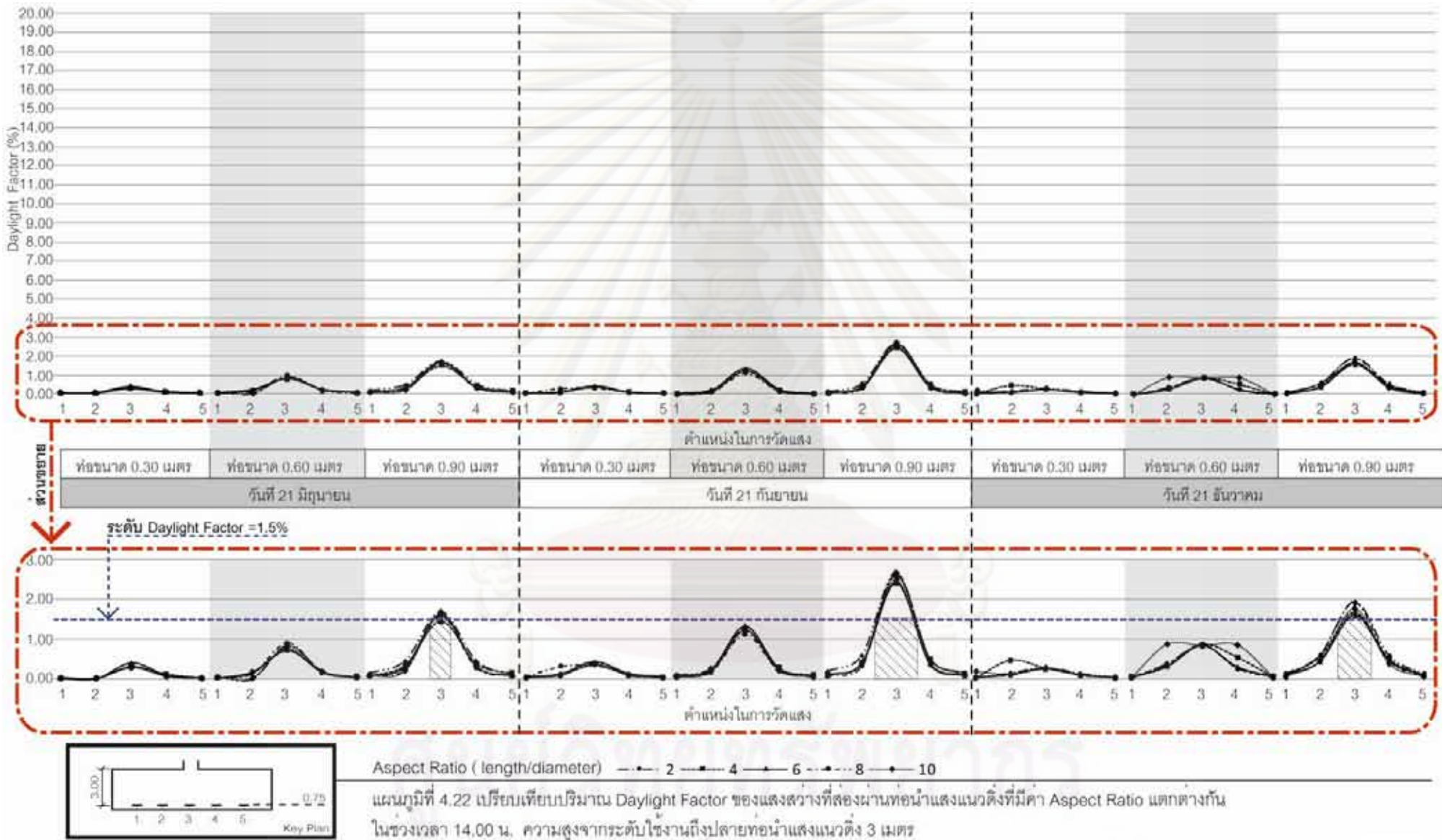
4.1.6 เปรียบเทียบความส่องสว่างปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีค่า Aspect Ratio 2, 4, 6, 8 และ 10

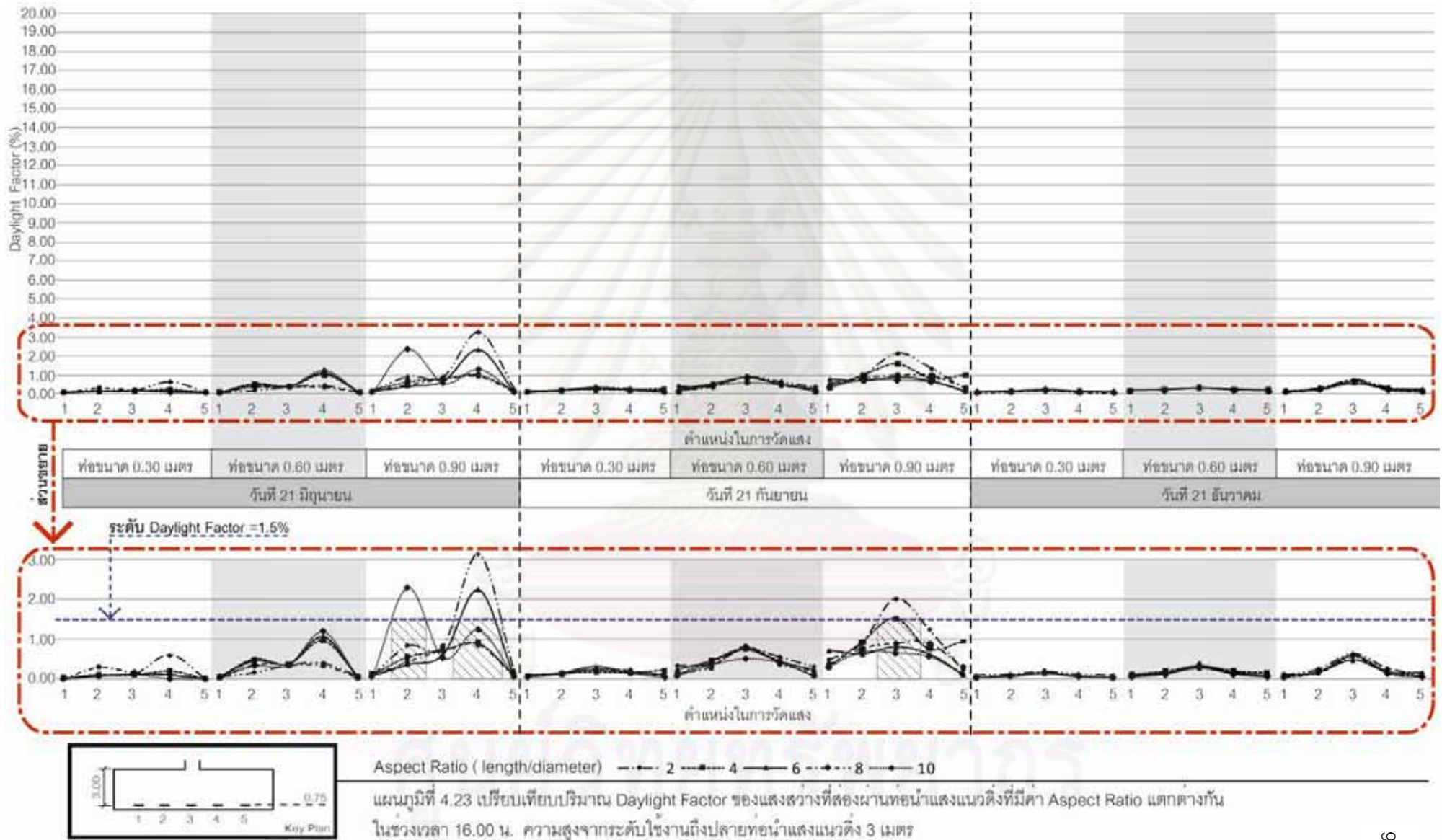
เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรด้าน Aspect Ratio ของท่อนำแสงแนวตั้ง ที่ส่งผลต่อ ความส่องสว่างที่ส่องผ่านเข้าสู่หุ่นจำลอง ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองในรูปแบบของแผนภูมิ โดยเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ตามช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. และระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่ 3 , 4 และ 5 เมตร ดังแผนภูมิที่ 4.21 – 4.29

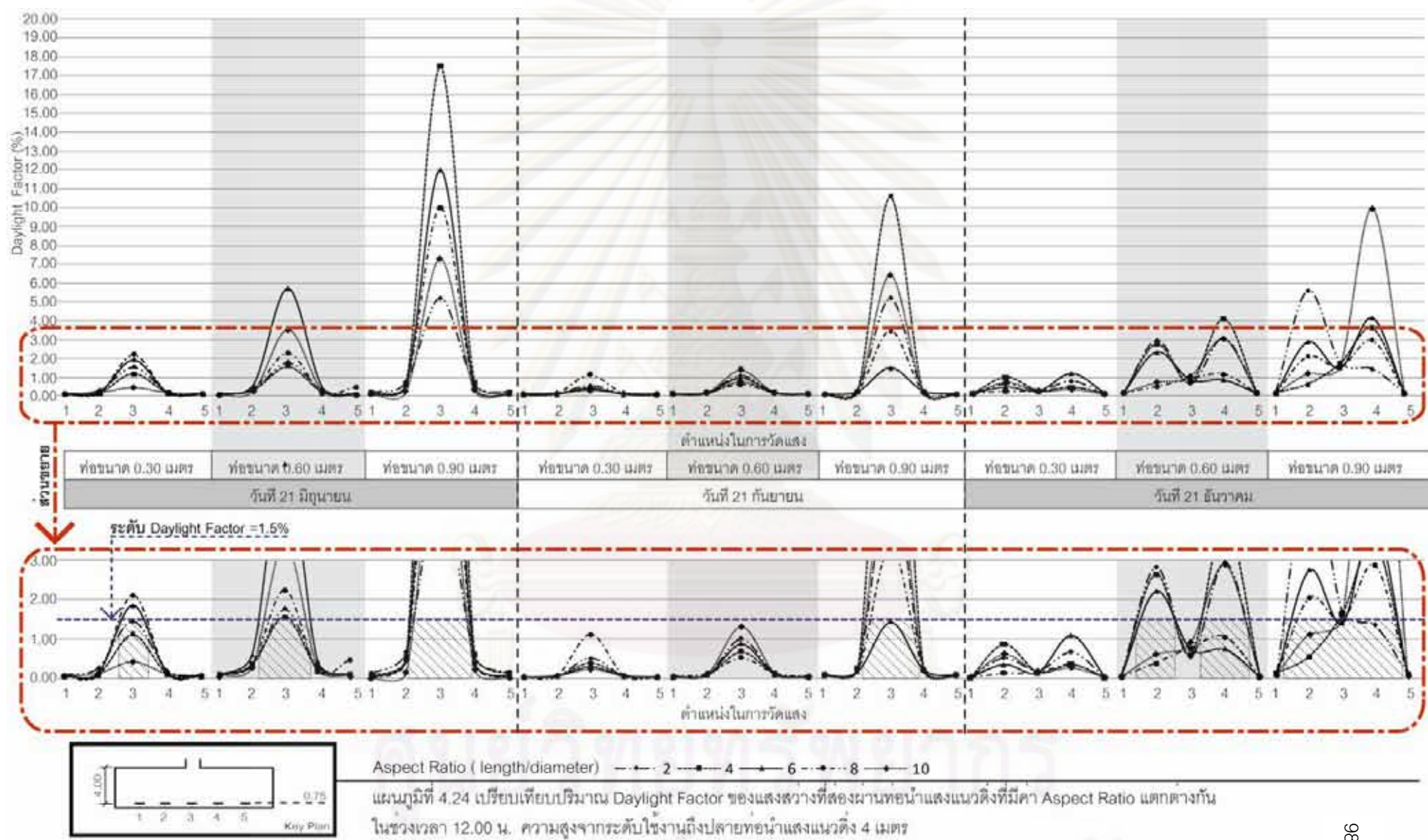


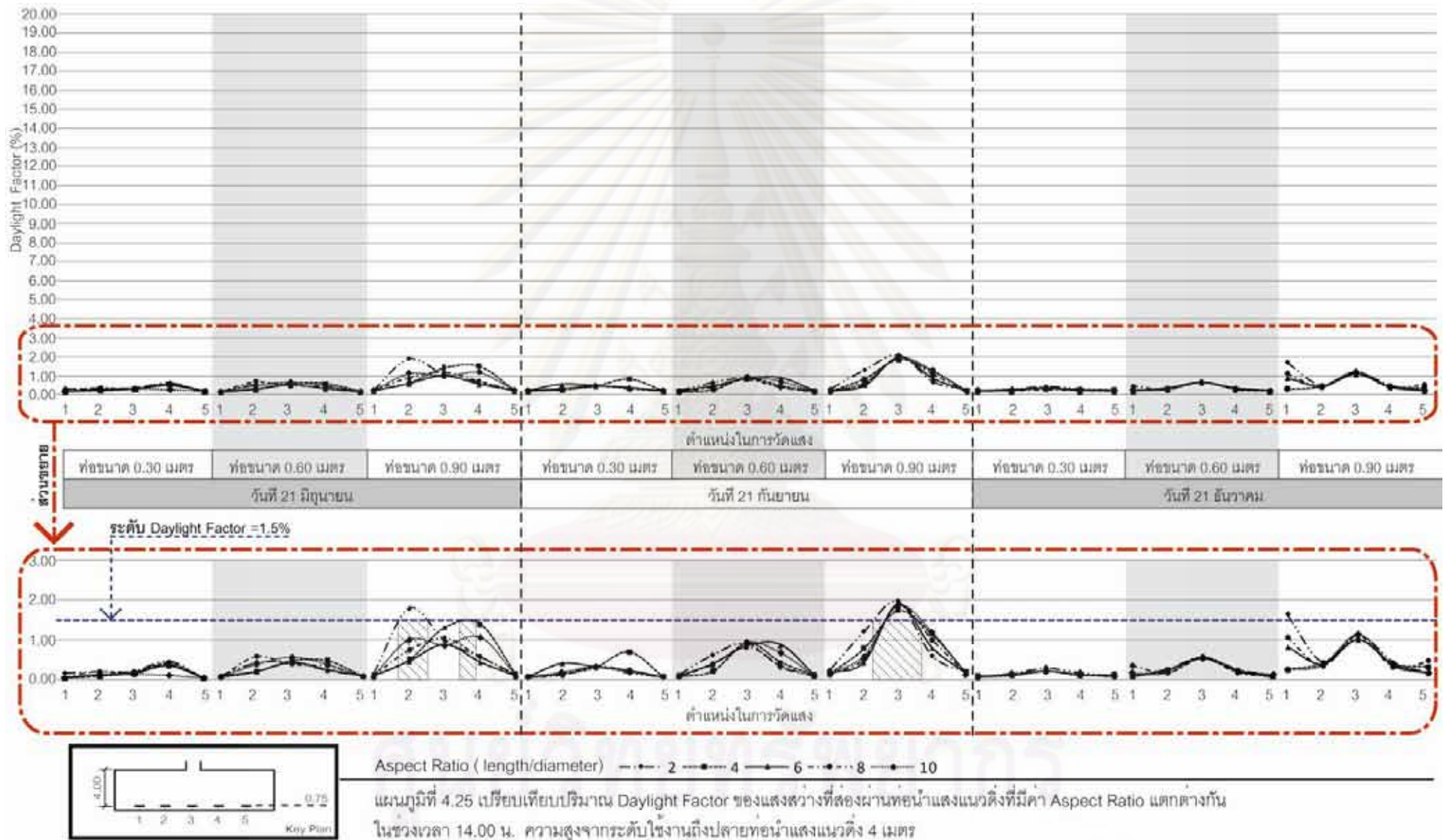
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

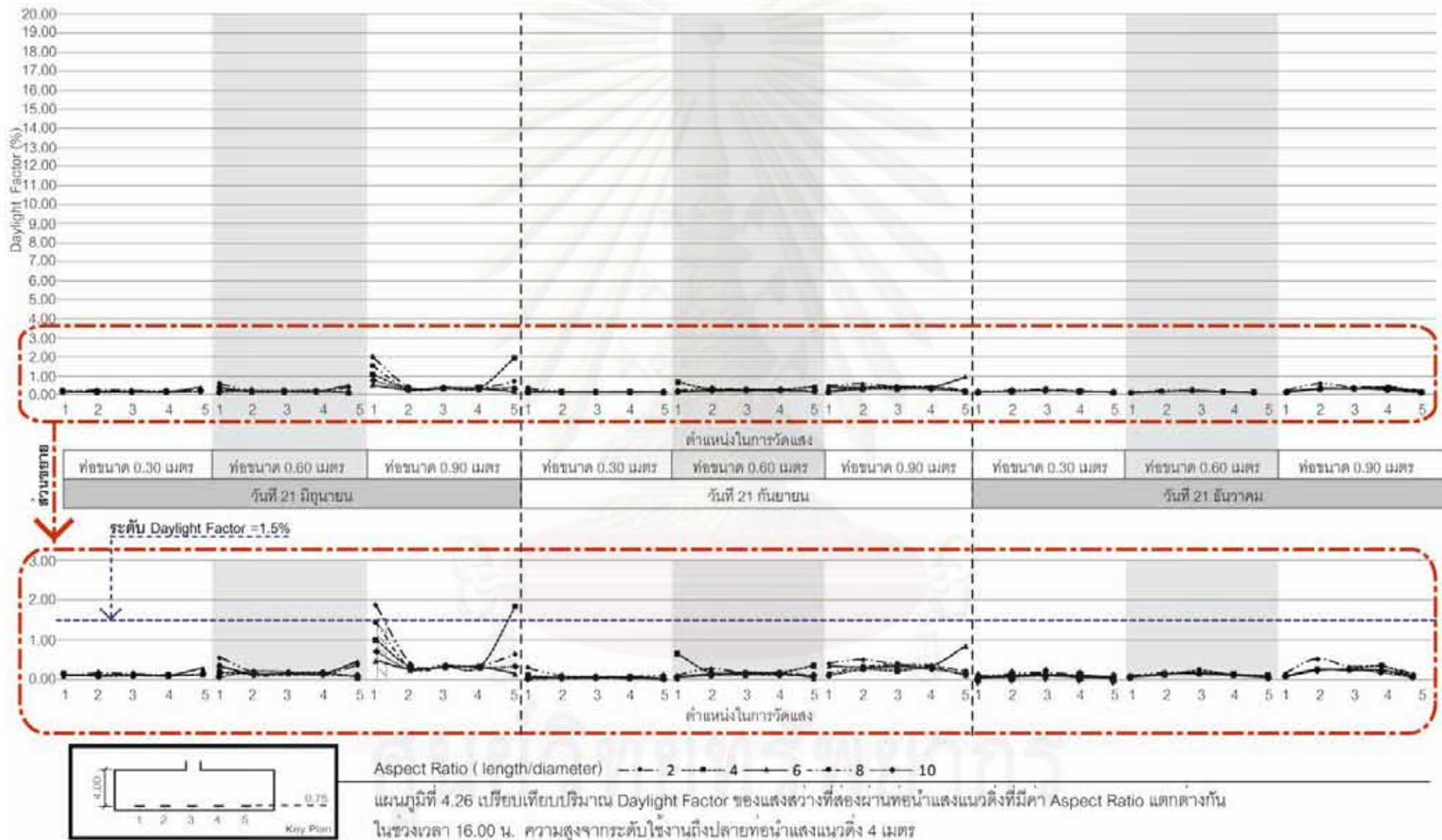


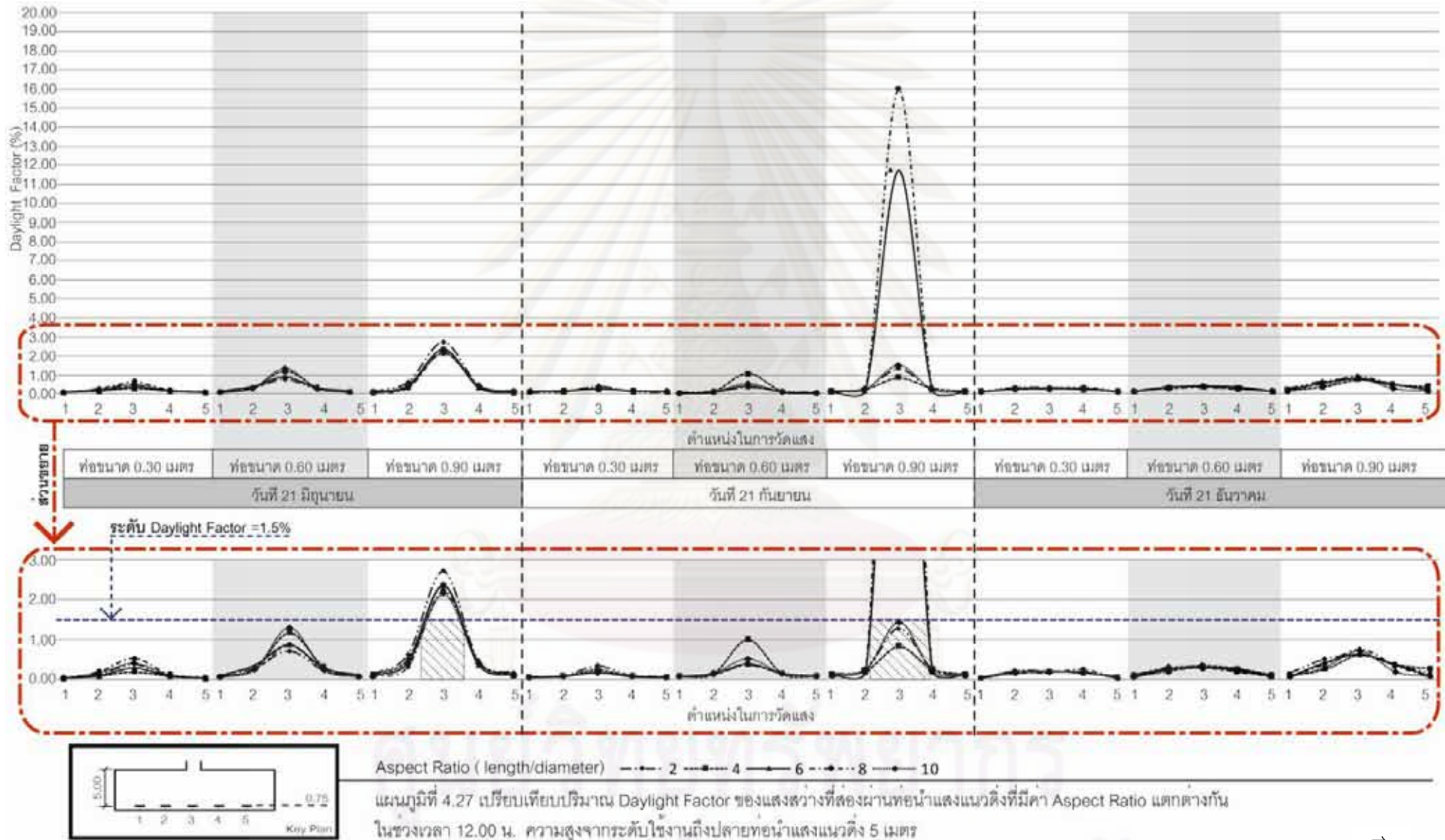


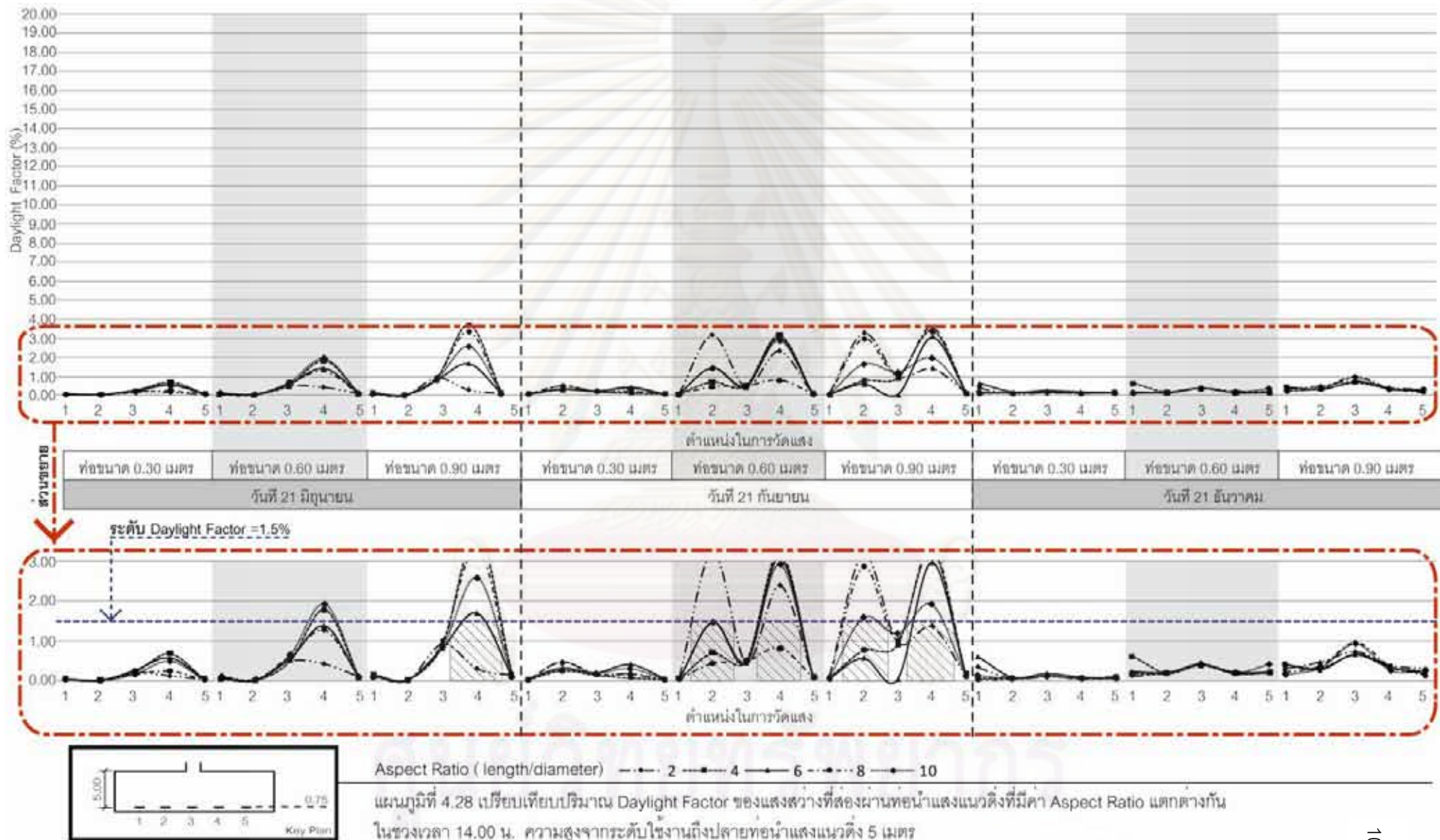


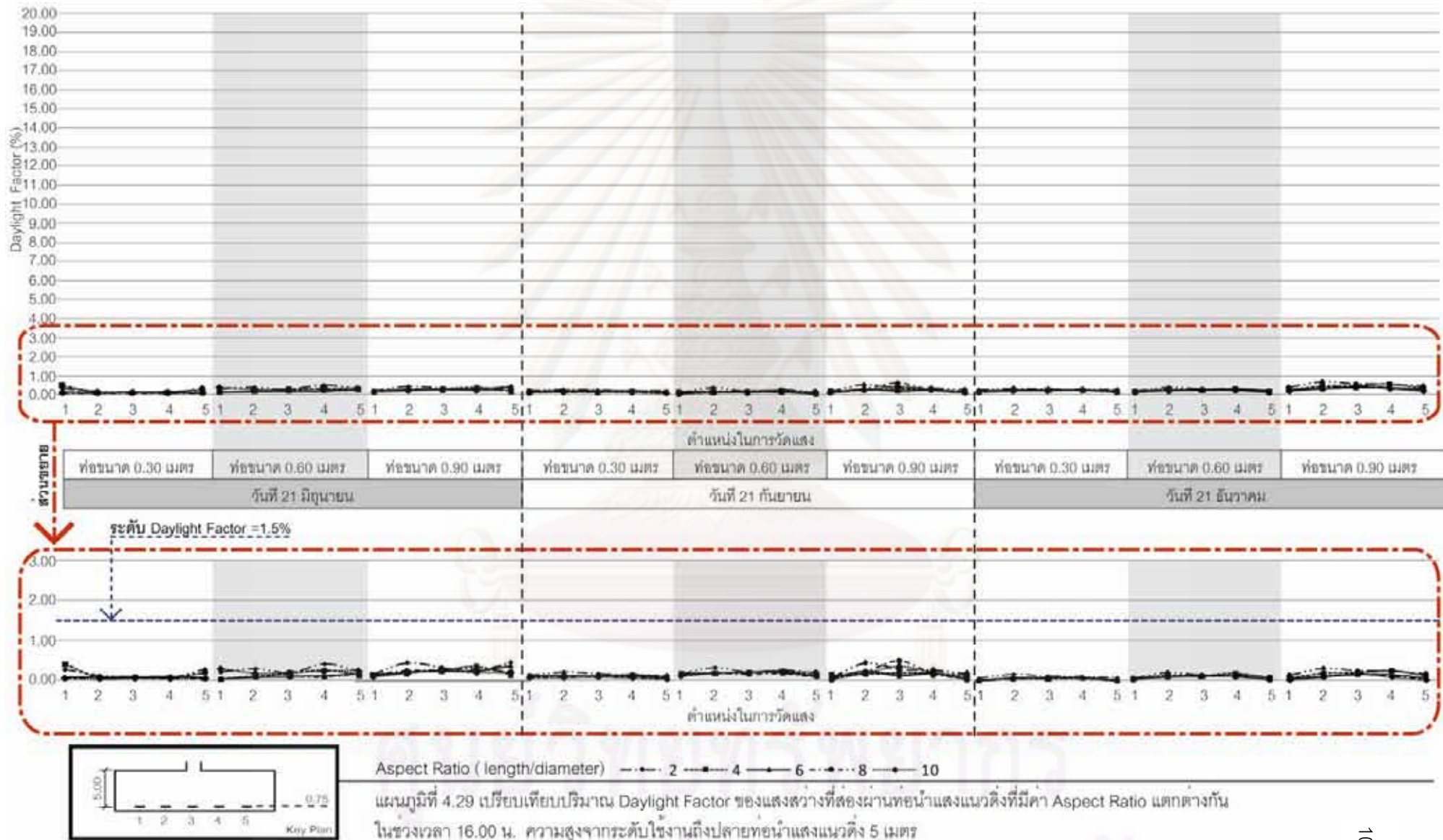










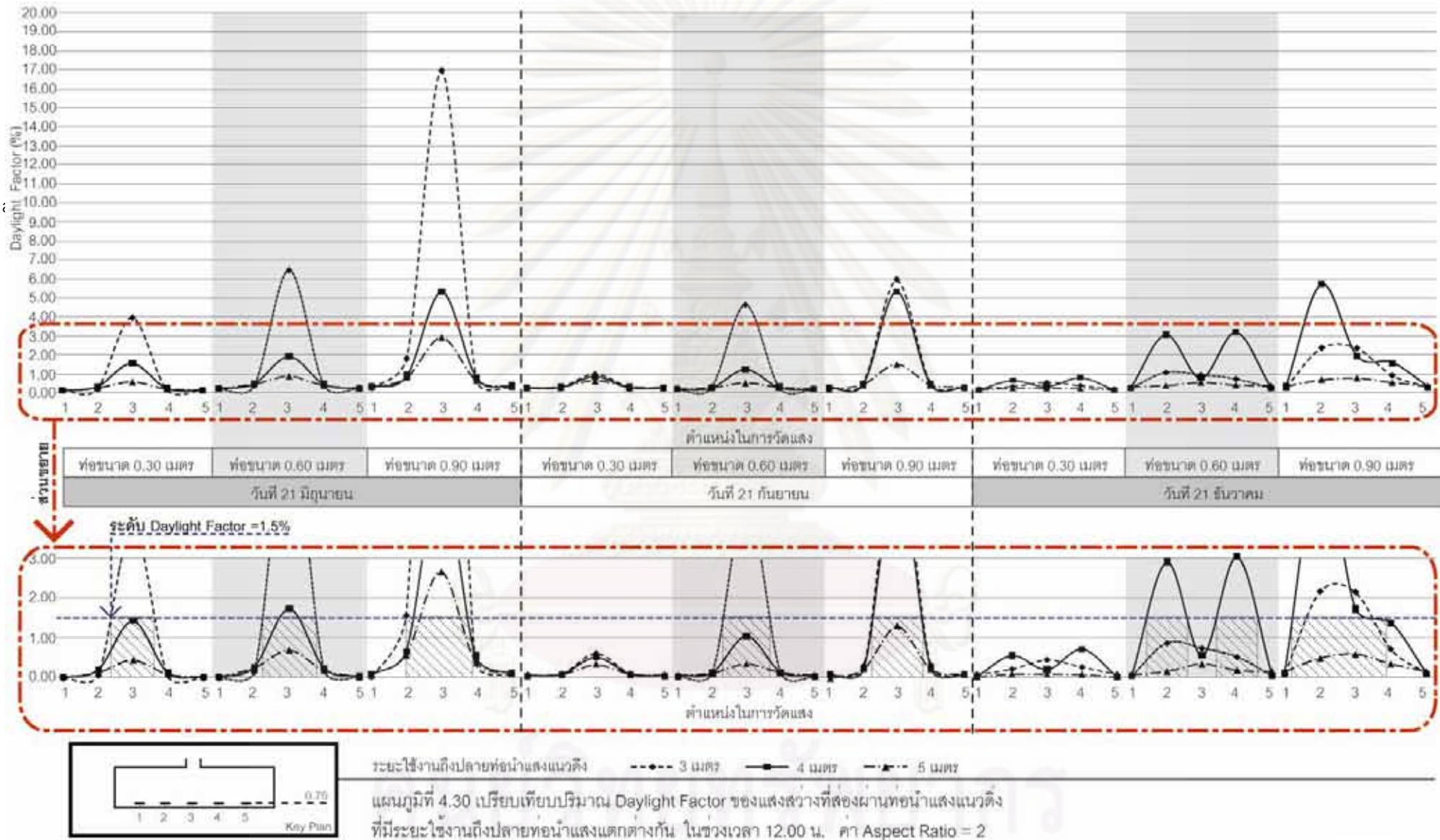


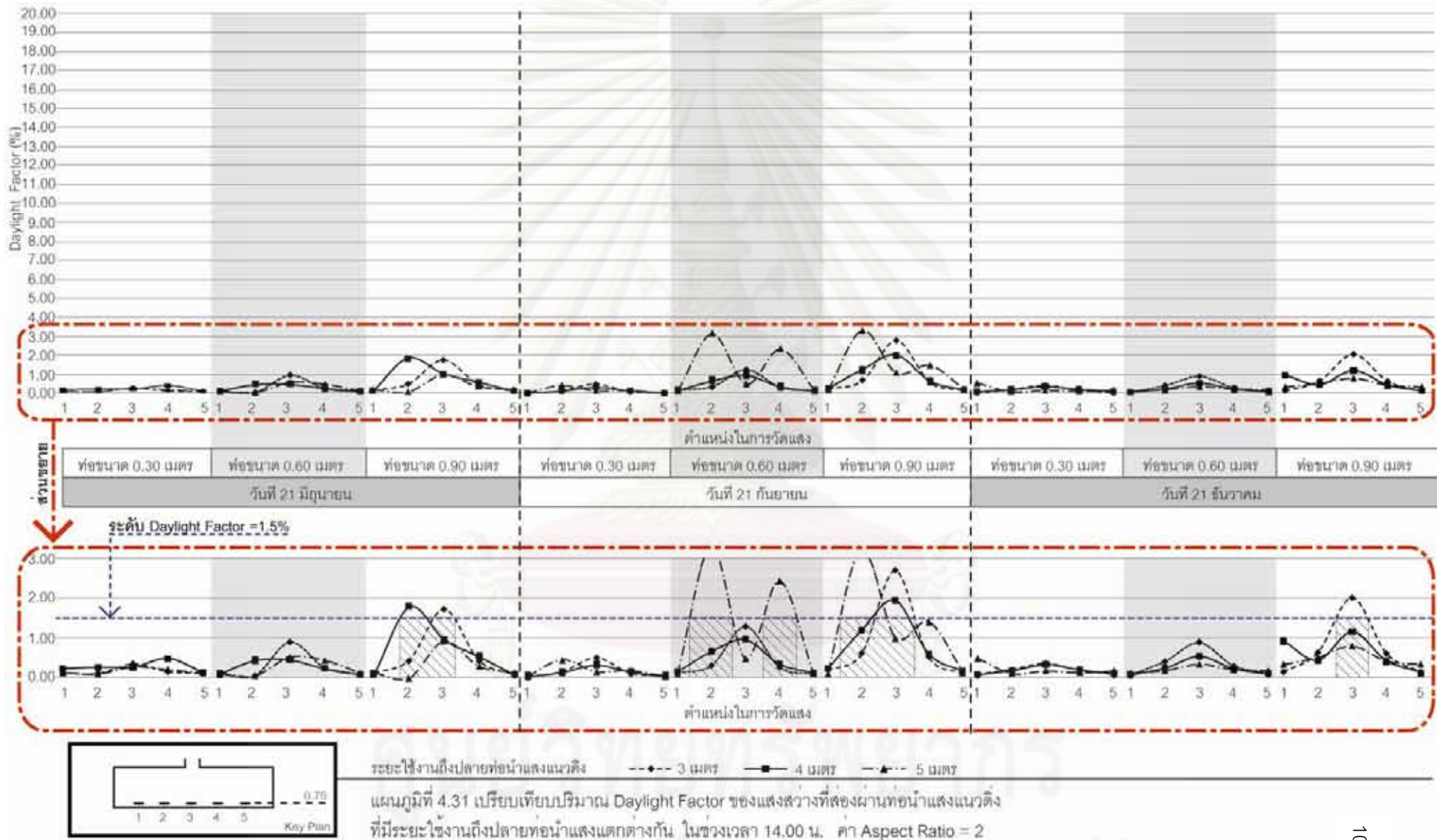
4.1.7 เปรียบเทียบความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3, 4 และ 5 เมตร

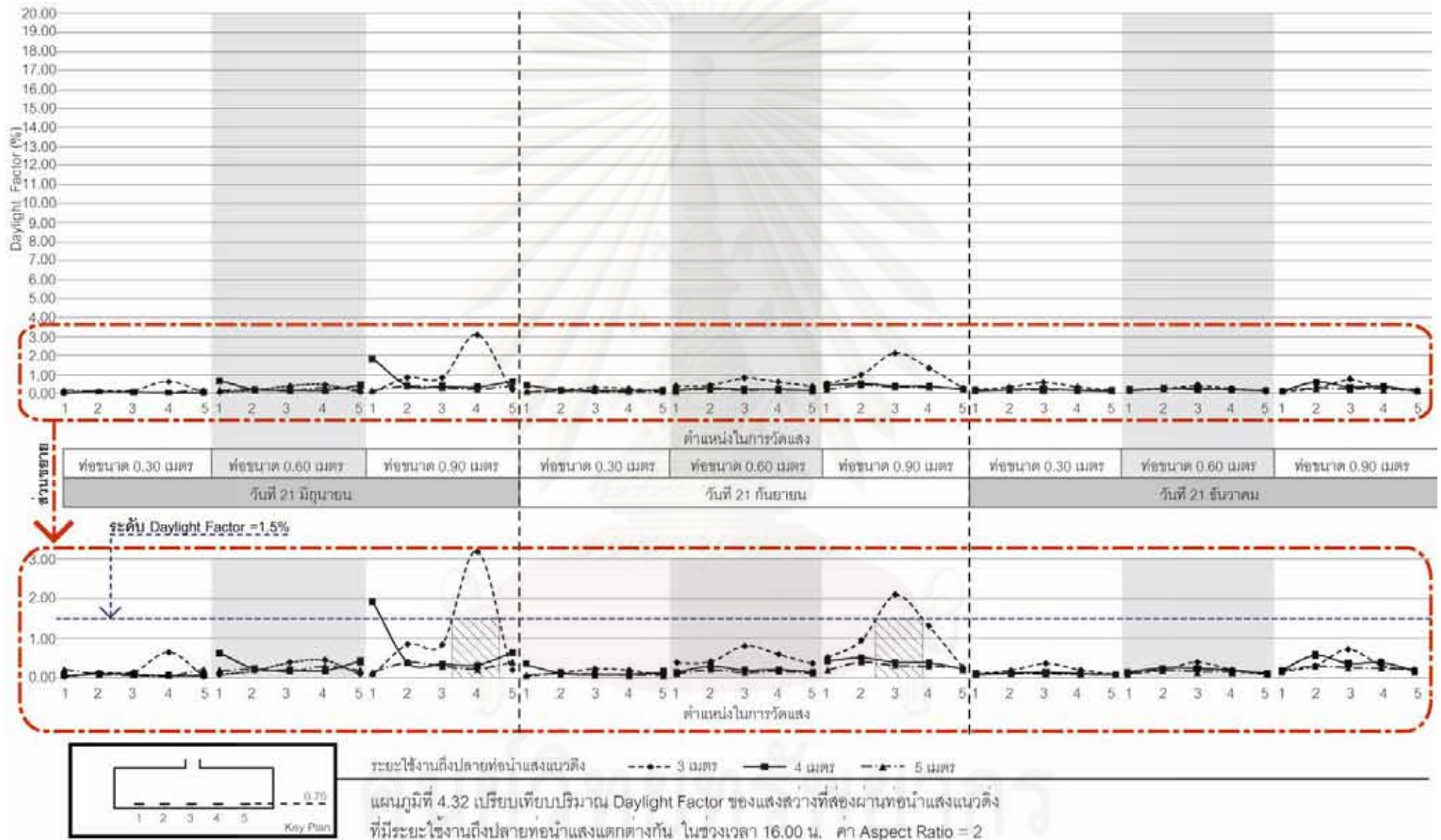
เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง ที่ส่งผลต่อความส่องสว่างที่ส่องผ่านเข้าสู่หุ่นจำลอง ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองในรูปแบบของแผนภูมิ โดยเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ตามช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. และค่า Aspect Ratio ที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ดังแผนภูมิที่ 4.30 – 4.44

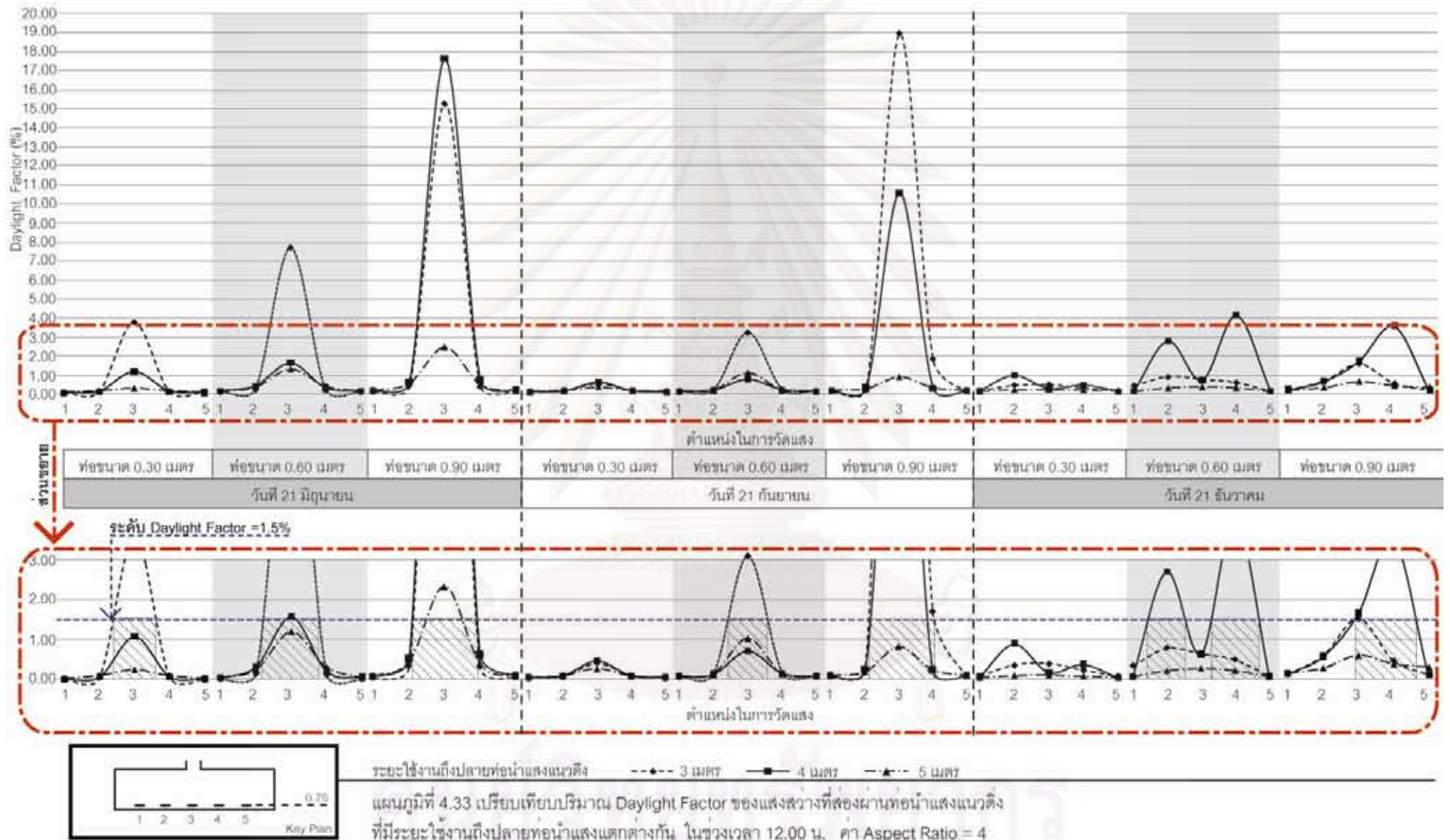


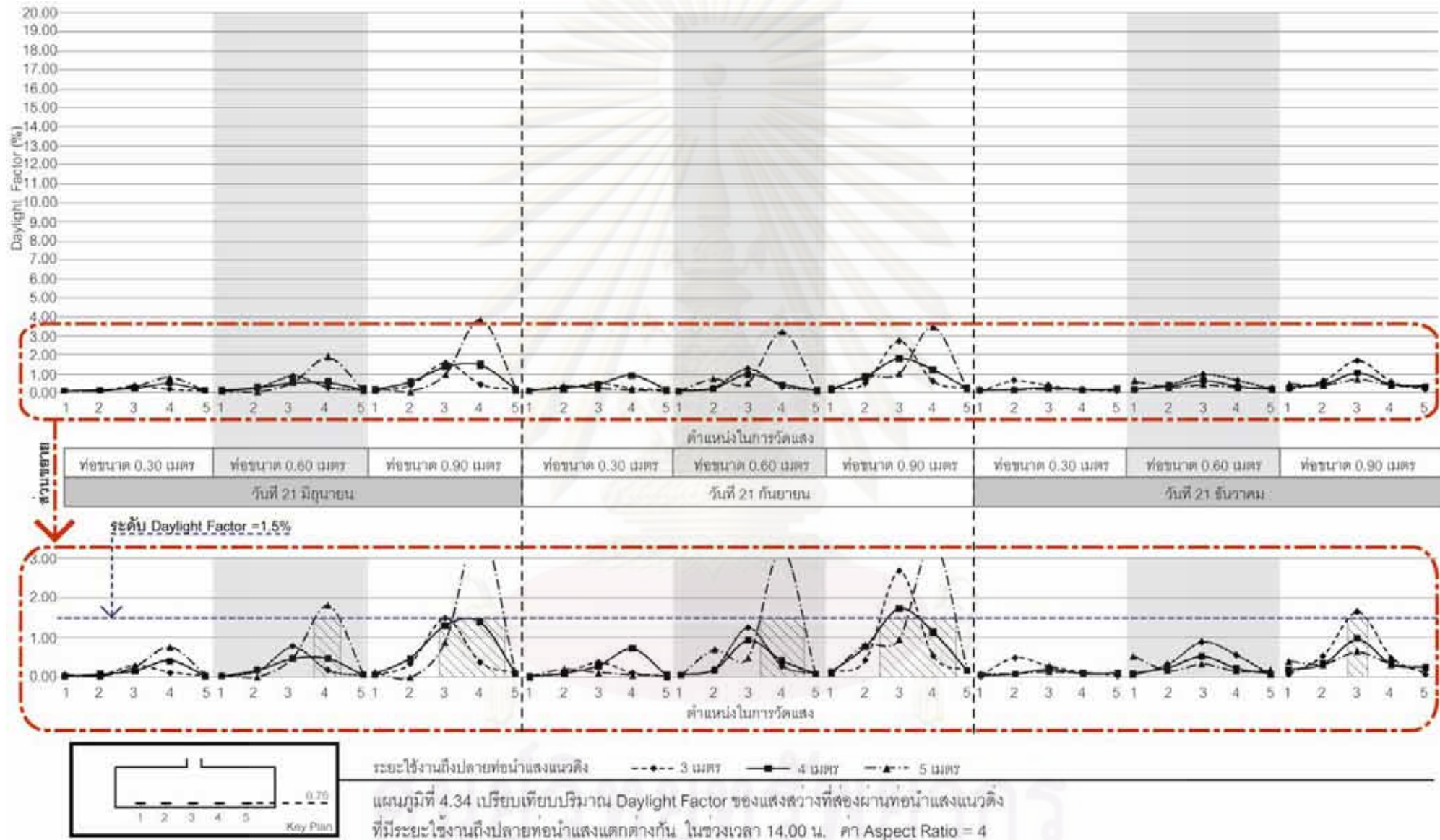
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

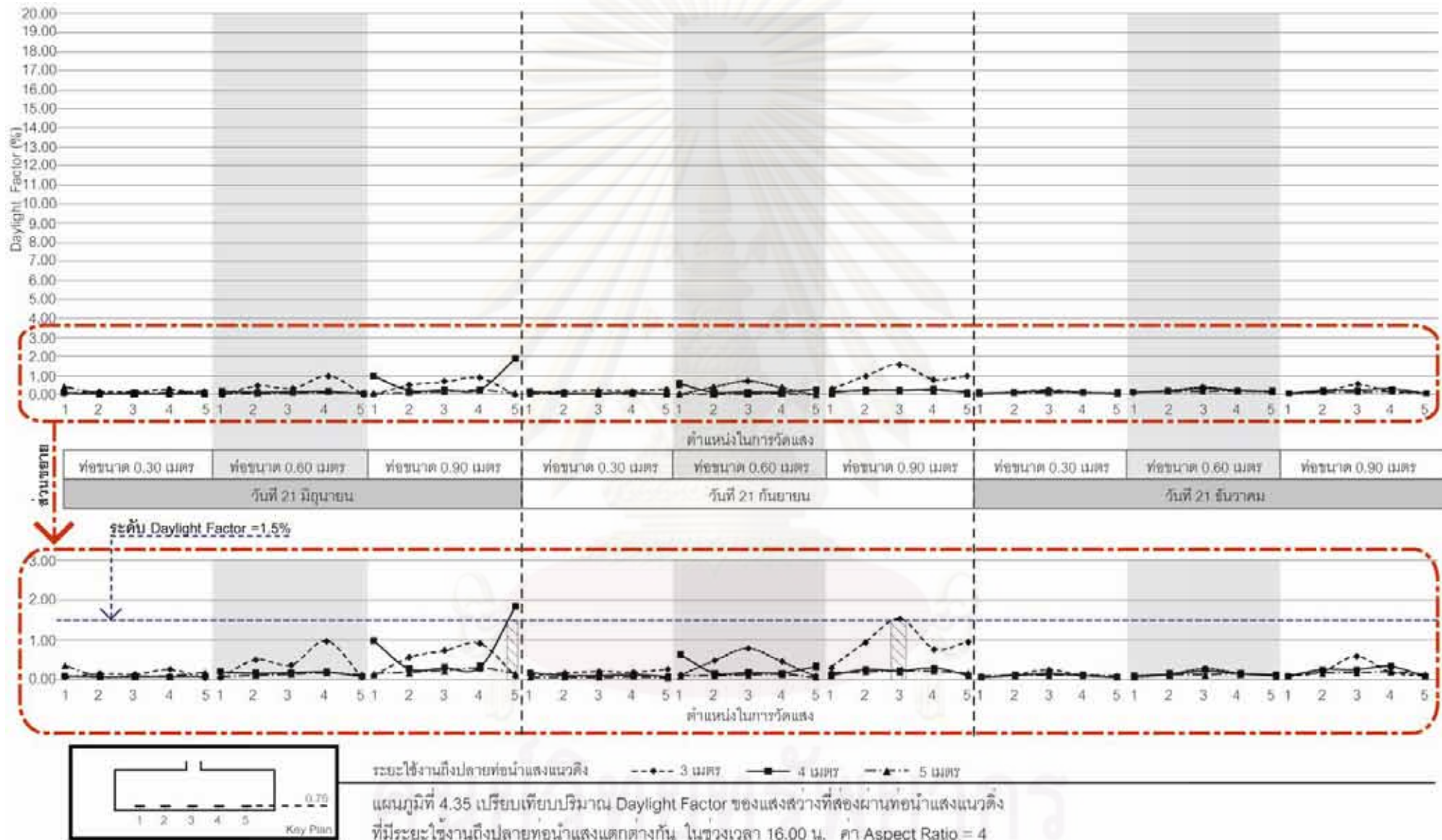


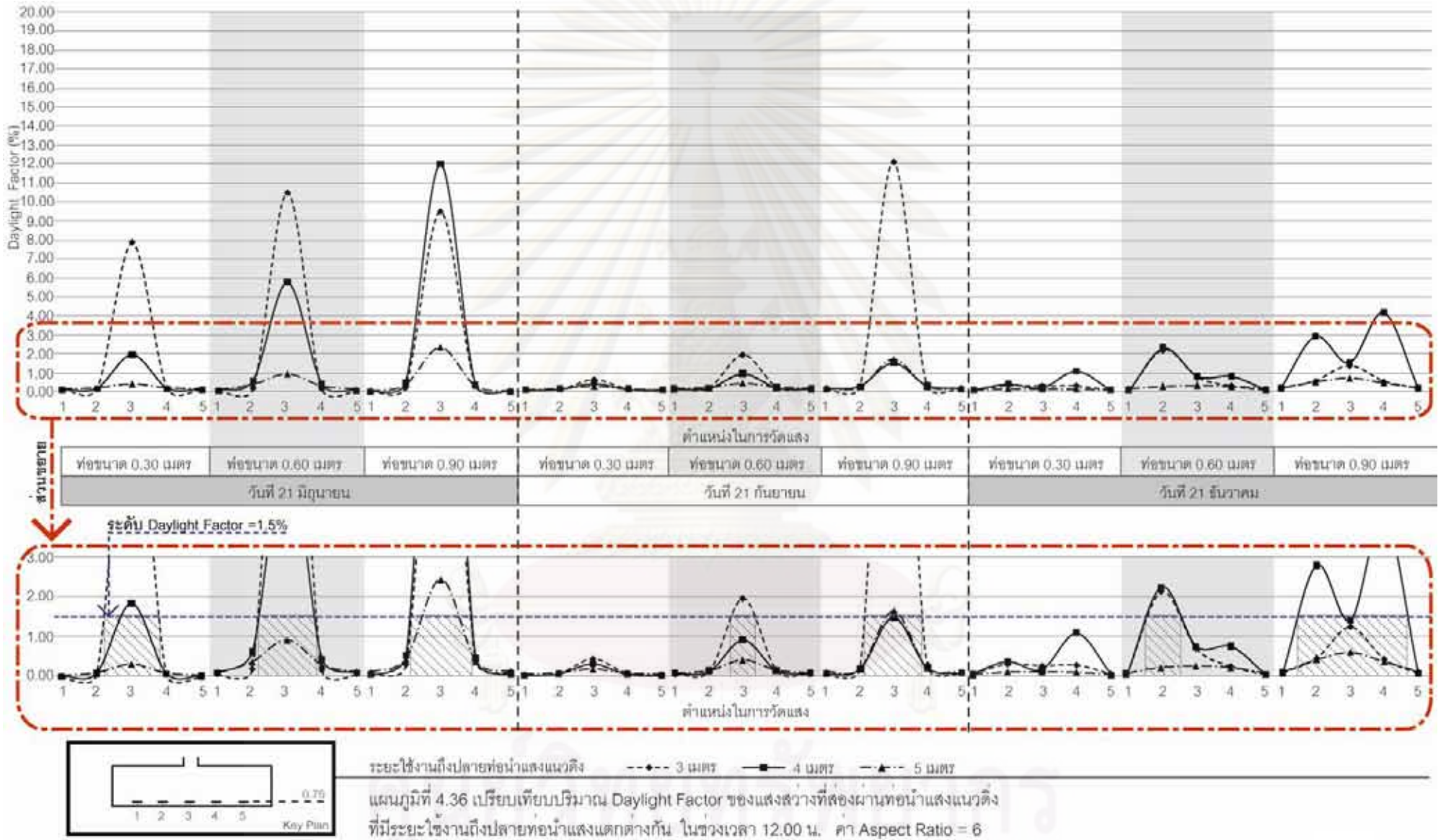


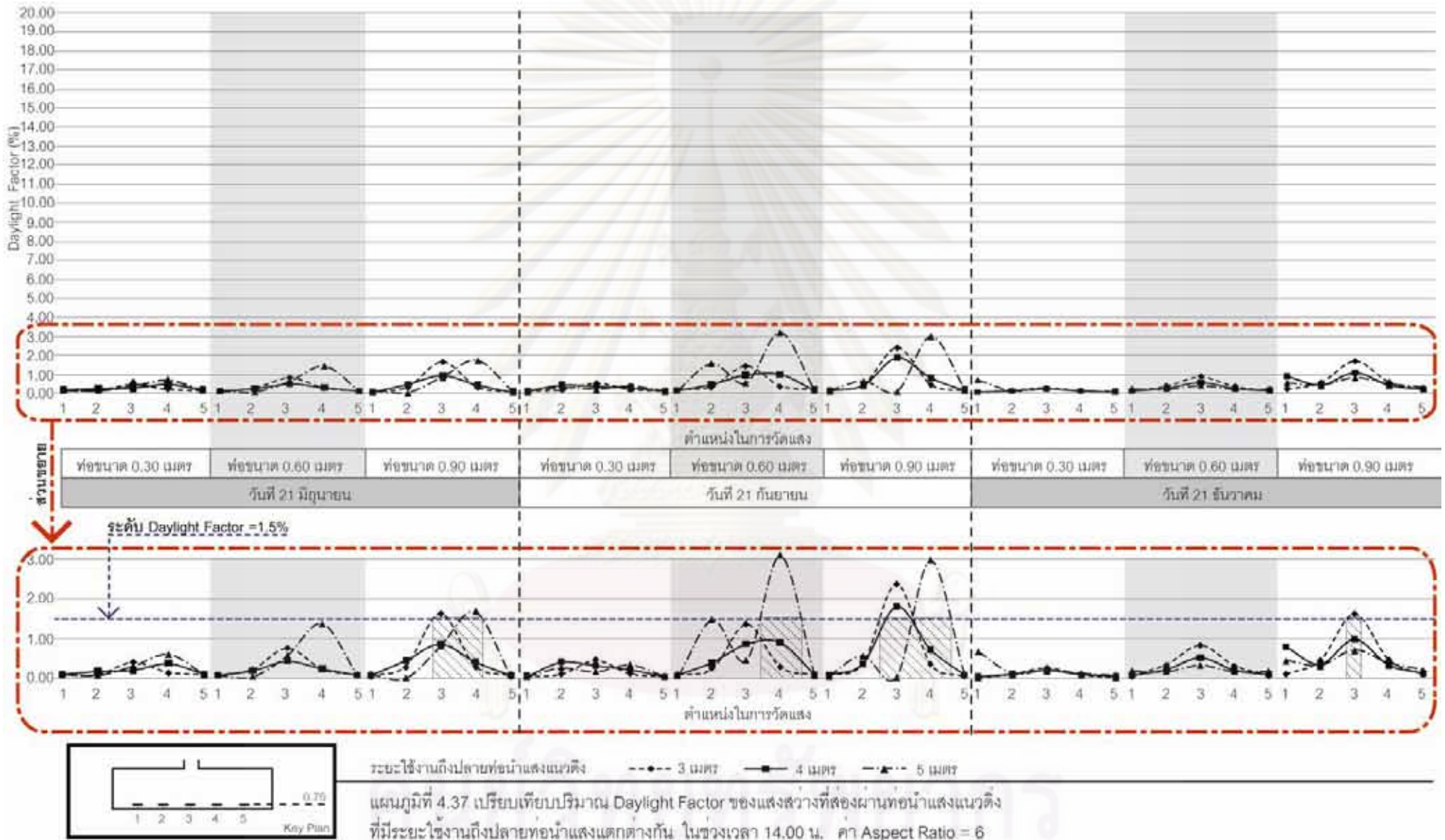


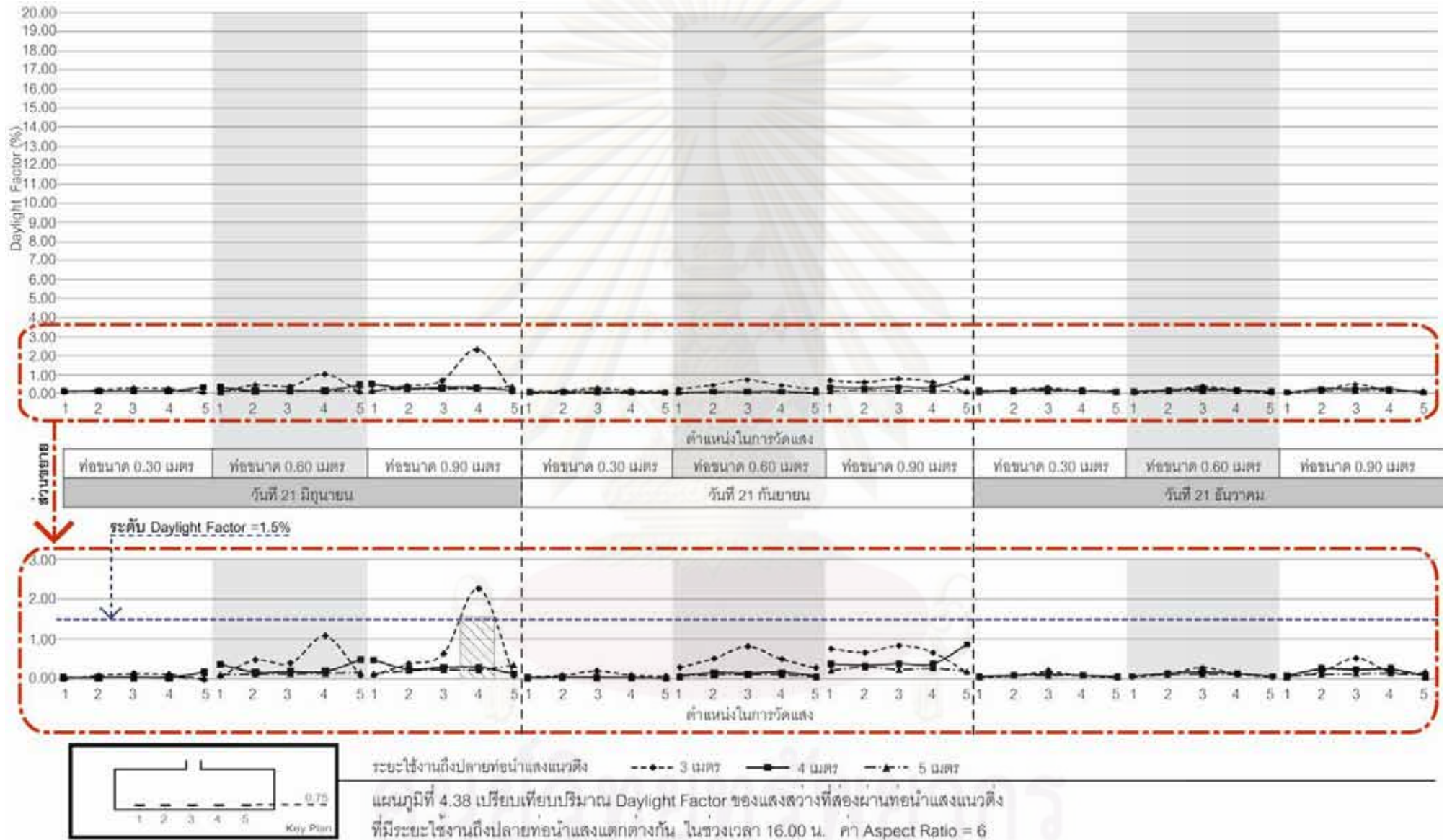


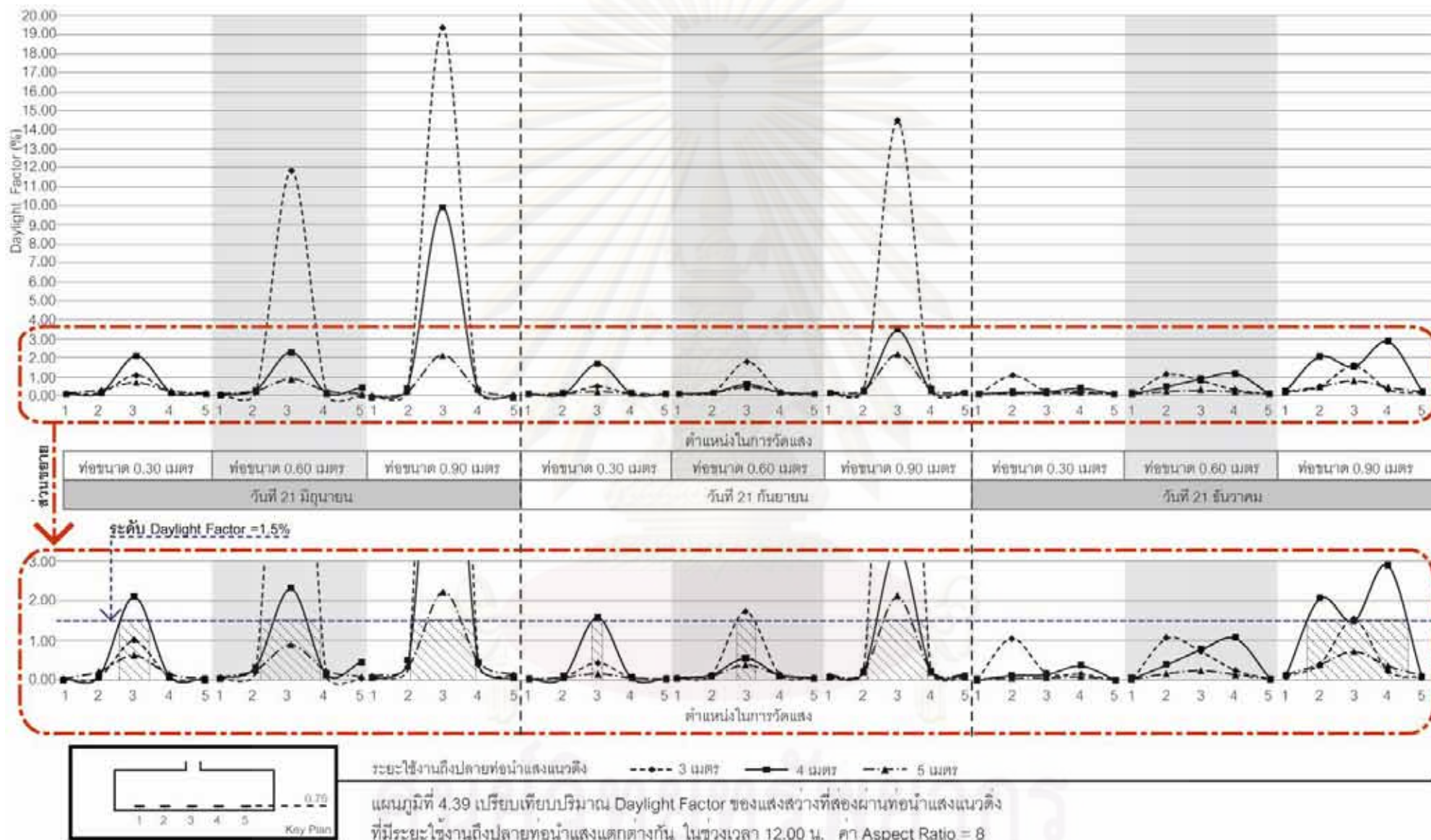


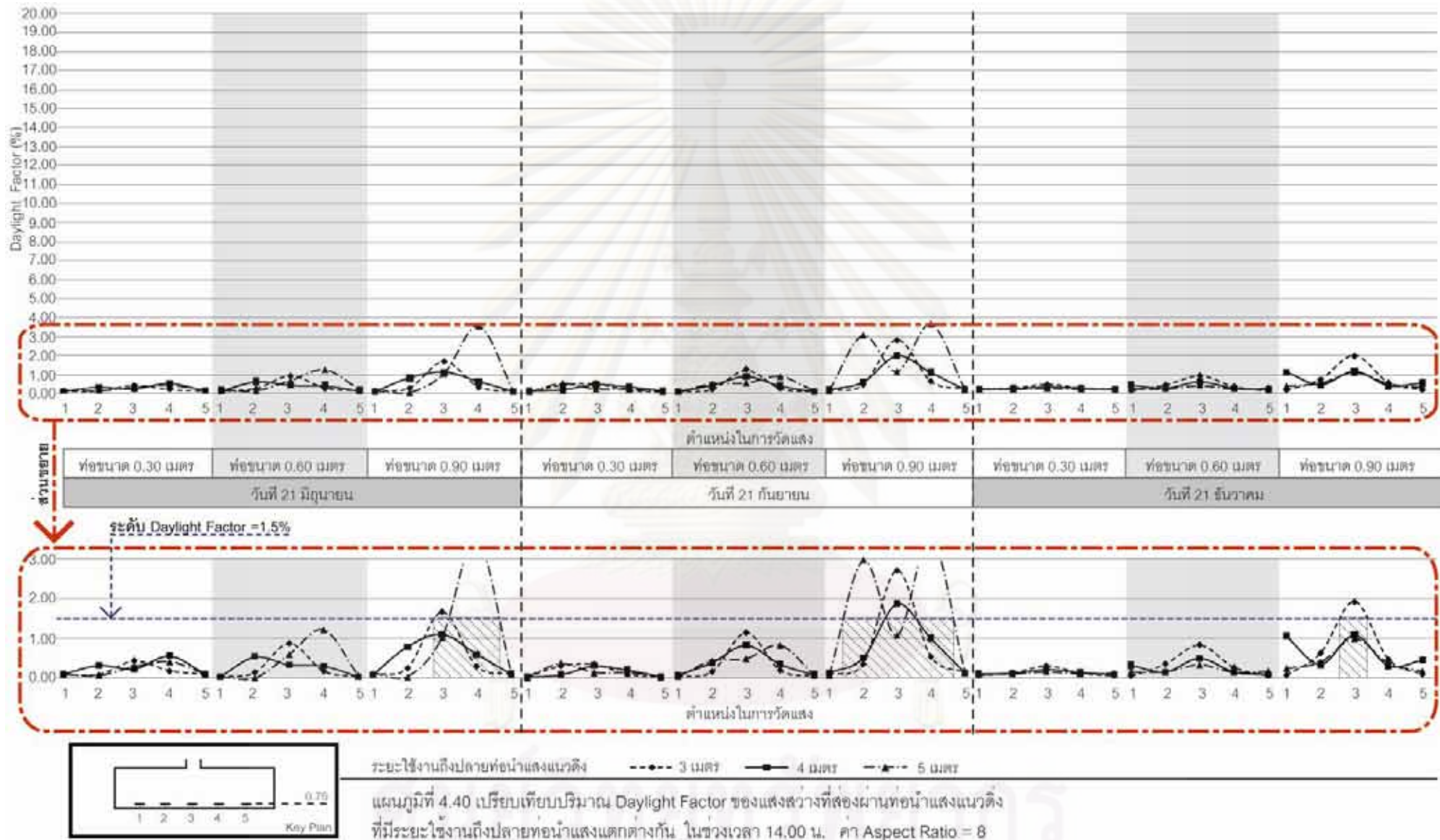


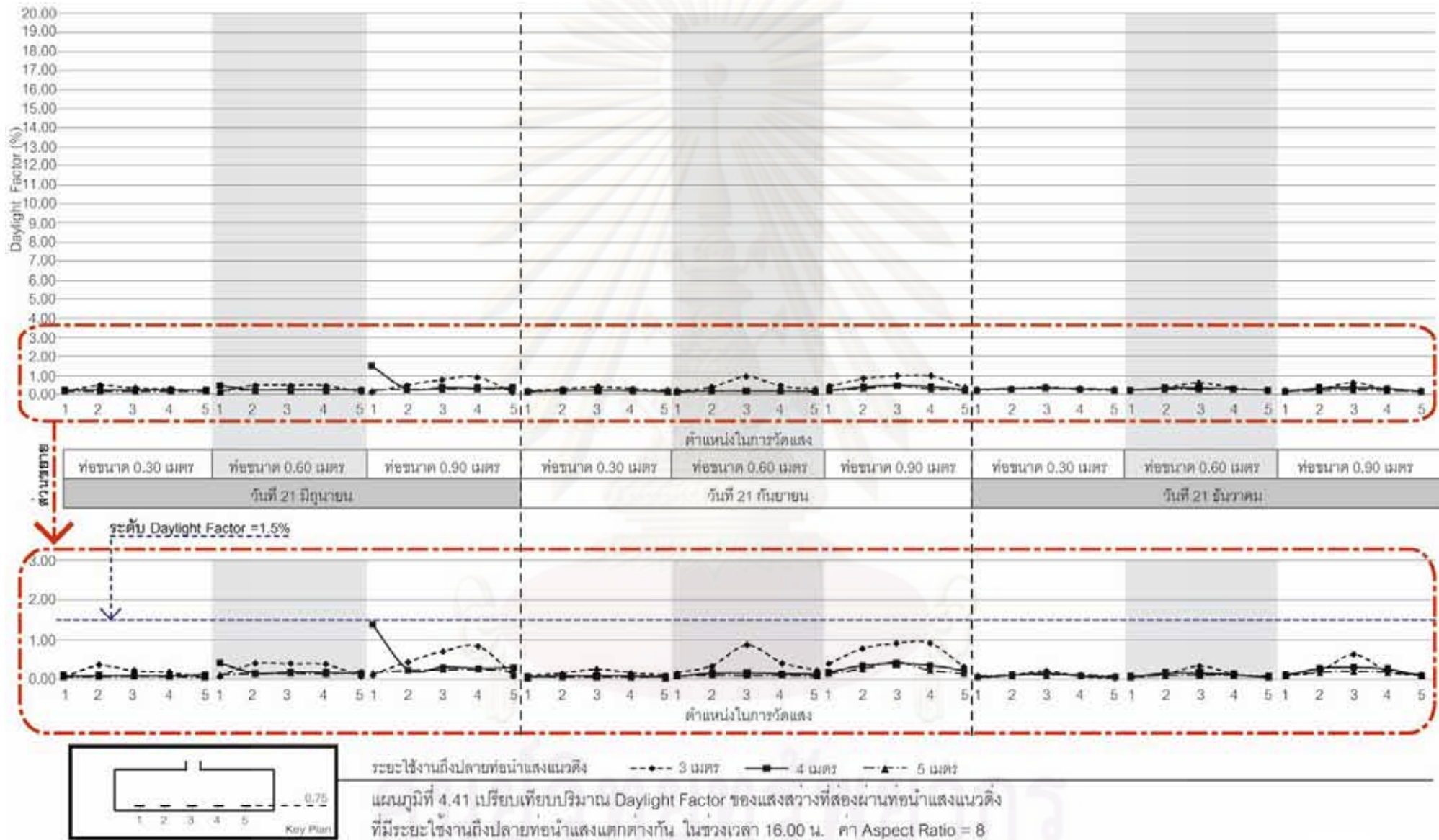


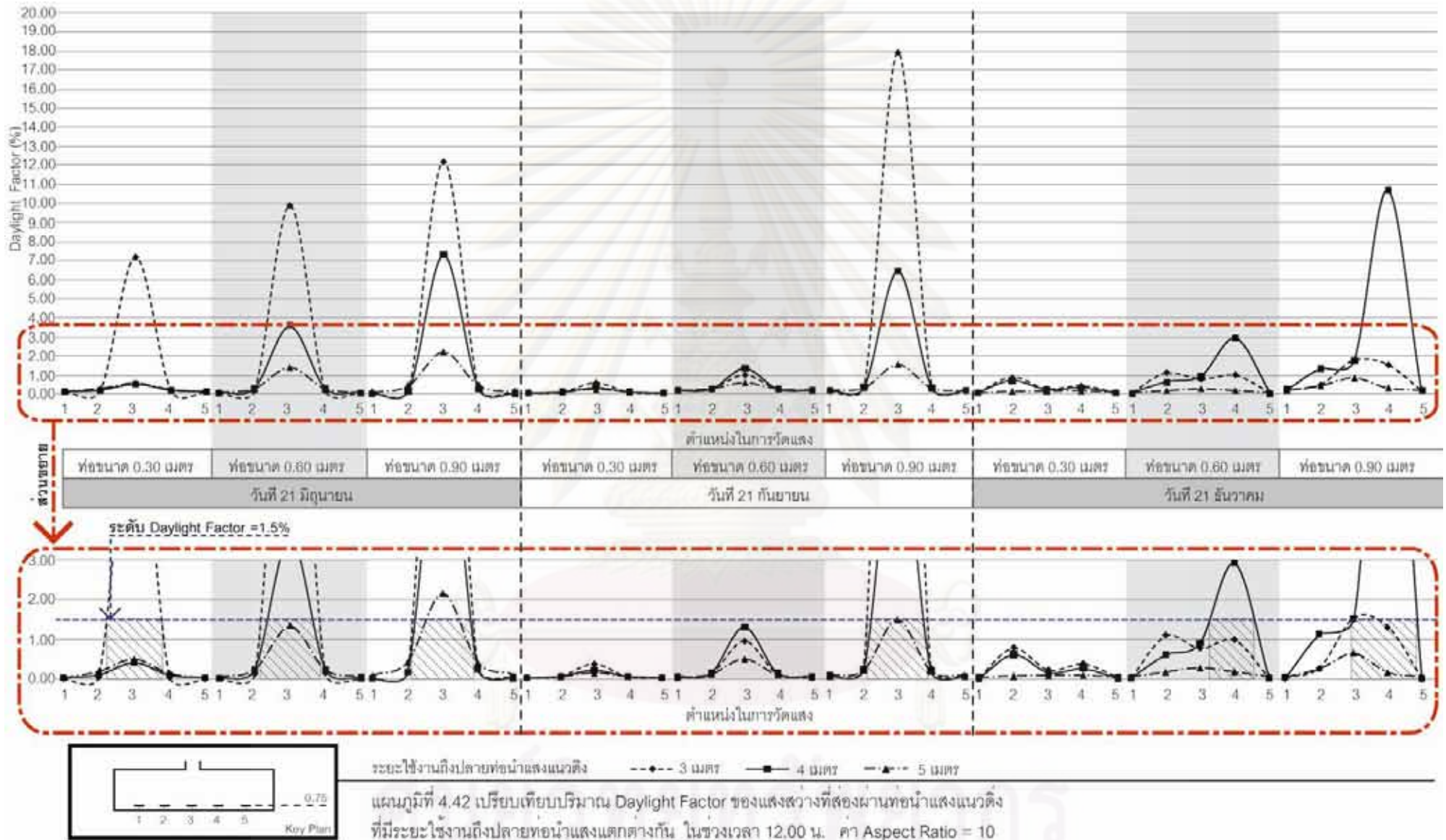


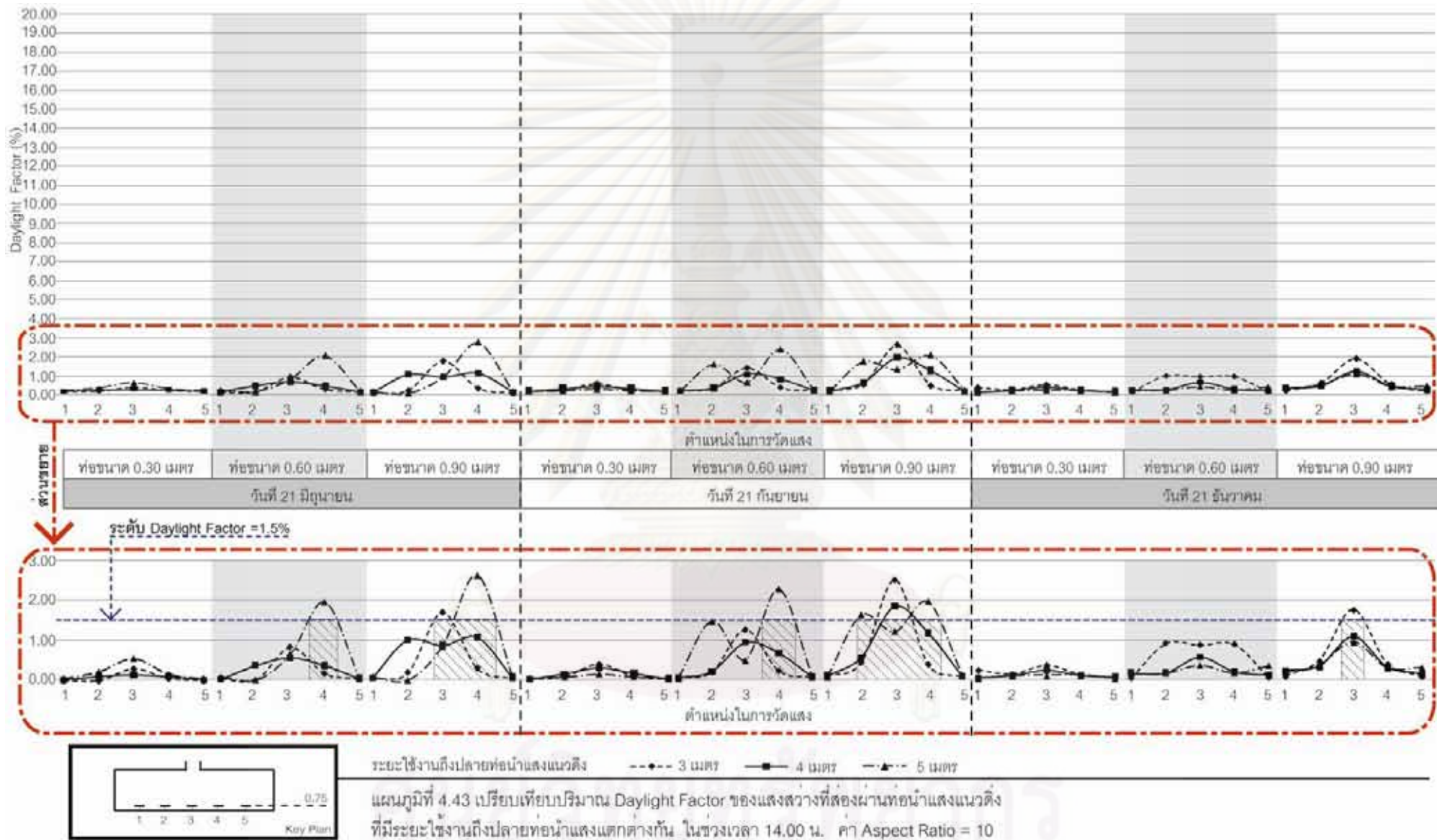


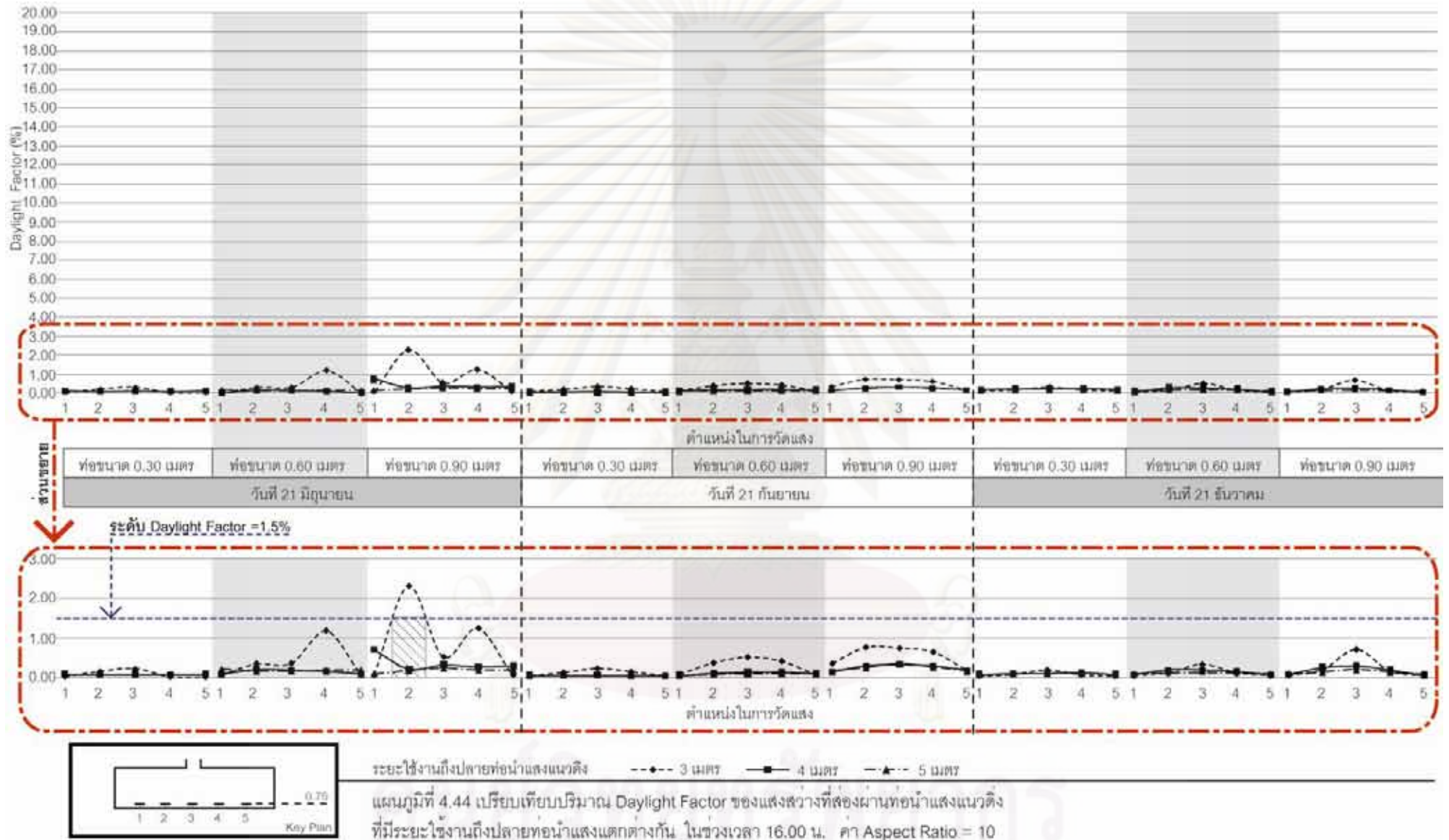












4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

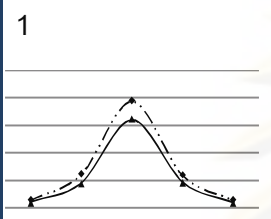
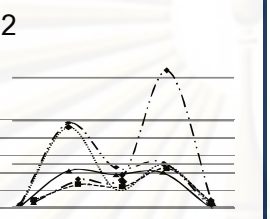
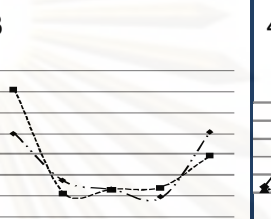
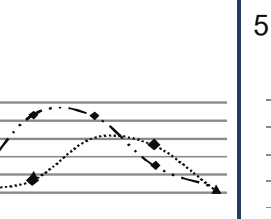
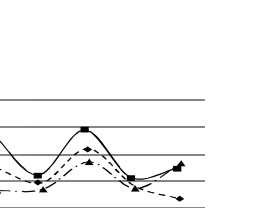
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ค่า Aspect Ratio และระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่แตกต่างกัน โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. รูปแบบการกระจายตัวของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นอาคารในแนวราบ
2. ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
3. ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งด้านค่า Aspect Ratio
4. ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง
5. ขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบมีระดับ Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

4.2.1 รูปแบบของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นอาคารในแนวราบ

จากการนำเสนอผลการวัดแสงในรูปแบบของแผนภูมิ พบว่าลักษณะของแสงที่ตกกระทบพื้นอาคารในแนวระนาบมีอยู่ 5 รูปแบบ โดยเมื่อวิเคราะห์ถึงวันและเวลา รวมถึงตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบของแสงสว่าง พบว่ามีรายละเอียดดังตารางที่ 4.9 ดังนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดรูปแบบการกระจายตัวของแสงสว่างที่ตกกระทบบนพื้นอาคาร

		1				2				3				4				5			
																					
เดือน		มิ.ย.	ก.ย.	ธ.ค.	รวม	มิ.ย.	ก.ย.	ธ.ค.	รวม	มิ.ย.	ก.ย.	ธ.ค.	รวม	มิ.ย.	ก.ย.	ธ.ค.	รวม	มิ.ย.	ก.ย.	ธ.ค.	รวม
Daylight Factor (%)	0 - 0.5	13	29	42	84	14	16	22	52	9	1	1	11	5	11	11	27	10	8	4	22
	0.5 - 1.0	13	14	12	39	7	3	8	18	2	2	1	5	4	1	0	5	0	6	0	6
	1.0 - 1.5	8	9	5	22	5	0	4	9	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
	> 1.5	35	29	6	70	10	9	10	29	2	0	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0
	รวม	69	81	65	215	36	28	44	108	14	3	2	19	10	12	13	35	10	14	4	28
เวลาที่วัดแสง	12.00 น.	45	45	12	102	0	0	27	27	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0
	14.00 น.	23	26	31	80	18	16	3	37	0	0	2	2	4	3	0	7	0	0	9	9
	16.00 น.	1	10	22	33	18	12	14	44	14	3	0	17	2	12	8	22	10	8	1	19
	รวม	69	81	65	215	36	28	44	108	14	3	2	19	6	15	14	35	10	8	10	28
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	0.30 ม.	23	26	19	68	10	9	18	37	7	1	2	10	3	5	2	10	2	4	2	8
	0.60 ม.	23	27	21	71	13	10	16	39	3	1	0	4	2	6	6	14	4	1	4	9
	0.90 ม.	23	28	25	76	13	9	10	32	4	1	0	5	1	4	6	11	4	3	4	11
	รวม	69	81	65	215	36	28	44	108	14	3	2	19	6	15	14	35	10	8	10	28
Aspect Ratio	2	15	17	13	45	6	7	9	22	3	1	1	5	1	1	3	5	2	1	1	4
	4	12	15	15	42	9	7	8	24	3	1	0	4	2	1	2	5	1	3	2	6
	6	14	15	12	41	6	7	9	22	2	1	1	4	1	3	3	7	4	1	2	7
	8	14	17	14	45	9	4	8	21	3	0	0	3	0	6	2	8	1	0	3	4
	10	14	17	11	42	6	3	10	19	3	0	0	3	2	4	4	10	2	3	2	7
	รวม	69	81	65	215	36	28	44	108	14	3	2	19	6	15	14	35	10	8	10	28
ระดับใช้งานถึงปลายท่อน้ำแสง	3 ม.	30	37	31	98	13	1	11	25	0	0	0	0	2	4	3	9	0	3	1	4
	4 ม.	19	26	16	61	8	5	19	32	12	2	0	14	4	8	6	18	3	3	4	10
	5 ม.	20	18	18	56	15	22	14	51	2	1	2	5	0	3	5	8	7	2	5	14
	รวม	69	81	65	215	36	28	44	108	14	3	2	19	6	15	14	35	10	8	10	28

จากตารางที่ 4.9 พบว่ารูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดในตำแหน่งที่ 3 บริเวณใต้ท่อนำแสง มีรูปแบบการเกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็น 53 % โดยค่า Daylight Factor อยู่ในช่วง 0.3 - 0.5% มากที่สุด โดยเกิดรูปแบบนี้มากที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. ที่ดวงอาทิตย์อยู่ตรงตำแหน่งท่อนำแสงมากที่สุด และตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงที่ส่งผลให้เกิดรูปแบบนี้มากที่สุดอยู่ที่ 3 เมตร ส่วนตัวแปรด้านขนาดท่อ และ Aspect Ratio ไม่ส่งผลต่อการเกิดรูปแบบนี้มากนัก

รูปแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดในตำแหน่งที่ 2 หรือ 4 มีรูปแบบการเกิดเป็นลำดับที่ 2 คิดเป็น 26.67 % โดยค่าของ Daylight Factor อยู่ในช่วง 0 - 0.5 % มากที่สุด โดยเกิดรูปแบบนี้มากที่สุดในช่วงเวลา 16.00 น. และตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงที่ส่งผลให้เกิดรูปแบบนี้มากที่สุดอยู่ที่ 5 เมตร ส่วนตัวแปรด้านขนาดท่อ และ Aspect Ratio ไม่ส่งผลต่อการเกิดรูปแบบนี้มากนัก

รูปแบบที่ 4 เป็นรูปแบบที่มีค่าความส่องสว่างในตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 2 หรือ 4 มีความใกล้เคียงกัน มีรูปแบบการเกิดเป็นลำดับที่ 3 คิดเป็น 8.64 % โดยค่าของ Daylight Factor อยู่ในช่วง 0 - 0.5 % มากที่สุด โดยเกิดรูปแบบนี้มากที่สุดในช่วงเวลา 16.00 น. และตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงที่ส่งผลให้เกิดรูปแบบนี้มากที่สุดอยู่ที่ 4 เมตร ส่วนตัวแปรด้านขนาดท่อ และ Aspect Ratio ไม่ส่งผลต่อการเกิดรูปแบบนี้มากนัก

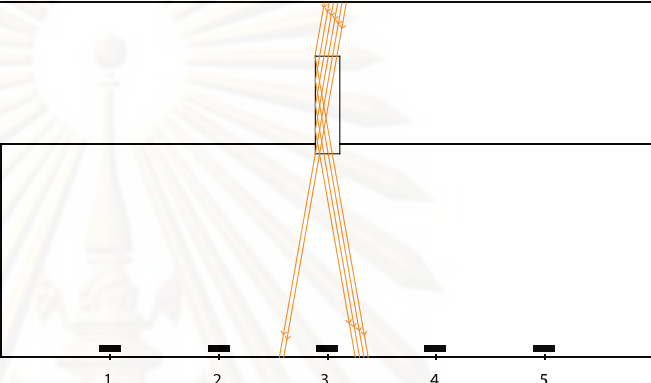
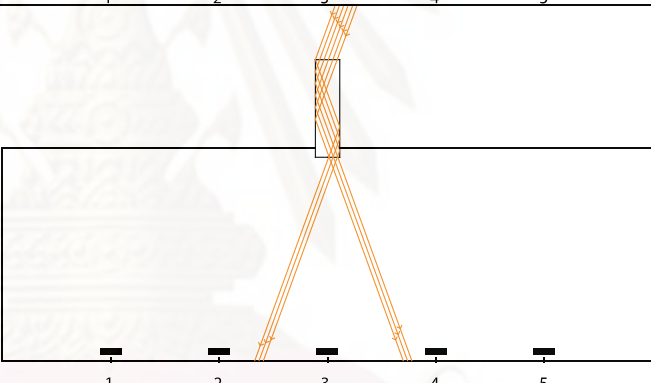
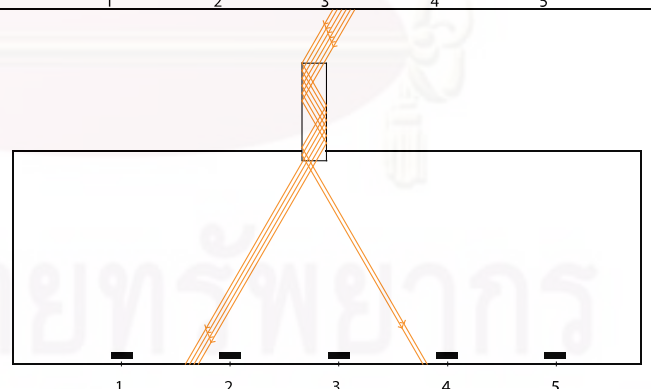
รูปแบบที่ 5 เป็นรูปแบบที่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 1 คือมีค่าความส่องสว่างมากที่สุดในตำแหน่งที่ 3 และมีค่าความส่องสว่างมากในตำแหน่งที่ 1 หรือ 5 ด้วย โดยมีรูปแบบการเกิดเป็นลำดับที่ 4 คิดเป็น 6.91% โดยค่าของ Daylight Factor มักอยู่ในช่วง 0 - 0.5 % มากที่สุด โดยเกิดรูปแบบนี้มากที่สุดในช่วงเวลา 16.00 น. และตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงที่ส่งผลให้เกิดรูปแบบนี้มากที่สุดอยู่ที่ 5 เมตร ส่วนตัวแปรด้านขนาดท่อ และ Aspect Ratio ไม่ส่งผลต่อการเกิดรูปแบบนี้มากนัก

ส่วนรูปแบบที่มีการเกิดน้อยที่สุดคือ รูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดในตำแหน่งที่ 1 และ 5 โดยมีรูปแบบการเกิดคิดเป็น 4.69 % โดยค่าของ Daylight Factor มักอยู่ในช่วง 0 - 0.5 % มากที่สุด โดยเกิดรูปแบบนี้มากที่สุดในช่วงเวลา 16.00 น. และตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงที่ส่งผลให้เกิดรูปแบบนี้มากที่สุดอยู่ที่ 5 เมตร ตัวแปรด้านขนาดท่อที่ส่งผลให้เกิดของรูปแบบแสงลักษณะนี้คือ 0.30 เมตร และ Aspect Ratio ไม่ส่งผลต่อการเกิดรูปแบบนี้มากนัก

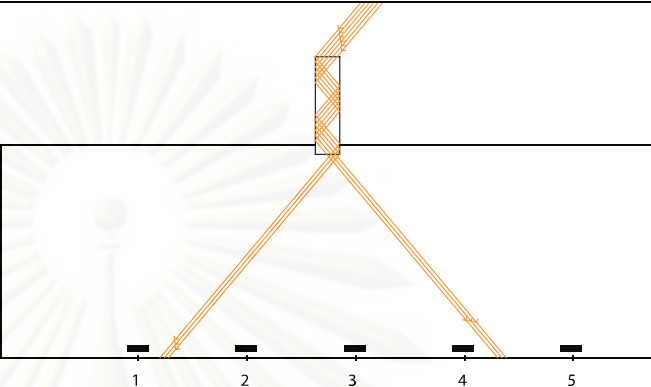
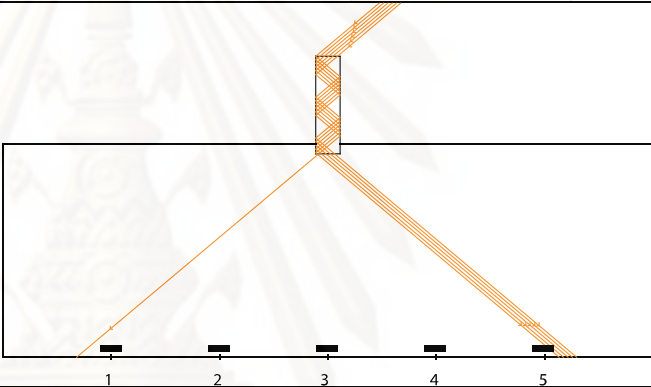
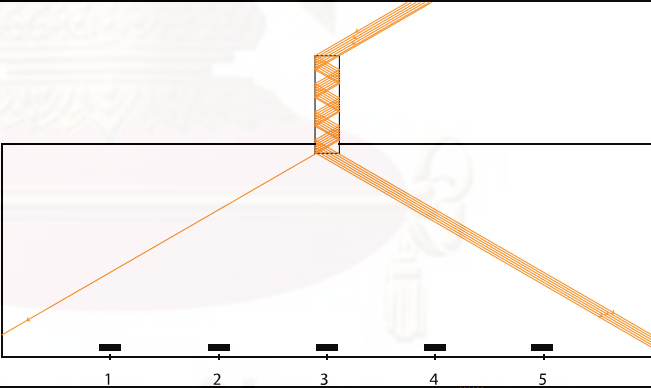
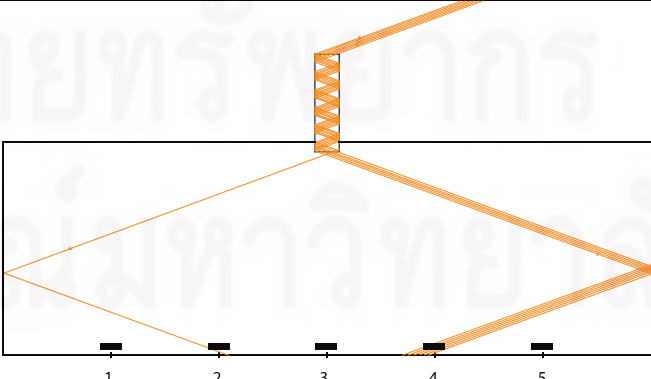
เมื่อวิเคราะห์ลักษณะการเกิดของแผนภูมิร่วมกับองศาของแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง โดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเรียบและเงา ส่งผลให้เกิดการสะท้อนแบบเสมือน

กระจกเงา (Specular reflection) พบว่าการคาดการณ์ลักษณะการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงแนวตั้งเป็นดังตารางที่ 4.10 ดังนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงของแสงอาทิตย์ที่องค์แตกต่างกัน

องศาของแสงอาทิตย์	ลักษณะการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสง
80	
70	
60	

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงลักษณะการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงของแสงอาทิตย์ที่องศาแตกต่างกัน

องศาของแสงอาทิตย์	ลักษณะการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสง
50	
40	
30	
20	

จากตารางที่ 4.10 พบว่า องศาของแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อตำแหน่งที่แสงส่องผ่านท่อนำดิ่งมากกว่าระดับพื้นที่ใช้งานในแนวระนาบ โดยตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่อยู่ใกล้ท่อนำแสงมากที่สุดจะส่งผลให้องศาของแสงอาทิตย์เกือบเป็นแนวตั้งฉากกับพื้นโลก ส่งผลให้ค่าความส่องสว่างเกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณใต้ท่อนำแสง และเมื่อองศาของแสงอาทิตย์ที่มากกระทบท่อนำแสงแนวตั้งเปลี่ยนแปลง ก็ส่งผลต่อตำแหน่งที่แสงส่องผ่านท่อนำแสงมากกว่าระดับพื้นที่ใช้งาน

4.2.2 ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนั้น ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทั้งหมดจำนวน 405 ข้อมูล โดยในการหาประสิทธิภาพด้านขนาดของท่อนำแสงนั้น ได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ทั้ง 5 ตำแหน่ง แล้วนับค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด และต่ำที่สุดเป็นจำนวนครั้ง เพื่อศึกษาว่าท่อนำแสงขนาดใดมีประสิทธิภาพในการนำแสงได้ดีที่สุด โดยในการจัดเรียงชุดข้อมูลได้แบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วนตามระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร ในแต่ละส่วนประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 45 ชุด ฉะนั้น ในการศึกษาประสิทธิภาพด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะได้ชุดข้อมูลรวมทั้งหมด 135 ชุด โดยผลการศึกษาเป็นไปตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ย Daylight Factor สูงที่สุด และต่ำที่สุดของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดต่างๆ

	จำนวนครั้ง		
	ขนาดท่อนำแสงแนวตั้ง		
	0.30 เมตร	0.60 เมตร	0.90 เมตร
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	-	2	43
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	45	-	-
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	-	2	43
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	44	1	-
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	-	2	43
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	45	-	-
รวม			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	-	6	129
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	134	1	-

จากตารางที่ 4.11 เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึง ปลายท่อหน้าแสงแนวตั้ง 3 เมตร ท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตรสามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 43 ครั้ง คิดเป็น 95.55% และไม่มีครั้งใดที่นำแสงได้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คิดเป็น 0% ท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตรสามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 2 ครั้ง คิดเป็น 4.45% และไม่มีครั้งใดที่นำแสงได้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คิดเป็น 0% และท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 ไม่มีครั้งใดที่สามารถนำแสงได้สูงที่สุด คิดเป็น 0% และนำแสงได้ต่ำที่สุด 45 ครั้ง คิดเป็น 100%

ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อหน้าแสงแนวตั้ง 4 เมตร ท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตรสามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 43 ครั้ง คิดเป็น 95.55% และไม่มีครั้งใดที่นำแสงได้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คิดเป็น 0% ท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตรสามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 2 ครั้ง คิดเป็น 4.45% และสามารถนำแสงได้ต่ำที่สุด 1 ครั้ง คิดเป็น 2.22% และท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 ไม่มีครั้งใดที่สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด คิดเป็น 0% และนำแสงได้ต่ำที่สุด 44 ครั้ง คิดเป็น 97.78%

ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อหน้าแสงแนวตั้ง 5 เมตร ท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตรสามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 43 ครั้ง คิดเป็น 95.55% และไม่มีครั้งใดที่นำแสงได้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คิดเป็น 0% ท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตรสามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 2 ครั้ง คิดเป็น 4.45% และไม่มีครั้งใดที่นำแสงได้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คิดเป็น 0% และท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 ไม่มีครั้งใดที่สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด คิดเป็น 0% และนำแสงสว่างได้ต่ำที่สุด 45 ครั้ง คิดเป็น 100%

เมื่อรวมข้อมูลทั้งสามส่วน จะมีการเก็บข้อมูลของค่า Daylight Factor จำนวน 135 ครั้ง โดยท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 129 ครั้ง คิดเป็น 95.55 % และไม่มีครั้งใดที่นำแสงได้ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคิดเป็น 0% ท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 6 ครั้ง คิดเป็น 4.44 % และนำแสงได้ต่ำที่สุด 1 ครั้ง คิดเป็น 0.74% ส่วนท่อหน้าแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ไม่มีครั้งใดที่สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด คิดเป็น 0% และนำแสงสว่างได้ต่ำที่สุด 99.26%

สรุปข้อมูลตัวแปรด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่งที่ทำการทดลองขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร พบว่า ท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร สามารถนำแสงได้ดีที่สุด รองลงมาคือท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีความสามารถในการนำแสงต่ำที่สุด

4.2.3 ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวดิ่งด้านค่า Aspect Ratio

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวดิ่งด้านค่า Aspect Ratio นั้น ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทั้งหมดจำนวน 405 ข้อมูล โดยในการหาประสิทธิภาพด้านค่า Aspect Ratio นั้น ได้ทำการหาข้อมูลค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งของทั้ง 5 ตำแหน่ง แล้วนับค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด และต่ำที่สุดเป็นจำนวนครั้ง เพื่อศึกษา ว่าท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio เท่าใดที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงได้ดีที่สุด โดยในการจัดเรียงชุดข้อมูล ได้แบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วนตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร โดยในแต่ละส่วนประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 27 ชุด ฉะนั้น ในการศึกษาประสิทธิภาพด้านค่า Aspect Ratio จะได้ชุดข้อมูลรวมทั้งหมด 81 ชุด โดยผลการศึกษาเป็นไปตามตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ย Daylight Factor สูงที่สุด และต่ำที่สุดของท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีค่า Aspect Ratio ต่างๆ

	จำนวนครั้ง				
	Aspect Ratio				
	2	4	6	8	10
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร					
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	11	4	7	5	-
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	2	4	2	5	14
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร					
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	11	4	4	2	6
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	5	3	3	11	6
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร					
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	18	4	1	3	1
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	4	2	10	3	8
รวม					
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	40	12	12	10	7
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	11	9	15	19	28

เมื่อรวมข้อมูลทั้งสามส่วน จะมีการเก็บข้อมูลของค่า Daylight Factor จำนวน 81 ครั้ง โดยท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 2 สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 40 ครั้ง คิดเป็น 49.38% และนำแสงสว่างได้ต่ำที่สุด 11 ครั้ง คิดเป็น 13.58% ท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 4 สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 12 ครั้ง คิดเป็น 14.81 % และนำแสงสว่างได้ต่ำที่สุด 9 ครั้ง คิดเป็น 11.11% ท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 12 ครั้ง คิดเป็น 14.81% และนำแสงสว่างได้ต่ำที่สุด 15 ครั้ง คิดเป็น 18.52% ส่วนท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 10 ครั้ง คิดเป็น 12.35% และนำแสงสว่างได้ต่ำที่สุด 19 ครั้ง คิดเป็น 23.46% และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 10 สามารถนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด 7 ครั้ง คิดเป็น 8.64% และนำแสงสว่างได้ต่ำที่สุด 28 ครั้ง คิดเป็น 34.57%

สรุปข้อมูลตัวแปรด้านค่า Aspect Ratio ของท่อนำแสงแนวตั้งที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 พบว่า ท่อนำแสงแนวตั้งที่มีค่า Aspect Ratio = 2 สามารถนำแสงได้ดีที่สุด รองลงมาคือท่อนำแสงแนวตั้งที่มีค่า Aspect Ratio 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ ส่วนท่อนำแสงแนวตั้งที่มีค่า Aspect Ratio = 10 มีความสามารถนำแสงได้ต่ำที่สุด รองลงมาคือ ท่อนำแสงแนวตั้งที่มีค่า Aspect Ratio 8, 6, 2 และ 4 ตามลำดับ

4.2.4 ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บจำนวน 405 ข้อมูล โดยในการหาประสิทธิภาพด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งนั้น ได้ทำการหาข้อมูลค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ผ่านท่อนำแสงแนวตั้งของทั้ง 5 ตำแหน่ง แล้วนับค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด และต่ำที่สุดเป็นจำนวนครั้ง เพื่อศึกษาว่าท่อนำแสงขนาดใดมีประสิทธิภาพในการนำแสงได้ดีที่สุด โดยในการจัดเรียงชุดข้อมูลได้แบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วนตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร โดยในแต่ละส่วนประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 45 ชุด ฉะนั้น ในการศึกษาประสิทธิภาพด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง จะได้ชุดข้อมูลรวมทั้งหมด 135 ชุด โดยผลการศึกษาเป็นไปตามตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ย Daylight Factor สูงที่สุด และต่ำที่สุดของท่อนำแสง แนวตั้งที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงต่างๆ

	จำนวนครั้ง		
	ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง		
	3 เมตร	4 เมตร	5 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	30	11	4
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	1	5	39
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	31	6	8
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	1	8	36
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	27	10	8
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	1	7	37
รวม			
ค่า Daylight Factor สูงที่สุด	88	27	20
ค่า Daylight Factor ต่ำที่สุด	3	20	112

จากตารางที่ 4.13 ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร สามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 30 ครั้ง คิดเป็น 66.67% และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 1 ครั้ง คิดเป็น 2.22 % หากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร สามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 11 ครั้ง คิดเป็น 24.44% และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 5 ครั้ง คิดเป็น 11.11 % และหากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร จะสามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 4 ครั้ง คิดเป็น 8.89 % และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 1 ครั้ง คิดเป็น 86.67 %

ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร สามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 31 ครั้ง คิดเป็น 68.89% และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 1 ครั้ง คิดเป็น 2.22 % หากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร สามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 6 ครั้ง คิดเป็น 13.33 % และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 8 ครั้ง คิดเป็น 17.78 % และหากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร

จะสามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 8 ครั้ง คิดเป็น 17.78 % และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 36 ครั้ง คิดเป็น 80 %

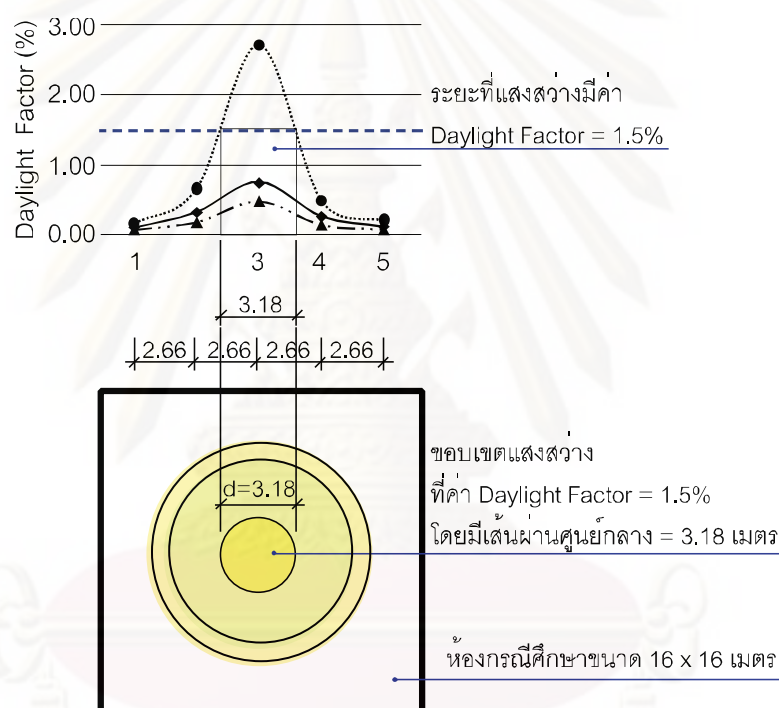
ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร สามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 27 ครั้ง คิดเป็น 60% และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 1 ครั้ง คิดเป็น 2.22 % หากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร สามารถวัดค่า Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 10 ครั้ง คิดเป็น 22.22 % และวัดค่าที่ต่ำที่สุดได้ 7 ครั้ง คิดเป็น 15.56 % และหากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร จะสามารถวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่ตกกระทบแนวระนาบได้สูงที่สุดจำนวน 8 ครั้ง คิดเป็น 17.78 % และวัดค่า ที่ต่ำที่สุดได้ 37 ครั้ง คิดเป็น 82.22 %

ในการทดลองนี้ เมื่อรวมข้อมูลทั้งสามส่วนจะมีการเก็บข้อมูลของค่า Daylight Factor จำนวน 135 ครั้ง โดยหากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร จะวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่สูงที่สุดได้จำนวน 88 ครั้ง คิดเป็น 65.19% และวัดค่า Daylight Factor ที่ต่ำที่สุดได้จำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 2.22% หากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร จะวัดค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่สูงที่สุดเป็นจำนวน 27 ครั้ง คิดเป็น 20 % และมีค่า Daylight Factor ที่ต่ำที่สุดเป็นจำนวน 20 ครั้ง คิดเป็น 14.81 % และหากมีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร จะมีค่า Daylight Factor ที่สูงที่สุดเป็นจำนวน 20 ครั้ง คิดเป็น 14.81 % และมีค่า Daylight Factor ที่ต่ำที่สุดเป็นจำนวน 112 ครั้ง คิดเป็น 82.96 %

สรุปข้อมูลตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่ 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร พบว่า ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร จะสามารถวัดค่า Daylight Factor ได้สูงที่สุด รองลงมาคือระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร และที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร จะสามารถวัดค่า Daylight Factor ได้ต่ำที่สุด

4.2.5 ขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวราบมีระดับ Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้ง ด้านพื้นที่ของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบ เพื่อนำไปประยุกต์ในการคำนวณระยะห่างระหว่างท่อนำแสง ผู้วิจัยได้ศึกษาขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบพื้นที่ในแนวระนาบที่ระยะใช้งานสูง 0.75 เมตรจากพื้น โดยการศึกษาจากแผนภูมิในหัวข้อ 4.1.3, 4.1.4 และ 4.1.5 ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบของแผนภูมิในการประเมินขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบ

จากรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงลักษณะของแผนภูมิ โดยแกน X แทนตำแหน่งในการวัดแสงสว่าง และแกน Y แทนค่า Daylight Factor ซึ่งแต่ละตำแหน่งมีระยะห่างกัน 2.66 เมตร ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 จากนั้นกำหนดค่า Daylight Factor ที่ต้องการ เมื่อแผนภูมิไปตัดเส้นแสดงค่า Daylight Factor ณ จุดใด พื้นที่ใต้แผนภูมินั้นคือระยะที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบที่มีค่า Daylight Factor ขั้นต่ำตามที่ต้องการ จากรูปแสดงให้เห็นว่าขอบเขตของพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบที่มีค่า Daylight Factor=1.5% มีระยะ 3.18 เมตร โดยระยะที่วัดได้

คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ของแสงสว่างที่ตกกระทบในแนวระนาบในการเก็บข้อมูล
ที่หน้าแสง 1 รูปแบบ จะวัดค่าความส่องสว่าง 3 วันคือ วันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21
ธันวาคม โดยในแต่ละวันจะวัดแสง 3 ช่วงเวลาคือ 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. รวม
แล้วที่หน้าแสง 1 รูปแบบจะทำการวัดค่าความส่องสว่าง 9 ช่วง เมื่อนำเสนอในรูปแบบตาราง
จะได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4.14 ดังนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวราบที่มีระดับDaylight Factor = 1.5%

ค่า Aspect Ratio			ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบ (เมตร)															
			2			4			6			8			10			
วันที่วัดแสง			21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
			มิถุนายน	กันยายน	ธันวาคม	มิถุนายน	กันยายน	ธันวาคม	มิถุนายน	กันยายน	ธันวาคม	มิถุนายน	กันยายน	ธันวาคม	มิถุนายน	กันยายน	ธันวาคม	
ระยะใช้งาน 3 เมตร	0.30	12.00	3.33	-	-	3.39	-	-	4.29	-	-	-	-	-	-	4.19	-	-
		14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.60	12.00	4.09	3.59	-	4.32	3.02	-	4.41	1.77	2.59	4.59	1.26	-	4.50	-	-	
		14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.90	12.00	5.13	3.93	5.06	4.94	5.13	1.16	4.50	4.64	-	5.08	4.75	1.04	4.70	4.87	2.34	
		14.00	1.64	3.07	2.51	-	3.07	1.65	1.32	2.88	1.35	1.19	2.98	2.35	1.39	2.91	1.90	
		16.00	3.61	3.63	-	-	0.83	-	2.69	-	-	-	-	-	2.74	-	-	
ระยะใช้งาน 4 เมตร	0.30	12.00	-	-	-	-	-	-	1.72	-	-	2.02	0.79	-	-	-	-	
		14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.60	12.00	1.37	-	6.33	-	-	6.81	4.26	-	2.74	2.35	-	-	3.40	-	3.56	
		14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.90	12.00	4.22	3.84	-	5.04	4.45	4.94	4.81	-	4.88	4.69	3.37	4.83	4.30	4.12	5.09	
		14.00	2.04	2.95	-	-	2.53	-	-	2.31	-	-	2.38	-	-	2.84	-	
		16.00	0.76	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ระยะใช้งาน 5 เมตร	0.30	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.60	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		14.00	-	5.91	-	2.11	3.49	-	-	3.26	-	-	-	-	2.11	2.52	-	
		16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.90	12.00	2.86	-	5.62	2.85	-	-	2.90	1.04	-	2.67	2.24	-	2.57	-	-	
		14.00	-	3.57	-	4.06	3.77	-	1.86	3.32	-	3.98	6.01	-	3.38	4.04	-	
		16.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อแสงแนวดิ่ง 3 เมตร

จากตารางที่ 4.13 พบว่า ท่อแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ที่มีค่า Aspect Ratio = 2, 4, 6 และ 10 มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 1 ช่วง คิดเป็น 11.11% ส่วนท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 ไม่มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม คิดเป็น 0% โดยท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 2 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.33 เมตร ท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 4 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.39 เมตร ส่วนท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.29 เมตร และท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 10 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.19 เมตร

ท่อแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ที่มีค่า Aspect Ratio = 2, 4 และ 8 มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 2 ช่วง คิดเป็น 22.22 % ส่วนท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 3 ช่วง คิดเป็น 33.33% และท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 10 มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 1 ช่วง คิดเป็น 11.11% โดยท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 2 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.59-4.09 เมตร ท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 4 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.32-3.02 เมตร ท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77-4.41 เมตร ส่วนท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.26 – 4.59 เมตร และท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 10 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.50 เมตร

ท่อแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่มีค่า Aspect Ratio = 2 มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 8 ช่วง คิดเป็น 88.88 % ส่วนท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 4, 6 และ 8 มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 6 ช่วง คิดเป็น 66.66% และท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีช่วงเวลาที่มียค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 7 ช่วง คิดเป็น 77.77 % โดยท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 2 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.64 - 5.13 เมตร ท่อแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 4 มีขนาดพื้นที่ที่แสง

สว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.83 – 5.15 เมตร ท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.32 – 4.64 เมตร ส่วนท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.04 – 5.08 เมตร และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 10 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39 – 4.87 เมตร

ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร

ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ที่มีค่า Aspect Ratio = 2, 4 และ 10 ไม่มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม คิดเป็น 0 % ส่วนท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 1 ช่วง คิดเป็น 11.11% และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 2 ช่วง คิดเป็น 22.22 % โดยท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.72 เมตร และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.79 – 2.02 เมตร

ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ที่มีค่า Aspect Ratio = 2, 6 และ 10 มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 2 ช่วง คิดเป็น 22.22 % และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 4 และ 8 มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 1 ช่วง คิดเป็น 11.11 % โดยท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 2 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.37 – 6.33 เมตร ท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 4 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.81 เมตร ท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.74 – 4.26 เมตร ส่วนท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.35 เมตร และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 10 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.40 – 3.56 เมตร

ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่มีค่า Aspect Ratio = 2 และ 4 มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 5 ช่วง คิดเป็น 55.55 % ส่วนท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 6 มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 3 ช่วง คิดเป็น 33.33 % และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 และ 10 มีช่วงเวลาที่ค่า Daylight Factor ในระดับที่เหมาะสม 4 ช่วง คิดเป็น

ส่วนท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.24 – 6.01 เมตร และท่อนำแสงที่มีค่า Aspect Ratio = 10 มีขนาดพื้นที่ที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.57 – 4.04 เมตร

โดยนำมาสรุปในรูปแบบตารางได้ตามตารางที่ 4.15 โดยนำเสนอในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในระดับ Daylight Factor = 1.5% คือช่วงเวลาที่แสงสว่างที่ส่องผ่านเข้ามาในอาคารมีค่า Daylight Factor \geq 1.5% โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่ทำการวัดแสง 9 ช่วง ประกอบด้วย เวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม
- 2) เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่แสงตกกระทบ คือระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบ ที่ระดับใช้งานสูง 0.75 เมตร
- 3) พื้นที่ที่แสงตกกระทบ คือพื้นที่ที่แสงสว่างที่มีค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมแก่การใช้งาน โดยการนำระยะจากข้อ 2) มาคำนวณหาพื้นที่ เพื่อนำข้อมูลประกอบการออกแบบระยะห่างระหว่างท่อนำแสงแนวดิ่ง
- 4) พื้นที่แสงตกกระทบ : พื้นที่หน้าตัดท่อนำแสงแนวดิ่ง เพื่อหาประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวดิ่งในการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบกับพื้นที่ของท่อนำแสงที่รับแสงสว่าง โดยพื้นที่ของท่อนำแสงที่ใช้ในการวิจัยเป็นดังนี้
 - ก) ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีพื้นที่ 0.07 ตารางเมตร
 - ข) ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร มีพื้นที่ 0.28 ตารางเมตร
 - ค) ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีพื้นที่ 0.64 ตารางเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงช่วงเวลาและขอบเขตของแสงสว่างในแนวระนาบที่ค่าDaylight Factor = 1.5%

Aspect Ratio	ช่วงเวลาที่ทำการวัดแสงสว่าง	ช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในระดับ DF = 1.5%	เส้นผ่านศูนย์กลางที่แสงตกกระทบพื้นที่ใช้งาน(ม.)	พ.ท.ที่แสงตกกระทบ(ตร.ม.)	พท.แสงตกกระทบ: พ.ท.หน้าตัดต่อ	
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร						
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง(เมตร)	0.30	2	11.11%	3.33	8.70	124.3
		4	11.11%	3.39	9.02	128.9
		6	11.11%	4.29	14.45	206.4
		8	0%	-	-	-
		10	11.11%	4.19	13.78	196.9
	0.60	2	22.22%	3.59 – 4.09	10.12 –	36.1 – 46.9
		4	22.22%	3.02 – 4.32	7.16 –	25.6 – 55.9
		6	33.33%	1.77 – 4.41	2.46 –	8.78 – 55.6
		8	22.22%	1.26 – 4.59	1.24 –	4.5 – 59.0
		10	11.11%	4.50	15.90	56.8
	0.90	2	88.88%	1.64 – 5.13	2.11 –	3.3 – 32.3
		4	77.77%	0.83 – 5.13	0.54 –	0.8 – 32.3
		6	66.66%	1.32 – 4.64	1.37 –	2.1 – 26.4
		8	66.66%	1.04 – 5.08	0.85 –	1.3 – 31.7
		10	77.77%	1.39 – 4.87	1.52 –	2.4 – 29.1
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร						
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง(เมตร)	0.30	2	0%	-	-	-
		4	0%	-	-	-
		6	11.11%	1.72	2.32	33.1
		8	22.22%	0.79 – 2.02	0.49 – 3.20	7 – 45.7
		10	0%	-	-	-
	0.60	2	22.22%	1.37 – 6.33	1.47 –	5.25 – 112.3
		4	11.11%	3.12	36.40	130
		6	22.22%	2.74 – 4.26	5.89 –	21 – 50.9
		8	11.11%	2.35	4.34	15.5
		10	22.22%	3.40 – 3.56	9.07 – 9.95	32.4 – 35.5
	0.90	2	55.55%	0.76 – 4.22	0.45 –	0.7 – 21.8
		4	55.55%	0.78 – 5.04	0.48 –	0.8 – 31.2
		6	33.33%	2.31 – 4.88	4.19 –	6.5 – 29.2
		8	44.44%	2.38 – 4.83	4.45 –	6.9 – 28.6
		10	44.44%	2.84 – 5.09	6.33 –	22.6 – 31.8
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร						
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง(เมตร)	0.30	2	0%	-	-	-
		4	0%	-	-	-
		6	0%	-	-	-
		8	0%	-	-	-
		10	0%	-	-	-
	0.60	2	11.11%	5.91	27.42	97.9
		4	22.22%	2.11 – 3.49	3.49 – 9.56	12.5 – 34.1
		6	11.11%	3.26	8.34	29.8
		8	0%	-	-	-
		10	22.22%	2.11 – 2.52	3.49 – 4.99	12.5 – 17.8
	0.90	2	33.33%	2.86 – 5.62	6.42 – 24	10.0 – 38.7
		4	33.33%	2.85 – 4.06	6.38 –	9.9 – 38.7
		6	44.44%	1.04 – 3.32	0.85 – 8.65	1.3 – 13.5
		8	44.44%	2.24 – 6.01	3.94 –	6.2 – 44.3
		10	33.33%	2.57 – 4.04	5.18 –	8.0 – 20.0

■ ช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในระดับ DF = 1.5% ■ ช่วงเวลาที่แสงสว่างมีระดับ DF < 1.5%

จากตารางที่ 4.15 พบว่าที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 0% - 11.11% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.80 เมตร ส่วนท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 11.11% - 33.33% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.82 - 4.38 เมตร และท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 66.66% - 88.88% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.24 - 4.97 เมตร

ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ไม่มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% คิดเป็น 0% ส่วนท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 0% - 22.22% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.34 - 3.79 เมตร และท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 33.33% - 55.55% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.81 - 4.81 เมตร

ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 0% - 22.22% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.25 - 1.87 เมตร ส่วนท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 11.11% - 22.22% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.33 - 4.662 เมตร และท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% ที่ 33.33% - 44.44% โดยพื้นที่ใช้งานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.31 - 4.61 เมตร

สรุปผลจากตารางที่ 4.13 ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตรที่มีค่า Aspect Ratio = 2 มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% มากที่สุดที่ 88.88% และมีพื้นที่ใช้งานอยู่ในช่วง 1.64 - 5.13 เมตร และท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตรที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% น้อยที่สุดที่ 0%

ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 4 เมตร ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตรที่มีค่า Aspect Ratio = 2 และ 4 มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5%

มากที่สุดที่ 55.55% และมีพื้นที่ใช้งานอยู่ในช่วง 0.76 – 4.22 เมตร และ 0.78 – 5.04 เมตร ตามลำดับ และท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตรที่มีค่า Aspect Ratio = 2, 4 และ 10 มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% น้อยที่สุดที่ 0 %

ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 5 เมตร ท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตรที่มีค่า Aspect Ratio = 6 และ 8 มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% มากที่สุดที่ 44.44% และมีพื้นที่ใช้งานอยู่ในช่วง 1.04 – 3.32 เมตรและ 2.24 – 6.01 เมตร ตามลำดับ และท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตรที่มีค่า Aspect Ratio = 2, 4, 6, 8 และ 10 และท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ที่มีค่า Aspect Ratio = 8 มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในช่วง Daylight Factor = 1.5% น้อยที่สุดที่ 0 %

เมื่อเทียบด้านพื้นที่ที่แสงตกกระทบต่อพื้นที่หน้าตัดท่อนำแสงแนวตั้ง พบว่า ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือสามารถนำแสงเข้าสู่อาคารได้มากเมื่อเปิดช่องเปิดน้อย รองลงมาคือท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาขนาดและรูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่ง ที่มีผลต่อการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารประเภทชุปเปอร์สโตร์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย

- 1) ขนาดท่อนำแสงแนวดิ่ง ประกอบด้วย ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร
- 2) ค่า Aspect Ratio โดยในการทดลองนี้ใช้ค่า Aspect Ratio 5 ค่าด้วยกันคือ 2, 4, 6, 8 และ 10
- 3) ระยะเวลาสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง โดยในการทดลองนี้ใช้ 3 ค่าคือ 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร

งานวิจัยนี้ศึกษาโดยใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1: 20 ขนาด 0.80 x 0.80 เมตร ส่วนความสูงสามารถปรับระดับได้ 3 ระดับ ตามตัวแปรด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง โดยแบ่งช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล 3 ช่วงด้วยกันคือ 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ในวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม โดยผู้วิจัยเลือกใช้ค่า Daylight Factor ในการเปรียบเทียบผลของการทดลองในแต่ละตัวแปร การวิจัยนี้แบ่งวัตถุประสงค์ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 เพื่อศึกษารูปแบบ และขนาดของท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีความเหมาะสมในการรับแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร รวมถึงระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานและก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานของอาคาร

ส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ (Efficiency) ของแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคาร ผ่านทางท่อนำแสงแนวดิ่ง

ส่วนที่ 3 เพื่อเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานในอาคารประเภทชุปเปอร์สโตร์โดยผ่านทางท่อนำแสงแนวดิ่ง

ส่วนที่ 1

งานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแปร 3 ส่วน และมีการตั้งสมมุติฐานในงานวิจัยดังตารางที่ 5.1 ตารางที่ 5.1 แสดงตัวแปรที่ทำการศึกษา และสมมุติฐานในงานวิจัย

ลำดับ	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	สมมุติฐานในงานวิจัย
1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้ง ประกอบด้วยท่อขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้งที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้ความส่องสว่างที่ผ่านท่อนำแสงเข้ามาในอาคารมากขึ้น
2	ค่าของความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวตั้ง (Aspect Ratio) ประกอบด้วยค่า 2, 4, 6, 8 และ 10	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของท่อนำแสงและเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสง (Aspect Ratio) ที่มากขึ้น ส่งผลให้ความส่องสว่างที่ผ่านท่อนำแสงเข้ามาในอาคารน้อยลง
3	ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง ประกอบด้วยระยะ 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร	ระยะห่างระหว่างปลายท่อนำแสงกับตำแหน่งในการวัดแสงที่มากขึ้น ส่งผลให้ ค่าความส่องสว่างที่วัดได้น้อยลง

จากการเก็บข้อมูลความส่องสว่างในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ผลที่ได้เป็นดังนี้

- ขนาดของท่อนำแสงมีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด รองลงมาคือท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และท่อนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตรมีประสิทธิภาพในการนำแสงได้ดีที่สุด ซึ่งตรงตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้
- ค่า Aspect Ratio มีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยค่า Aspect Ratio ที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุดมีค่าที่ 2 รองลงมาคือ 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งตรงตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้
- ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงมีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยสามารถวัดค่าความส่องสว่างได้มากที่สุดที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง 3 เมตร รองลงมาคือระยะความสูง จากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง

แนวตั้งที่ 4 เมตร และระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่ 5 เมตร สามารถวัดค่าความส่องสว่างได้ดีที่สุด ซึ่งตรงตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

ส่วนที่ 2

ในส่วนของประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวตั้งนั้น จากการวิเคราะห์ข้อ มูลพบว่า ท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 3 เมตร มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด และมีช่วงเวลาที่แสงมีค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ 66.66 % - 88.88 % รองลงมาคือท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 4 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงมีค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน 33.33 % - 55.55 % และท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 5 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงมีค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน 33.33 % - 44.44 % โดยท่อนำแสงของทุกตัวแปรจะครอบคลุมระยะที่แสงส่องลงมาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบที่ 0.76 - 6.01 เมตร

ส่วนที่ 3

ในการนำข้อมูลไปใช้ประกอบการออกแบบอาคาร สามารถประยุกต์ใช้ได้กับอาคาร 3 ขนาด คือ ร้านค้าขนาดเล็กที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งเท่ากับ 3 เมตร ร้านค้าขนาดกลางที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งเท่ากับ 4 เมตร และร้านค้าขนาดใหญ่ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งเท่ากับ 5 เมตร จากนั้นนำมาประกอบกับข้อมูลด้านอื่นๆของอาคาร คือ

1. พื้นที่ของอาคาร เพื่อหาจำนวนของท่อนำแสงที่ต้องการ
2. ความสูงของท่อนำแสงที่ต้องการซึ่งจะสัมพันธ์กับค่า Aspect Ratio
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงที่เหมาะสมกับอาคาร

จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในตารางที่ 5.2 เพื่อพิจารณารูปแบบและขนาดของท่อนำแสงแนวตั้งที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน โดยข้อมูลพื้นฐานที่นำมาแสดงนั้น เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ได้จากการทดลองในสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky และเก็บข้อมูลเฉพาะในส่วนระบบนำแสงเท่านั้น ในส่วนของสภาพท้องฟ้าลักษณะอื่น และในการพัฒนาลำดับต่อไปซึ่งต้องเพิ่มเติมระบบรับแสงและระบบกระจายแสง อาจทำให้ข้อมูลที่ได้คลาดเคลื่อนจากนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นในแนวระนาบที่ระดับใช้งาน โดยแยกตามเวลาที่วัดแสง

ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นในแนวระนาบที่ระดับใช้งานสูงจากพื้น 0.75 เมตร

d	0.30 เมตร				0.60 เมตร				0.90 เมตร			
	Aspect Ratio (ความยาวท่อ)	เวลา			Aspect Ratio (ความยาวท่อ)	เวลา			Aspect Ratio (ความยาวท่อ)	เวลา		
		12.00 น.	14.00 น.	16.00 น.		12.00 น.	14.00 น.	16.00 น.		12.00 น.	14.00 น.	16.00 น.
ความสูงจากระดับใช้งานถึง ปลายท่อน้ำแสง 3 เมตร	2 (0.60 ม.)	3.33	-	-	2 (1.20 ม.)	3.59 - 4.09	-	-	2 (1.80 ม.)	3.93 - 5.13	1.64 - 3.07	3.61 - 3.63
	4 (1.20 ม.)	3.39	-	-	4 (2.40 ม.)	3.02 - 4.32	-	-	4 (3.60 ม.)	1.16 - 5.13	1.65 - 3.07	0.83
	6 (1.80 ม.)	4.29	-	-	6 (3.60 ม.)	1.77 - 4.41	-	-	6 (5.40 ม.)	4.50 - 4.64	1.32 - 2.88	2.69
	8 (2.40 ม.)	-	-	-	8 (4.80 ม.)	1.26 - 4.59	-	-	8 (7.20 ม.)	1.04 - 5.08	1.19 - 2.98	-
	10 (3.00 ม.)	4.19	-	-	10 (6.00 ม.)	4.50	-	-	10 (9.00 ม.)	2.34 - 4.87	1.39 - 2.91	2.74
ความสูงจากระดับใช้งานถึง ปลายท่อน้ำแสง 4 เมตร	2 (0.60 ม.)	-	-	-	2 (1.20 ม.)	1.37 - 6.33	-	-	2 (1.80 ม.)	3.84 - 4.22	2.04 - 2.95	0.76
	4 (1.20 ม.)	-	-	-	4 (2.40 ม.)	6.81	-	-	4 (3.60 ม.)	4.45 - 5.04	2.53	0.78
	6 (1.80 ม.)	1.72	-	-	6 (3.60 ม.)	2.74 - 4.81	-	-	6 (5.40 ม.)	4.82 - 4.88	2.31	-
	8 (2.40 ม.)	0.79 - 2.02	-	-	8 (4.80 ม.)	3.37 - 4.83	-	-	8 (7.20 ม.)	3.37 - 4.83	2.38	-
	10 (3.00 ม.)	-	-	-	10 (6.00 ม.)	4.12 - 5.09	-	-	10 (9.00 ม.)	4.12 - 5.09	2.84	-
ความสูงจากระดับใช้งานถึง ปลายท่อน้ำแสง 5 เมตร	2 (0.60 ม.)	-	-	-	2 (1.20 ม.)	-	5.91	-	2 (1.80 ม.)	2.86 - 5.62	3.57	-
	4 (1.20 ม.)	-	-	-	4 (2.40 ม.)	-	2.11 - 3.49	-	4 (3.60 ม.)	2.85	3.77 - 4.06	-
	6 (1.80 ม.)	-	-	-	6 (3.60 ม.)	-	3.26	-	6 (5.40 ม.)	1.04 - 2.90	1.86 - 3.32	-
	8 (2.40 ม.)	-	-	-	8 (4.80 ม.)	-	-	-	8 (7.20 ม.)	2.24 - 2.67	3.98 - 6.01	-
	10 (3.00 ม.)	-	-	-	10 (6.00 ม.)	-	2.11 - 2.52	-	10 (9.00 ม.)	2.57	3.38 - 4.04	-

ตัวอย่างการนำข้อมูลไปใช้งาน

ในการออกแบบท่อนำแสงแนวตั้งสำหรับซูเปอร์สโตร์ สามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับตัดสินใจเลือกใช้ท่อนำแสงแนวตั้งที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยนำไปประกอบกับข้อมูลเบื้องต้นของร้านค้า เช่น ต้องการออกแบบท่อนำแสงแนวตั้งสำหรับร้านค้า 2 ชั้น ที่มีขนาด 15 x 20 เมตร ความสูงฝ้าเพดานที่ 4.5 เมตร โดยมีแนวทางในการนำข้อมูลไปใช้งานดังนี้ คือ

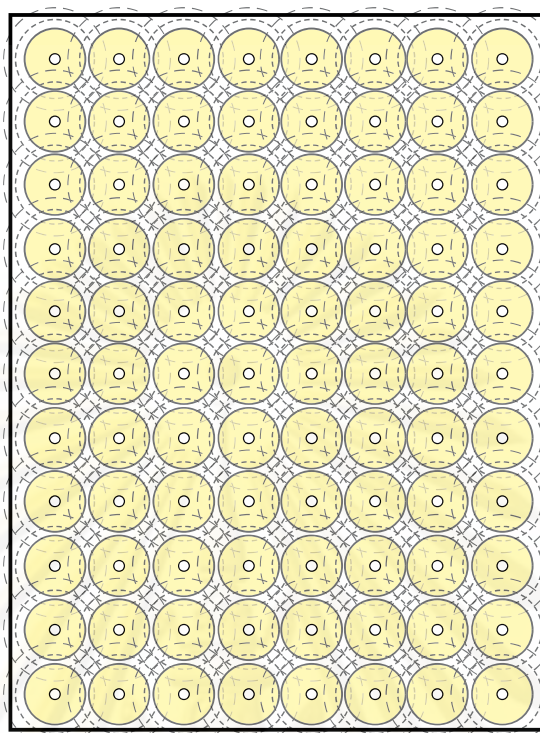
พิจารณาข้อมูลด้านความสูงของอาคาร โดยเลือกใช้ข้อมูลสำหรับอาคารความสูงขนาดกลาง ที่มีระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งที่ 4 เมตร แล้วจึงพิจารณาความยาวของท่อนำแสงที่เหมาะสม ซึ่งสัมพันธ์กับค่า Aspect Ratio จากนั้นจึงนำข้อมูลของของเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบพื้นในแนวระนาบของท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร โดยใช้ข้อมูลที่ได้แจกแจงรายละเอียดของช่วงเวลาในตารางที่ 5.1

โดยจากตารางที่ 5.1 พบว่า ในส่วนของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ควรเลือกท่อที่มีค่า Aspect Ratio = 6 เนื่องจากมีช่วงเวลาที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งาน โดยในช่วงเวลา 12.00 น. พื้นที่ในแนวระนาบที่แสงตกกระทบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าโดยประมาณที่ 1.72 เมตร โดยในส่วนของช่วงเวลาที่เหลือจะไม่มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในการใช้งาน

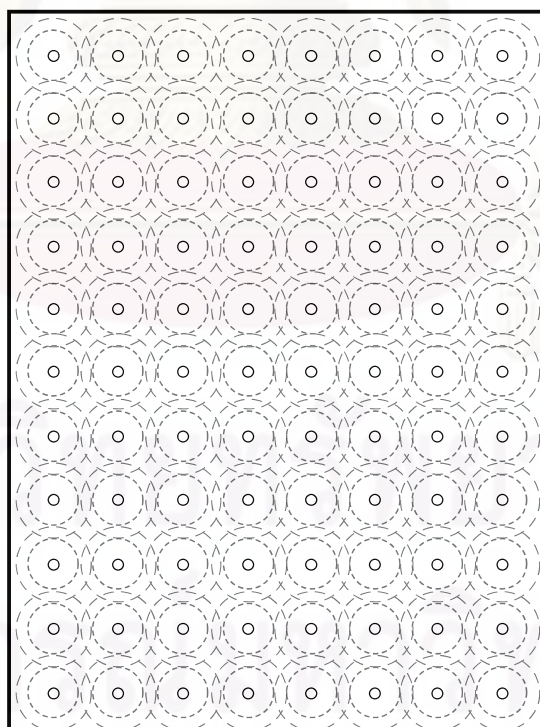
ในส่วนของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ควรเลือกท่อที่มีค่า Aspect Ratio = 2 เนื่องจากมีช่วงเวลาที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งาน และขนาดท่อไม่มีความยาวมากจนเกินไป โดยในช่วงเวลา 12.00 น. พื้นที่ในแนวระนาบที่แสงตกกระทบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าโดยประมาณที่ 3.85 เมตร โดยในส่วนของช่วงเวลาที่เหลือจะไม่มีช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในการใช้งาน

ในส่วนของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ควรเลือกท่อที่มีค่า Aspect Ratio = 2 เนื่องจากมีช่วงเวลาที่แสงสว่างมีความเหมาะสมในการใช้งาน และขนาดท่อไม่มีความยาวมากจนเกินไป โดยในช่วงเวลา 12.00 น. พื้นที่ในแนวระนาบที่แสงตกกระทบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าโดยประมาณที่ 4.50 เมตร ในช่วงเวลา 14.00 น. พื้นที่ในแนวระนาบที่แสงตกกระทบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าโดยประมาณที่ 2.50 เมตร และในช่วงเวลา 16.00 น. พื้นที่ในแนวระนาบที่แสงตกกระทบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าโดยประมาณที่ 0.76 เมตร

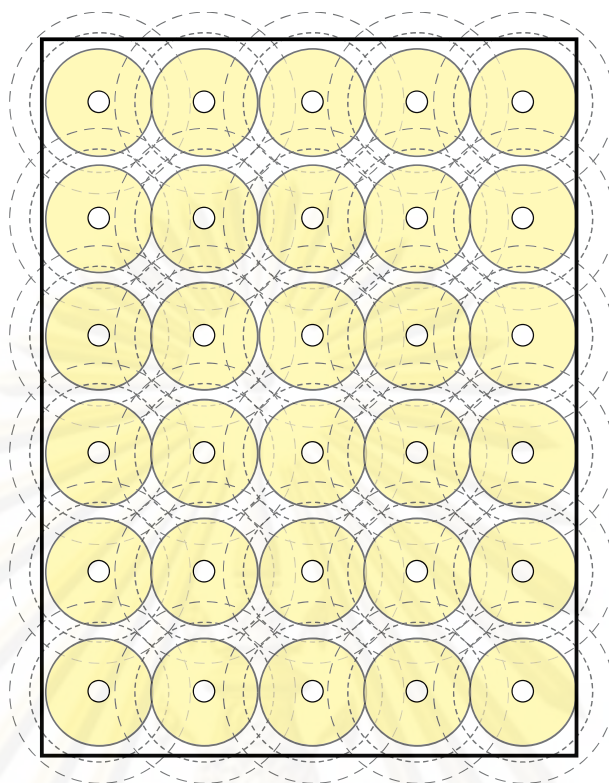
โดยเมื่อนำขอบเขตพื้นที่แสงสว่างตกกระทบพื้นในแนวระนาบมาทำการออกแบบระยะห่างของท่อนำแสงแนวตั้งของท่อนำแสงขนาดต่างๆ จะมีลักษณะดังรูปที่ 5.1 , 5.2 และ 5.3



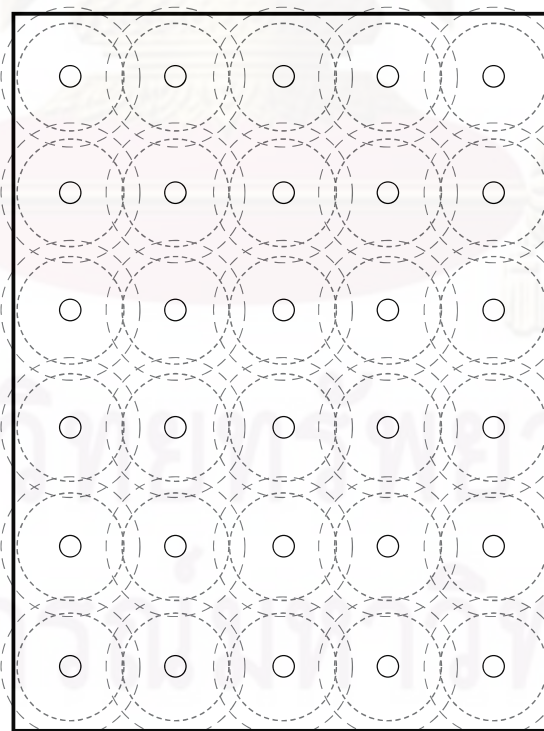
รูปที่ 5.1 แสดงการวางตำแหน่งที่หน้าแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบ
ในแนวระนาบของที่หน้าแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร เวลา 12.00 น.



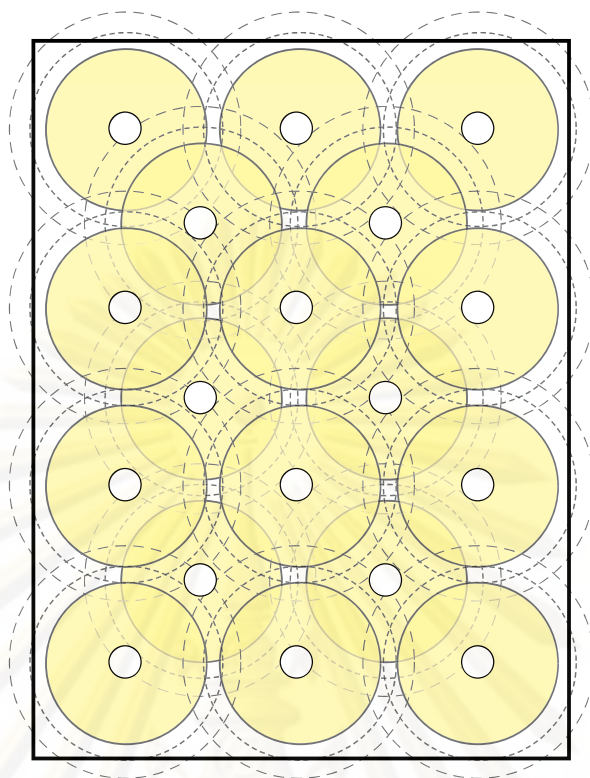
รูปที่ 5.2 แสดงการวางตำแหน่งที่หน้าแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบ
ในแนวระนาบของที่หน้าแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร เวลา 14.00 น.



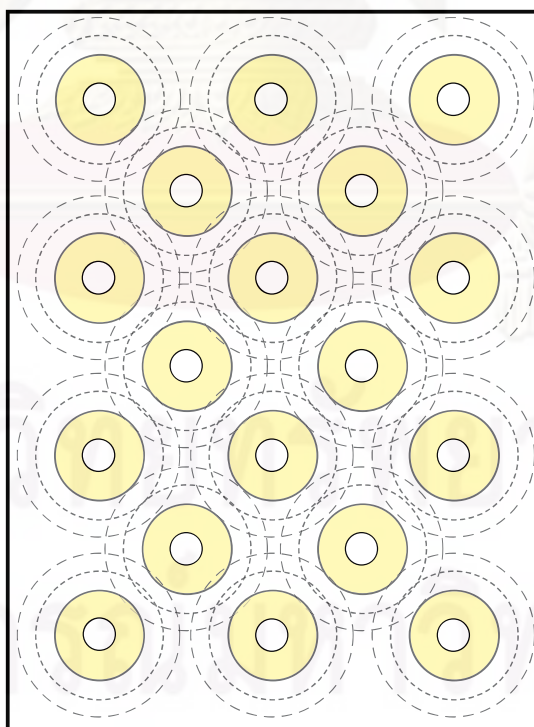
รูปที่ 5.3 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน
แนวระนาบของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 12.00 น.



รูปที่ 5.4 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน
แนวระนาบของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร เวลา 14.00 น.



รูปที่ 5.5 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน
แนวระนาบของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 12.00 น.



รูปที่ 5.6 แสดงการวางตำแหน่งท่อนำแสง และการคาดการณ์ขอบเขตของแสงสว่างที่ตกกระทบใน
แนวระนาบของท่อนำแสงแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร เวลา 14.00 น.

จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 พบว่า เมื่อออกแบบโดยใช้ท่อนำแสงขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ต้อง ใช้ท่อนำแสงประมาณ 88 ท่อ คิดเป็นพื้นที่ ช่องเปิด 6.16 ตารางเมตร เท่ากับ 2.05% เมื่อเทียบกับพื้นที่อาคาร และเมื่อใช้ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ต้องใช้ท่อนำแสงประมาณ 30 ท่อ คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 8.40 ตารางเมตร เท่ากับ 2.80% เมื่อเทียบกับพื้นที่อาคาร และเมื่อใช้ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ต้องใช้ท่อนำแสงประมาณ 18 ท่อ คิดเป็นพื้นที่ช่องเปิด 11.52 ตารางเมตร เท่ากับ 3.84% เมื่อเทียบกับพื้นที่อาคาร

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่า ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร จะให้ระดับความส่องสว่างที่พอเพียงแก่อาคารในช่วงเวลา 12.00 น. และระดับความสว่างจะลดลงในช่วงเวลา 14.00 น. และ 16.00 น. แต่จะใช้พื้นที่ช่องเปิดที่น้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ความร้อนเข้ามาในอาคารได้น้อยกว่า ส่วนท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร จะให้ระดับความส่องสว่างที่ พอเพียงแก่อาคารในช่วงเวลา 12.00 น. และระดับความสว่างจะลดลงในช่วงเวลา 14.00 น. และ 16.00 น. และใช้พื้นที่ช่องเปิดรองลงมา และท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร จะให้ระดับความส่องสว่างที่พอเพียงแก่อาคารในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ซึ่งครอบคลุมช่วงเวลากาการใช้งานได้มากกว่า แต่จะใช้พื้นที่ช่องเปิดมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ความร้อนเข้ามาในอาคารได้มากกว่า

ในการตัดสินใจเลือกใช้ขนาดท่อนำแสงจึงต้องพิจารณาประกอบกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ระบบโครงสร้าง ระบบเครื่องปรับอากาศ การรั่วซึมของน้ำซึ่งอาจมีผลกระทบในกรณีที่มีการเจาะช่องเปิดที่ดีมากเกินไป เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ มีข้อจำกัดในการศึกษา ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาในครั้งต่อไป ดังนี้

5.2.1 แนวทางการวิจัยครั้งต่อไป

- ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาดัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบนำแสงของท่อนำแสงแนวตั้ง เท่านั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องระบบรับแสง และระบบกระจายแสง เพื่อนำผลการศึกษามาพัฒนาท่อนำแสงแนวตั้งให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุด
- ในการศึกษาร้อยครั้งต่อไป ควรเพิ่มตัวแปรในการเก็บข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น วัสดุและรูปทรงของท่อนำแสง สีของห้องกรณีศึกษา เป็นต้น รวมไปถึงตัวแปรด้านความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางท่อนำแสงแนวตั้ง

- งานวิจัยชิ้นนี้ได้เก็บข้อมูลภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความแปรปรวนสูงและไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษาได้ ประกอบกับในงานชิ้นนี้ได้ศึกษาสภาพท้องฟ้าเพียงรูปแบบเดียว คือ Clear sky การศึกษาครั้งต่อไปควรเก็บข้อมูลในสภาพท้องฟ้ารูปแบบอื่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบและหาแนวทางในการพัฒนาท่อนำแสงแนวตั้งต่อไป
- ในการเก็บข้อมูลของงานวิจัยชิ้นนี้ เป็นการเก็บข้อมูลที่แสงสว่างกระทบในแนวระนาบเท่านั้น ในส่วนของการใช้งานสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์ ควรเพิ่มเติมข้อมูลในส่วนของแสงสว่างที่กระทบในแนวตั้งด้วย เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของการวางชั้นสินค้า

5.2.2 ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการศึกษาอันเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์

- ข้อมูลในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการเก็บข้อมูลโดยใช้หุ่นจำลอง ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของระดับความส่องสว่างที่วัดได้ เนื่องมาจากขนาดและผิวของวัสดุของหุ่นจำลอง
- ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนั้น ได้ทำการวัดค่า ความส่องสว่างเพียง 5 ตำแหน่ง ในการศึกษาครั้งต่อไปควรกำหนดตำแหน่งในการวัดแสงให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น
- งานวิจัยชิ้นนี้อาจมีข้อผิดพลาดในด้านของอุปกรณ์ ที่อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของข้อมูล คือท่อนำแสงแนวตั้งที่มีการประกอบและติดตั้งโดยผู้วิจัย การศึกษาครั้งต่อไปควรใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้นในการประกอบท่อนำแสง
- งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องมือ Heliodon ในการจำลององศาของดวงอาทิตย์ ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการเก็บข้อมูลตามวันและเวลาจริงตลอดทั้งปี เพื่อทำการเปรียบเทียบให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากที่สุด

เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และระยะเวลา งานวิจัยชิ้นนี้อาจยังมีข้อผิดพลาด และไม่สมบูรณ์ในบางส่วน แต่ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นแนวทาง และสามารถนำข้อมูลพื้นฐานไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาท่อนำแสงแนวตั้ง เพื่อนำมาใช้ในอาคารให้เกิดการประหยัดพลังงานต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชำนาญ ห่อเกียรติ . **เทคนิคการส่องสว่าง** . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540 .

ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย. **เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

พรรณชัชวาล สุริโยธิน. **การใช้อุปกรณ์จำลองการโคจรของดวงอาทิตย์คู่มือการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยทางเทคโนโลยีอาคาร, 33 - 48, 2544.**

พรรณชัชวาล สุริโยธิน. **วัสดุและการก่อสร้าง : หลอดไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2548.

พิบูลย์ ดิษฐสุอุดม. **การออกแบบระบบแสงสว่าง**. กรุงเทพฯ : เอส-เอน การพิมพ์ , 2535.

พิรุฬห์รัตน์ บุรีประเสริฐ. **รูปแบบของช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

รัฐพล รุญเจริญ. **การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Australian Standard. **Interior Lighting Part I : General principles and recommendations**, 1990.

Australian Standard. **Interior Lighting Part 2.1 : Circulation spaces and other general areas**, 1993

Energy design resources. Design brief : **DAYLIGHTING**, 1998.[ออนไลน์].แหล่งที่มา :

www.energydesignresources.com. [27/08/2008]

Evans, Benjamin H. **Daylight in Architecture**. New York : McGraw-Hill, 1981.

G. Oakley, S. B. Riffat and L. Shao. Daylight performance of lightpipes, **Solar Energy** 69 , 2000.

G.Z. Brown and M. Dekay. **Sun, Wind & Light : Architectural design strategies** . New York : John Wiley & Sons, 2001.

Indian Standard. **Code of Practice for Interior Illumination Part II Schedule for Values of Illumination and Glare Index**, 1966.

International Standard. **Lighting of indoor work places**, 2002.

J. Mohelnikova. Tubular light guide evaluation, **Building and Environment** 44, 2009.

J. Callow. **Daylighting Using Tubular Light Guide Systems**, Doctoral dissertation, University of Nottingham, 2003.

Energy design resources. **Skylighting Guidelines**, 1998 [ออนไลน์] แหล่งที่มา :

www.energydesignresources.com [27/08/2008]

M. Bodaut and A. Deneyer. A guide for the building of daylight scale models, **The 23 th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Switzerland, 2006.

New Zealand Standard. **Code of practice for Interior Lighting Design**. 1984.

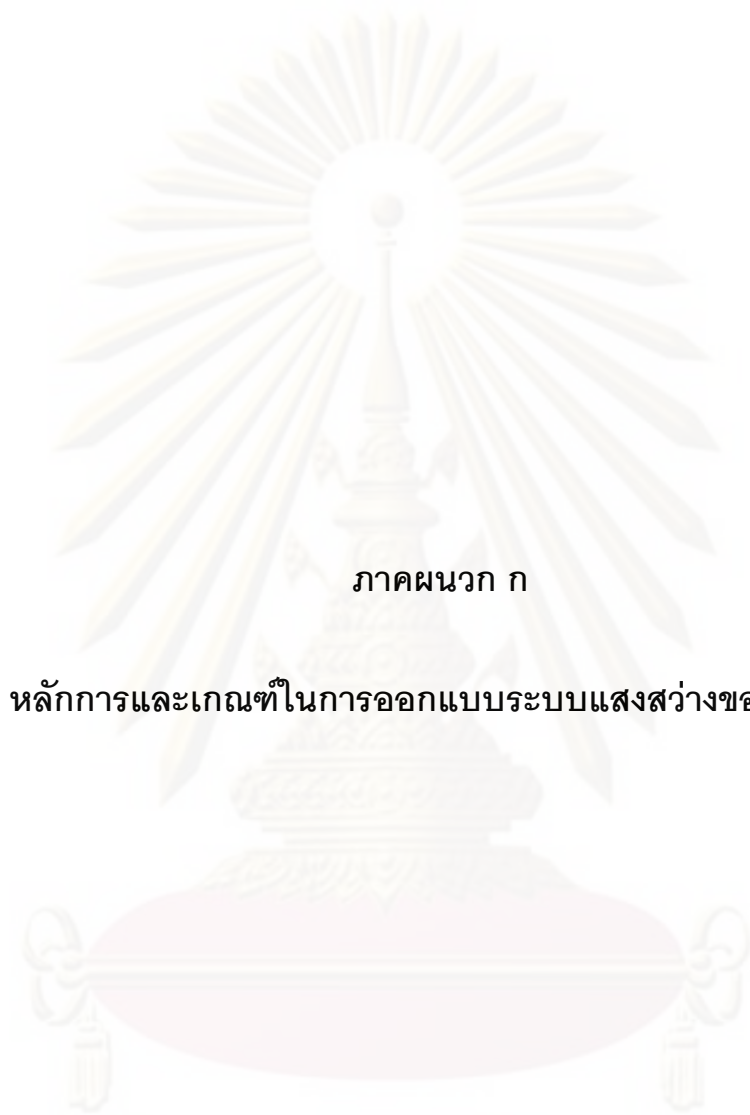
South African National Standard .**Part 1 : Artificial lighting of interiors**, 2005.

ศูนย์วิทยุโทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

หลักการและเกณฑ์ในการออกแบบระบบแสงสว่างของอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐานในประเทศไทย

กฎกระทรวง

ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537)

ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคารพ.ศ. 2522

หมวด 3

ระบบการจัดแสงสว่างและการระบายอากาศ

ข้อ 11 ส่วนต่างๆของอาคารต้องมีความเข้มของแสงสว่างไม่น้อยกว่าความเข้มที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3 ท้ายกฎกระทรวงนี้

สถานที่อื่นที่มีได้ระบุไว้ในตารางตามวรรคหนึ่ง ให้ใช้ความเข้มแสงสว่างของสถานที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับความเข้มที่กำหนดไว้ในตารางดังกล่าว

ตารางแสดงค่าความเข้มของแสงสว่างของลักษณะอาคารประเภทต่างๆ

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	หน่วยความเข้มของแสงสว่าง (lux)
1	ที่จอดรถ	50
2	ช่องทางเดินภายในอาคารอยู่อาศัยรวม	100
3	ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารอยู่อาศัยรวม	100
4	ห้องน้ำ ห้องส้วมของโรงงาน โรงเรียน โรงแรม สำนักงาน หรืออาคารอยู่อาศัยรวม	100
5	โรงแรมหรสพ (บริเวณที่นั่งขณะที่ไม่มีการแสดง)	100
6	ช่องทางเดินภายในโรงงาน โรงเรียน โรงแรม สำนักงาน หรือสถานพยาบาล	200
7	สถานีขนส่งมวลชน (บริเวณที่พักผู้โดยสาร)	200
8	โรงงาน	200
9	ห้างสรรพสินค้า	200
10	ตลาด	200
11	ห้องน้ำ ห้องส้วมของโรงแรมหรสพ สถานพยาบาล สถานีขนส่งมวลชน ห้างสรรพสินค้า หรือตลาด	200
12	ห้องสมุด ห้องเรียน	300
13	ห้องประชุม	300
14	บริเวณที่ทำงานในสำนักงาน	300

ที่มา : สมาคมสถาปนิกสยาม , 2539.

**กฎกระทรวง
(พ.ศ. 2538)**

ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 และมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ

หมวด 3

การใช้พลังงานในอาคาร

ข้อ 4 การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในอาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ

- 1) ในกรณีที่มีการส่องสว่างด้วยไฟฟ้าในอาคารจะต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอตามหลักและวิธีการที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม
- 2) อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถจะต้องใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

ตารางแสดงค่าความเข้มของแสงสว่างของลักษณะอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร ⁽¹⁾	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัดต่อดตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
(ก) สำนักงาน โรงแรม สถานศึกษาและโรงพยาบาล / สถานพักฟื้น	16
(ข) ร้านขายของ ซูเปอร์มาร์เก็ต หรือศูนย์การค้า ⁽²⁾	23

1) อาคารที่มีการใช้งานหลายลักษณะให้ใช้ค่าในตารางตามลักษณะพื้นที่ใช้งาน

2) รวมถึงไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไปที่ใช้ในการโฆษณาเผยแพร่สินค้า ยกเว้นที่ใช้ในตู้กระจกแสดงสินค้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

เรื่อง ควบคุมอาคาร

พ.ศ. 2544

หมวด 7

ระบบการจัดแสงสว่าง การระบายอากาศ การระบายน้ำ

และการกำจัดมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล

ข้อ 63 แสงสว่างในส่วนต่างๆของอาคาร ต้องไม่น้อยกว่าความเข้มของแสงสว่างตามที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ตารางแสดงค่าความเข้มของแสงสว่างของลักษณะอาคารประเภทต่างๆ

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	หน่วยความเข้มของแสงสว่าง (lux)
1	ที่จอดรถ	50
2	ช่องทางเดินภายในอาคารอยู่อาศัยรวม	100
3	ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารอยู่อาศัยรวม	100
4	ห้องน้ำ ห้องส้วมของโรงงาน โรงเรียน โรงแรม สำนักงานหรืออาคารอยู่อาศัยรวม	100
5	โรงมหรสพ (บริเวณที่นั่งสำหรับคนดูขณะที่ไม่มีการแสดง)	100
6	ช่องทางเดินภายในโรงงาน โรงเรียน โรงแรม สำนักงานหรือสถานพยาบาล	200
7	สถานีขนส่งมวลชน (บริเวณที่พักรถโดยสาร)	200
8	โรงงาน	200
9	ห้างสรรพสินค้า	200
10	ตลาด	200
11	ห้องน้ำ ห้องส้วมของโรงมหรสพ สถานพยาบาล สถานีขนส่งมวลชน ห้างสรรพสินค้า หรือตลาด	300
12	ห้องสมุด ห้องเรียน	300
13	ห้องประชุม	300
14	บริเวณที่ทำงานในสำนักงาน	300

กฎกระทรวง

กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย
และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549

ตารางแสดงมาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไป

ประเภท อุตสาหกรรม	อาคาร/พื้นที่	ค่าเฉลี่ยความเข้ม ของแสงสว่าง (ลักซ์)
บริเวณพื้นที่ ทั่วไปของอาคาร	ทางเข้า	
	- ทางเข้าห้องโถง หรือห้องพักรอ	200
	- บริเวณโต๊ะประชาสัมพันธ์ หรือโต๊ะติดต่อลูกค้า	400
	- ประตูทางเข้าใหญ่ของสถานประกอบการ	50
	- บัอมยาม	100
	- จุดขนถ่ายสินค้า	100
	พื้นที่สัญจร	
	- ทางเดินในพื้นที่สัญจรเบาบาง	20
	- ทางเดินในพื้นที่สัญจรหนาแน่น	50
	- บันได	50
	โรงอาหาร	
	- พื้นที่ทั่วไป	200
	- บริเวณโต๊ะเก็บเงิน	300
	ห้องเก็บของ	
	- ห้องเก็บวัสดุขนาดใหญ่	
: เก็บรวบรวมไว้โดยไม่เคลื่อนย้าย	50	
: เก็บรวบรวมไว้เพื่อการเคลื่อนย้าย	100	
- ห้องเก็บวัสดุขนาดปานกลางหรือละเอียดอ่อน		
: เก็บรวบรวมไว้โดยไม่เคลื่อนย้าย	100	
: เก็บรวบรวมไว้เพื่อการเคลื่อนย้าย	200	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐาน TIEA-GD003:2003

ข้อกำหนดระดับความส่องสว่างภายในอาคาร (พ.ศ. 2546)

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่และกิจกรรมต่างๆภายในอาคาร

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	E_m lux	UGR,	R_a ,	หมายเหตุ
พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป				
โถงทางเข้าอาคาร	100	22	60	ระหว่างทางเข้า ออก ให้ระวัง การเปลี่ยนระดับความเข้มแสง แบบทันที
โถงนั่งพัก	200	22	80	
พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100	28	40	
บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150	25	40	
พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150	25	40	
ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร	200	22	80	
ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ	200	25	80	
ห้องเก็บของ	50	25	60	
ห้องบรรจุหีบห่อ ขนถ่ายวัสดุ	300	25	60	
ร้านค้าปลีก				
พื้นที่ขาย (ขนาดเล็ก)	300	22	80	
พื้นที่ขาย (ขนาดใหญ่)	500	22	80	
พื้นที่เก็บเงิน/ห่อ บรรจุ	500	19	80	

ที่มา : สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย

โดย แถวที่ 1 แสดงลักษณะห้อง ลักษณะงาน หรือกิจกรรม

แถวที่ 2 แสดงค่า E_m Lux : Minimum Illuminance คือความส่องสว่างขั้นต่ำโดยเฉลี่ยของพื้นที่ที่ใช้ทำกิจกรรมในแถวที่1 ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

แถวที่ 3 แสดงค่า UGR (Limiting Unified Glare Rating) คือดัชนีบอกค่าระดับความไม่สบายตามากที่สุดที่ยอมรับได้จากระบบแสงสว่าง ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน

แถวที่ 4 แสดงค่า colour – rendering (R_a) คือค่าดัชนีความถูกต้องของสีขั้นต่ำ โดยควรเลือกชนิดหลอดไฟที่ให้ค่าความถูกต้องของสีไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด

แถวที่ 5 แสดงคำแนะนำต่างๆ

แถวที่ 6 แสดงระดับของ illuminance ที่ยอมรับได้ในกฎหมายของ South African

การเลือกใช้แสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ในห้างสรรพสินค้า⁶

ห้างสรรพสินค้ามีความต้องการแสงสว่างค่อนข้างมาก โดยแหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไป ต้องให้แสงครบทุกสีและสามารถนำมาใช้เน้นสินค้าเป็นจุดๆได้ สำหรับบริเวณทั่วไปในห้างสรรพสินค้าควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสง และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมดาวนไลท์

ในบางจุดอาจต้องลดแสงแยงตาโดยใช้โคมไฟแบบมีตัวกรองแสงขาวขุ่น แต่บริเวณที่สูง อาจเลือกใช้หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดทวิสเตนฮาโล เจน หลอดโซเดียมความดันสูงร่วมกับโคมไฮเบย์ (High Bay) และการติดตั้งต้องพิจารณา ร่วมกับการทำความเย็น และการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง ไม่ควรติดตั้งหลอดไฟ บัลลาสต์และดวงโคมใกล้บริเวณหัวจ่ายลมเย็นภายในอาคาร เพราะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์แสงสว่างจะมีผลกระทบต่อการทำงานภายใน สำหรับการเลือกใช้แสงสว่างในแต่ละจุดของห้างสรรพสินค้า สรุปตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางแสดงการเลือกใช้แสงสว่างในบริเวณต่างๆของห้างสรรพสินค้า

พื้นที่ของอาคารห้างสรรพสินค้า	ลักษณะของแสงสว่างและประเภทของหลอดไฟที่ควรเลือกใช้
ส่วนหน้าประชาสัมพันธ์	<ul style="list-style-type: none"> ▪ จำเป็นที่จะต้องมีความสว่างเพียงพอเพื่อให้เกิดความสบายตา และสามารถอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ▪ ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็ก ประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสง ▪ ควรเลือกใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมดาวนไลท์ในจุดที่พนักงานนั่งทำงาน ▪ อาจมีการเน้นที่บริเวณป้ายประชาสัมพันธ์ โดยใช้หลอดทวิสเตนฮาโลเจนร่วมกับโคมดาวไลท์
พื้นที่ขายสินค้าหรือร้านค้า การให้แสงสว่างต้องพิจารณาคุณภาพและปริมาณแสงควบคู่กับสถาปัตยกรรมภายใน ร้านค้าและความสวยงามที่เป็นเอกลักษณ์ของแต่ละร้าน นอกจากนี้ ยังต้องใช้แสงสว่างเน้นตัวสินค้าในร้าน สร้างความรู้สึกให้สินค้านั้นมีค่าและยกระดับความดึงดูดใจของตัวสินค้าขึ้นมา	<ul style="list-style-type: none"> ▪ บริเวณทั่วไปสามารถใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็ก ประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสงได้ ▪ บริเวณที่ต้องการเน้นควรใช้หลอดคอมแพคร่วมกับโคมดาวนไลท์หรืออาจใช้หลอดทวิสเตนฮาโลร่วมกับโคมดาวนไลท์ เพื่อให้แสงสว่างส่องไปที่ตัวสินค้า เช่น สินค้าที่วางแสดงในตู้
ห้องทำงาน	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็ก ประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสง โดยติดตั้งตามพื้นที่การทำงานของพนักงาน

⁶ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. เอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับห้างสรรพสินค้า

ตารางแสดงการเลือกใช้แสงสว่างในบริเวณต่างๆของห้างสรรพสินค้า(ต่อ)

พื้นที่ของอาคารห้างสรรพสินค้า	ลักษณะของแสงสว่างและประเภทของหลอดไฟที่ควรเลือกใช้
ทางเดินภายใน ลิฟต์ และบันไดเลื่อน	<ul style="list-style-type: none"> ควรมีสวิตช์สำหรับเปิด - ปิดหลอดแต่ละชุดแยกออกจากกัน ควรใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมดาวน์ไลท์ ซึ่งติดตั้งเป็นจุดๆตามแนวทางเดิน
ทางเดินรอบนอก ห้องควบคุมไฟฟ้า ห้องควบคุมน้ำประปา ห้องบำบัดน้ำเสียและ ห้องเครื่องทำความเย็น	<ul style="list-style-type: none"> สามารถเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็ก ประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสงได้
ที่จอดรถสำหรับห้างสรรพสินค้า โดยทั่วไปจะ อยู่ภายในอาคาร	<ul style="list-style-type: none"> ต้องมีแสงสว่างอย่างเพียงพอเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็ก ประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสง ควรจะมีการแยกวงจรควบคุมเป็นช่วงกลางวันและช่วงกลางคืน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานและประหยัดพลังงานในช่วง กลางวัน ซึ่งสามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติได้
ห้องอาหาร	<ul style="list-style-type: none"> ควรเลือกใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมดาวน์ไลท์
พื้นที่อื่นๆ เช่น ห้องครัว	<ul style="list-style-type: none"> ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็ก ประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสง

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน,2548.

ตารางเปรียบเทียบค่าความสว่างที่เหมาะสมระหว่าง มาตรฐานJIS ของประเทศญี่ปุ่น และค่า
จากหนังสือวิชามนุษย์ปัจจัย Ergonomics ที่เขียนโดย Etienne Grandjean เสนอแนะค่าไว้ดังนี้
ตารางแสดงเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของลักษณะการทำงานต่างๆ

ลักษณะของงาน	ตัวอย่างงาน/พื้นที่ใช้งาน	ระดับความสว่าง (ลักซ์)	
		JIS	Grandjean
งานที่ไม่ต้องละเอียด	ทางเดินภายนอกอาคาร	20-30	-
งานที่ละเอียดน้อย	ทางเดินภายใน บันได ห้องเก็บของ	30-75	80-170
	บรรจุผลิตภัณฑ์	-	200-250
งานที่ละเอียดปานกลาง	หัตถกรรม โรงสี ห้องหม้อไอน้ำ	75 – 150	250-300
	ประกอบชิ้นส่วนทั่วไป ขึ้นรูปอย่างหยาบ	150-300	500-700
งานที่ละเอียดสูง	เขียน อ่าน ขึ้นรูปและตรวจสอบทั่วไป	300-750	500-700
งานที่ละเอียดเป็นพิเศษ	เขียนแบบ ขึ้นรูปและตรวจสอบละเอียด	750-1500	1000-2000
	เรียงพิมพ์ ประกอบแผ่นวงจร เจียระไน	1500-3000	1000-2000

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

มาตรฐานของต่างประเทศ

INDIAN SRANDARD (IS : 3646 (Part II) – 1966)

Code of Practice for Interior Illumination

Part II Schedule for Values of Illumination and Glare Index

- ลักษณะอาคารในมาตรฐาน Indian Standard แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ
 1. โรงงาน
 2. สำนักงาน โรงเรียน และอาคารสาธารณะ
 3. โรงพยาบาล
 4. โรงแรม ภัตตาคาร ร้านค้า และบ้านพักอาศัย
- Illumination Values เป็นค่าที่ได้รับการแนะนำให้รักษาไว้คงที่ตลอดเวลา โดยเป็นค่าที่เพียงพอต่อความต้องการโดยอาจมีค่าที่สูงกว่าข้อกำหนดเพื่อความสบายตาในการใช้งาน โดยค่าจะแบ่งเป็นช่วงๆตามนี้คือ 10, 20, 30, 50, 70, 100, 160, 200, 300, 450, 700, 1000, 1500, 2000, 3000
- วัดค่าที่ระดับการทำงานสูงจากพื้น 0.90 เมตร
- ค่า Glare Index เป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตามสถานที่ โดยไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะงานที่ทำ โดย แบ่งเป็นช่วงๆตามนี้คือ 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28

Shops and Stores

ตารางแสดงระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่ร้านค้า

Shops and Stores	Illumination Lux	Limiting Glare Index
a) General areas	150 – 300*	22
b) Stock rooms	200	25

* สำหรับส่วนเคาน์เตอร์ และส่วนโชว์สินค้า

ที่มา : INDIAN SRANDARD,1966: 23.

SOUTH AFRICAN NATIONAL STANDARD (SANS 10114 – 1 : 2005) Edition 3

Part 1 : Artificial lighting of interiors

ตารางแสดง Minimum maintained illuminance values

1	2	3	4	5	6
Type of interior, area, task, or activity	E_m , Min. lx	UGR, max.	R_a , min.	Remarks	SA Legislation min. lx
Retailing					
Sales areas (small)	300	22	80		
Sales area (large)	500	22	80		
Till area, wrapper table	500	19	80		
General work areas	300	22	80		
Stairs and corridors	200	22	80	At floor level	100
Stockrooms	200	25	80		

ที่มา : South African National Standard , 2005: 29.

โดย

แถวที่ 1 แสดงลักษณะห้อง ลักษณะงาน หรือกิจกรรม

แถวที่ 2 แสดงค่า E_m Lux : Minimum Illuminance คือความส่องสว่างขั้นต่ำโดยเฉลี่ยของพื้นที่ที่ใช้ทำกิจกรรมในแถวที่ 1 ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

แถวที่ 3 แสดงค่า UGR (Limiting Unified Glare Rating) คือดัชนีบอกค่าระดับความไม่สบายตามากที่สุดที่ยอมรับได้จากระบบแสงสว่าง ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน

แถวที่ 4 แสดงค่า colour – rendering (R_a) คือค่าดัชนีความถูกต้องของสีขั้นต่ำ โดยควรเลือกชนิดหลอดไฟที่ให้ค่าความถูกต้องของสีไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด

แถวที่ 5 แสดงคำแนะนำต่างๆ

แถวที่ 6 แสดงระดับของ illuminance ที่ยอมรับได้ในกฎหมายของ South African

AUSTRALIAN STANDARD (AS 1680.1– 1990)

Interior lighting Part 1 : General principles and recommendations

ตาราง Recommended maintenance illuminances for various types of tasks, activities or interiors

Class of task		Recommended illuminance(lx)	Characteristics of the activity/interior	Representative activities/interiors
Movement and orientation		40	Interiors rarely visited with visual tasks limited to movement	Corridors; Cable tunnels; indoor storage tanks; walkways.
Rough intermittent		80	Interiors requiring intermittent use with visual tasks limited to movement, orientation and coarse detail.	Staff change room; live storage of bulky materials; dead storage of materials needing care; locker rooms' loading bays.
Normal range of tasks and work places	Simple	160	Interiors rarely visited with visual tasks limited to movement and orientation	Waiting rooms; staff canteens; rough checking of stock; rough bench and machine work; entrance halls; general fabrication of structural steel; casting concrete; automated process monitoring; turbine halls.
	Ordinary or moderately easy	240	Continuously occupied interiors with moderately easy visual tasks requiring perception of other than coarse detail. Occasional reading of clearly printed documents for short periods.	School chalkboards and charts; medium woodworking; food preparation; counters for transactions.
	Moderately difficult	400	Areas where visual tasks are moderately difficult with moderate detail (5-10 min arc or tolerances to 125 µm) or with low contrasts.	Routine office work, inspection of medium work; fine woodworking; enquiry points; car assembly.
	Difficult	600	Areas where visual tasks are difficult with small detail (3-5 min arc or tolerances to 25 µm) or with low contrast.	Drawing offices (boards); most inspection tasks; proof reading; fine machine work; fine painting and finishing; colour matching .
	Very difficult	800	Areas where visual tasks are very difficult with very small detail (2-3 min arc) or with very low contrast.	Fine inspection; paint retouching; fine manufacture; grading of dark materials; colour matching of dyes
Extremely difficult		1200	Areas where visual task are extremely difficult with extremely small detail (1-2 min arc or tolerances below 25 µm) or of low contrast. Visual aids may assist.	Graphic arts inspection; hand tailoring; fine die sinking; inspection of dark foods; extra-fine bench work.
Exceptionally difficult		1600	Areas where visual tasks are exceptionally difficult with exceptionally small detail (<1 min arc) or with very low contrasts. Visual aids will be of advantage.	Finished fabric inspection; assembly of minute mechanism, jewellery and watchmaking

ที่มา : AUSTRALIAN STANDARD, 1990.

AUSTRALIAN STANDARD (AS 1680.2.0 – 1990)

Interior lighting

Part 2.0 : Recommendations for specific tasks and interiors

มาตรฐาน Australian Standard จัดทำโดย Standards Australia Committee เพื่อแนะนำค่าการส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับงานเฉพาะทางและแสงสว่างภายในอาคาร โดยเป็นมาตรฐานที่ต่อเนื่องกับมาตรฐาน AS 1680.1 ซึ่งจะใช้งานจนกว่าจะถูกแทนที่ด้วยชุดมาตรฐาน AS 1680.2 อื่นๆ โดยแยกส่วนต่างๆดังนี้

- 1) ทางสัญจร และพื้นที่ที่วิ่งไป
- 2) สำนักงาน
- 3) Screen based tasks
- 4) สถาบันการศึกษา
- 5) โรงงานอุตสาหกรรม และแสงสว่างที่เหมาะสมแก่ขั้นตอนการทำงานต่างๆ
- 6) โรงพยาบาล

ตารางที่ 12 ระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่ร้านค้า

Type of task or interior	Maintenance illuminance lx	Maximum glare index
RETAIL SHOPS General	160 ^(a)	

(a) The recommended maintenance illuminance is for basic amenity. Higher illuminances will often be desired for commercial reasons.

ที่มา : AUSTRALIAN STANDARD, 1990: 16.

NEW ZEALAND STANDARD (NZS 6703 : 1984)

Code of practice for INTERIOR LIGHTING DESIGN

ตาราง แสดง Recommended Standard Service Illuminance

Area	Standard service illuminance lux	Position of measurement	Limiting glare index	Colour appearance of lamps	Notes
GENERAL BUILDING AREAS					
Circulation areas					
Corridors, passageways	100 (Mean spherical)	1.2 m above floor	22	Intermediate or warm	Scalar illuminance to be not less than 1/8 horizontal planar illuminance in adjacent areas and not less than 120 lux if there is no daylight
Lifts (passengers)	150	Floor	-		
Stairs	150	Treads	-		
Escalators	150	Treads	-		
External covered ways	30	Ground	-		
SHOPS					
Conventional with counters	500	Counters - horizontal	19	Cool, intermediate or warm	Type of merchandise dictate required colour rendering. Local or localised lighting needed to emphasize particular displays.
Self - service	500	Vertical on displayed merchandise	19	Intermediate or warm	
Supermarkets	500	Vertical on displayed merchandise	22	Intermediate or warm	
Hypermarket	500	Vertical on displayed merchandise	22	Intermediate or warm	
	1000	Horizontal on working plane	22	Intermediate or warm	In these very large areas definition of perimeter walls by higher luminance is desirable.

ที่มา : NEW ZEALAND STANDARD, 1984.

INTERNATIONAL STANDARD (ISO 8995 CIE S 008/E)

Lighting of indoor work places

ตารางที่ 14 Interior(Areas) Tasks and Activities with Specification of Illuminance,

Glare Limitaton and Colour Quality

Type of interior, area, task, or activity	E_m lux	UGR,	R_a	Remarks
General building areas				
Entrance halls	100	22	60	
Lounges	200	22	80	
Circulation areas and corridors	100	28	40	At exits and entrances provide a transition zone and avoid sudden changes
Stairs, escalators, travelators	150	25	40	
Loading ramps /bays	150	25	40	
Canteens	100	25	60	
Store, stockrooms, cold store	150	22	60	200 lux if continuously occupied
Retailing				
Sales area small	300	22	80	
Sales area large	500	22	80	
Till area, wrapper table	500	19	80	
Wrapper table	500	19	80	

ที่มา : INTERNATIONAL STANDARD (ISO 8995 CIE S 008/E)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ตารางแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ มุมโพรไฟล์ และมุมอะซิมุท
สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ (กรุงเทพมหานคร)

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 240.

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้องของสำหรับละติจูด 14 องศาเหนือ

Date	Solar Position		HOR																Solar Position		Solar time				
	Time	AL	AZ	N	NN	N	EN	E	ES	S	SS	S	SS	S	WS	W	WN	N	NN	A		ALT	Time		
DEC	7	8	63			2	11	9	8	8	10	1	62								82	63	8	7	
	8	20	58			5	33	2	21	2	25	3	66								70	58	20	8	
	9	32	50			8	54	3	33	3	36	4	64								58	50	32	9	
	10	43	38				74	5	46	4	44	4	62	83							48	38	43	10	
	11	50	22					7	59	5	50	5	59	72							40	22	50	11	
	12	53	0						9	74	6	55	5	55	62	74					37	0	53	12	
	13	50	22										5	50	53	59	7				40	22	50	13	
	14	43	38										4	44	43	46	5	74			48	38	43	14	
	15	32	50										4	36	32	33	3	54	82		58	50	32	15	
	16	20	58										3	25	21	21	2	33	59		70	58	20	16	
	17	8	63										1	10	8	8	9	11	23		82	63	8	17	
	JAN+NOV	7	9	67			2	12	1	9	1	12	2									81	67	9	7
		8	22	62			5	33	2	22	2	27	4	75								68	62	22	8
		9	34	53			7	53	4	35	3	39	4	70								56	53	34	9
		10	45	42				72	5	48	4	47	5	66								46	42	45	10
		11	53	24				89	7	61	5	53	5	62	75							37	24	53	11
		12	56	0					9	75	6	58	5	58	65	75						34	0	56	12
13		53	24									5	53	55	61	7	89				37	24	53	13	
14		45	42									5	47	45	48	5	72				46	42	45	14	
15		34	53									4	39	34	35	4	53	78			56	53	34	15	
16		22	62									4	27	23	22	2	33	55			68	62	22	16	
17		9	67									2	12	10	9	1	12	23			81	67	9	17	
FEB+OCT		7	12	76		56	2	15	1	12	1	19	4									79	76	12	7
		8	26	71		84	4	33	2	26	2	35	5									65	71	26	8
		9	39	64			6	51	4	39	4	47	6									51	64	39	9
		10	51	52			8	69	5	52	5	55	6	78								39	52	51	10
		11	61	32				85	7	66	6	62	6	72	83							29	32	61	11
		12	65	0					9	80	7	67	6	67	72	80						25	0	65	12
	13	61	32									6	62	66	7	85					29	32	61	13	
	14	51	52									6	55	51	52	5	69	85			39	52	51	14	
	15	39	64									6	47	40	39	4	51	69			51	64	39	15	
	16	26	71									5	35	28	26	2	33	48	84		65	71	26	16	
	17	12	76									4	19	14	12	1	15	22	56		79	76	12	17	
	MAR+SEP	7	14	87		39	2	16	1	15	1	31	7									76	87	14	7
		8	29	82		66	4	33	2	30	3	47	7									61	82	29	8
		9	43	77		81	6	50	4	44	4	58	7									47	77	43	9
		10	57	67			7	66	5	57	5	66	7									33	67	57	10
		11	69	49				81	7	71	7	72	7	83								21	49	69	11
		12	76	0					9	85	8	77	7	77	80	85						14	0	76	12
13		69	49									7	72	70	71	7	81				21	49	69	13	
14		57	67									7	66	59	57	5	66	76			33	67	57	14	
15		43	77									7	58	48	44	4	50	81	81		47	77	43	15	
16		29	82									7	47	35	30	2	33	43	66		61	82	29	16	
17		14	87									7	31	19	15	1	16	21	39		76	87	14	17	
APR+AUG		6	3	10	1	5	4	3	3	4	5	14										87	10	3	6
		7	17	98	6	31	2	18	1	20	2	51										73	98	17	7
		8	32	95	8	53	3	33	3	35	4	64										58	95	32	8
		9	46	92	8	68	5	48	4	49	5	72										44	92	46	9
		10	61	89		78	6	63	6	63	6	78										29	89	61	10
		11	75	83		86	8	77	7	76	7	83										15	83	75	11
	12	86	0				9	66	6	65	6	65	65	66	9						4	0	86	12	
	13	75	83									83	78	76	7	77	81	86			15	83	75	13	
	14	61	89									78	68	63	6	63	69	78			29	89	61	14	
	15	46	92	8								72	57	49	4	48	55	68			44	92	46	15	
	16	32	95	8								64	44	35	3	33	39	53			58	95	32	16	
	17	17	98	6								51	27	20	1	18	22	31			73	98	17	17	
	18	3	10	1								14	5	4	3	3	4	5			87	10	3	18	
	MAY+JUL	6	5	10	1	7	5	5	5	6	1	56										86	10	5	6
		7	19	10	4	28	2	19	2	24	3	73										72	10	19	7
		8	33	10	6	47	3	33	3	39	5	79										58	10	33	8
		9	47	10	7	61	5	47	4	53	6	83										44	10	47	9
10		61	10	8	71	6	61	6	67	7											30	10	61	10	
11		74	11	8	78	7	74	7	80	8											16	11	74	11	
12		84	18	8	84	8	87	8								8	87	86	84		6	18	84	12	
13		74	11	8										85	80	7	74	76	78		16	11	74	13	
14		61	10	8										75	67	6	61	64	71		30	10	61	14	
15		47	10	7										83	64	53	4	47	51	61	44	10	47	15	
16		33	10	6										79	52	39	3	33	36	47	58	10	33	16	
17		19	10	4										73	36	24	2	19	21	28	72	10	19	17	
18		5	10	1										56	11	6	5	5	7		86	10	5	18	
JUN		6	5	11	1	8	6	5	6	8	1											85	11	5	6
		7	19	11	4	27	2	19	2	25	4	84										71	11	19	7
		8	33	10	6	45	3	33	3	41	5											58	10	33	8
		9	46	10	7	58	5	46	4	55	6											44	10	46	9
	10	60	11	7	68	6	60	6	68	7											30	11	60	10	
	11	73	12	8	75	7	73	7	81												17	12	73	11	
	12	81	18	8	81	8	86	9								9	86	84	81		9	18	81	12	
	13	73	12	8												81	7	73	74	75	17	12	73	13	
	14	60	11	7												78	68	6	60	62	30	11	60	14	
	15	46	10	7												68	55	4	46	50	44	10	46	15	
	16	33	10	6												56	41	3	33	36	58	10	33	16	
	17	19	11	4												84	40	25	2	19	71	11	19	17	
	18	5	11	1												14	8	6	5	6	85	11	5	18	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนศมา เพ็ญนภัทร เกิดวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 ที่ จ.เพชรบูรณ์ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตรมหา บัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 ปัจจุบันทำงานที่คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย