การใช้แสงธรรมชาติในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง

โดย
นายวัชรินทร์ วิมานจตุรงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การใช้แสงธรรมชาติในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง

โดย

นายวัชรินทร์ วิมานจตุรงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DAYLIGHTING IN RETAIL STORES THROUGH VERTICAL LIGHT PIPES

By

Mr. Watcharin Wimanjaturong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2015

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การใช้แสงธรรมชาติในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง” เสนอโดย นายวัชรินทร์ วิมานจตุรงค์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ มาลินี ศรีสุวรรณ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. นวลวรรณ ทวยเจริญ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต)

...../...../.....

57054204: สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คำสำคัญ: แสงธรรมชาติ / ท่อนำแสงแนวดิ่ง / ห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

วัชรินทร์ วิมานจตุรงค์ : การใช้แสงธรรมชาติในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร. ธาริณี รามสูต. 202 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาความเหมาะสมและ ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวดิ่งภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย เพื่อลดภาระการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง โดยศึกษาความส่องสว่างเฉลี่ย, Daylight Factor และปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประหยัดได้จากการลดการใช้ไฟฟ้า การศึกษาใช้การคำนวณด้วยสูตรสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงแนวดิ่งและ เปรียบเทียบกับมาตรฐานความส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

จากผลการทดลองพบว่า

แสงภายนอกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แสงเข้าสู่ท่อนำแสงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงภายนอกตกกระทบตั้งฉากกับท่อนำแสง (θ) ยิ่งมุมมีขนาดเล็กจะทำให้มีประสิทธิภาพในการนำพาแสงเข้าสู่ภายในอาคารมีค่ามากขึ้น, ขนาดหน้าตัดท่อนำแสง (d) ที่เพิ่มขึ้นในระยะความยาวท่อ (l) และการติดตั้งที่เท่ากัน ทำให้ได้ปริมาณแสงเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น, ส่วนความยาวท่อนำแสง (l) เกิดการชดเชยกันของปริมาณแสงที่ได้ 2 กรณีคือ ท่อนำแสงที่สั้นจะทำให้เกิดจำนวนครั้งในการสะท้อนแสงภายในท่อน้อยจึงลดการสูญเสียปริมาณแสงภายในท่อทำให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มากขึ้น ในขณะเดียวกันท่อนำแสงที่ยาวทำให้ลดระยะห่างระหว่างปลายท่อกับพื้นที่ทำงาน (Mounting Height) ลงส่งผลให้ความส่องสว่างเฉลี่ยมากขึ้น ผลการทดลองท่อนำแสงแนวดิ่งที่เหมาะสมคือ ขนาดหน้าตัดท่อนำแสง 0.35, 0.46, 0.53 เมตร ควรติดตั้งในความยาวท่อ 1.00 เมตร และขนาดหน้าตัดท่อนำแสง 1.00 เมตร ควรติดตั้งความยาวท่อที่ 6.00 เมตร การติดตั้งท่อนำแสงในขนาดหน้าตัดท่อที่แคบเป็นจำนวนมากจะมีประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากกว่าขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างแต่จำนวนที่น้อยกว่า ในด้านการประหยัดพลังงานเมื่อติดตั้งท่อนำแสงควบคู่กับแสงประดิษฐ์สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าส่องสว่างได้ 26.47% ต่อปี

ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา..... ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

57054204: MAJOR: ARCHITECTURE
KEY WORD: NATURAL LIGHT / LIGHT PIPE / RETAIL STORES
WATCHARIN WIMANJATURONG: DAYLIGHTING IN RETAIL STORES THROUGH VERTICAL LIGHT PIPES. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. THARINEE RAMASOOT, Ph.D. 202 pp.

This research studies the application of vertical light pipe system for retail stores in Thailand. The study aims to determine the effectiveness and energy efficiency of the system in the context of a retail store. The study investigates average illuminance in different times of the day, daylight factor and the reduction of CO_2 emission. The results of the experiments were calculated using mathematic formulas from previous research. It was found that an increase of external illuminance leads to increasing amount of internal illuminance. However the levels of internal illuminance depend largely on the angle of incidence (θ) at the time; the smaller angle, the more performance of the light pipe. The study also found that among the light pipes of the same length (l) and same installation distance, the light pipes with larger diameters (d) can bring more light into a building. However, In addition to this, the study found that the increasing length of light pipe (l) affects the internal illuminance.

The resulted illuminance was due to the balancing effects between two factors: the transmission factor and the mounting height. Shorter light pipe reduces the number of reflection within the light pipe, thereby minimizing loss light output and increasing transmission factor. Longer light pipe reduces the distance between the light diffuser into the work plane making them much more average illuminance. Therefore the suitable lengths for the vertical light pipes with diameters of 0.35, 0.46, 0.53 meters is 1.00 meter. The suitable length for light pipes with diameter 1.00 meters is 6.00 meters. In general, the study found that installing light pipes with smaller diameter in a large number works much better than installing light pipes with larger diameter in a small number. In terms of the energy efficiency, it was found that when integrated with artificial lighting system, the energy that can be saved from using light pipe system is 26.47% per year

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University
Student's signature..... Academic Year 2015
Thesis Advisor' s signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เริ่มต้น จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี และขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้มาโดยตลอดการศึกษานี้

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาสถาปัตยกรรม กลุ่มอนุรักษ์พลังงานในอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และขอขอบคุณบุคลากรสำนักงานของคณะสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วังท่าพระ ที่ช่วยให้คำแนะนำในเรื่องของเอกสารต่างๆ ขอขอบคุณบุคลากรผู้ดูแลและประสานงาน อาคารห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.), อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ, อาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร กรมอุตสาหกรรมทหาร เขตบางนา ที่ให้อนุญาตในการสำรวจเก็บข้อมูลจริงภายในอาคารและ เอื้อเฟื้อด้านข้อมูลในการนำมาประกอบศึกษางานวิจัยและขอขอบคุณผู้ที่ได้ทำการช่วยเหลือในขั้นตอนต่างๆ ระหว่างการดำเนินงานวิจัยทุกๆท่านทั้งที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาแด่พระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอน คอยให้กำลังใจและสนับสนุนมาโดยตลอดช่วงการศึกษาที่ผ่านมา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฒ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
ขั้นตอนของการศึกษา 3
ขอบเขตของการวิจัย 9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10
คำสำคัญ 10
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 12
ทฤษฎีแสงสว่าง 12
ทฤษฎีด้านพฤติกรรมของแสง 12
ทฤษฎีด้านหน่วยวัดทางแสงและการส่องสว่าง 16
แสงธรรมชาติและศักยภาพของประเทศไทยในการใช้แสงธรรมชาติ 21
ทฤษฎีด้านแสงธรรมชาติและสภาพท้องฟ้า 21
ศักยภาพของประเทศไทยในการใช้แสงธรรมชาติ 24
มาตรฐานแสงสว่างที่เกี่ยวข้อง 26
ทฤษฎีด้านการนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง 28
หลักการทำงานของท่อนำแสงธรรมชาติ (Light pipe) 29
3 วิธีการดำเนินการวิจัย 55
การสำรวจปริมาณแสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 55
ขั้นตอนในการสำรวจ 55
การสำรวจปริมาณแสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 55
สรุปผลการสำรวจค่าความส่องสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 57

บทที่ หน้า

การศึกษานำร่อง 58
การกำหนดอาคารต้นแบบและวัดค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริง 60
หาค่าความส่องสว่างโดยการนำอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติ 60
ศึกษาวิธีการหาค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสง 70
สรุปเปรียบเทียบถึงผลลัพธ์ที่ได้ 76
การทดลองงานวิจัย 77
ลักษณะของอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ใช้ในการวิจัย 77
รูปแบบการทดลอง 81
ข้อมูลแสงสว่างที่วัดได้จากภายนอกอาคาร 91
ข้อมูลของตำแหน่งดวงอาทิตย์ 92
สรุปตัวแปรที่เกี่ยวข้องและตัวอย่างการคำนวณที่ใช้ในการทดลอง 93
4 ผลการทดลอง 96
การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ในท่อนำแสงแนวดิ่งรูปแบบต่างๆ 96
การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ในท่อนำแสงแนวดิ่งกำหนดรูปแบบระยะห่างของท่อเป็นระยะ 4.00 x 4.00 เมตร 131
5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและ อภิปรายผล 167
ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงแนวดิ่งในระยะที่ต่างกันตามขนาดหน้าตัดท่อที่ต่างกัน 167
ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ โดยใช้ระยะห่างที่เท่ากัน 173
รูปแบบการใช้งานระบบท่อนำแสงที่เหมาะสมสำหรับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 175
การลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม 177
6 สรุปและ ข้อเสนอแนะ 179
บทสรุป 179
ข้อเสนอแนะ 180
รายการอ้างอิง 182
ภาคผนวก 187
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าแสงสว่างในการทดลอง 188

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองท่อนำแสงที่ไม่ได้ใส่ในบทที่ 4 190
ประวัติผู้วิจัย 202

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางสรุปขั้นตอนการศึกษา	4
2	สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะติดตั้งที่ต่างกันในการทดลอง	6
2	สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะติดตั้งที่ต่างกันในการทดลอง (ต่อ)	7
3	สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงในระยะการติดตั้งที่เท่ากัน	8
4	แสดงสัญลักษณ์ทางแสง	16
5	ค่าการบำรุงรักษา (Maintenance Factor)	21
6	แสดงสภาพท้องฟ้าในประเทศไทย พ.ศ. 2542	25
7	แสดงตารางค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกในแนวตั้งทุกทิศและค่าเฉลี่ยมุมเงยของดวงอาทิตย์ตลอดปี รายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น.	25
8	แสดงตารางเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างมาตรฐาน CIE, IES, BS และ TIEA	26
8	แสดงตารางเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างมาตรฐาน CIE, IES, BS และ TIEA (ต่อ)	27
9	แสดงตารางมาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบแสงสว่าง	27
9	แสดงตารางมาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบแสงสว่าง (ต่อ)	28
10	แสดงระยะการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติ	33
11	แสดงการสรุปท่อนำแสงธรรมชาติกับอาคารแต่ละประเภท	40
11	แสดงการสรุปท่อนำแสงธรรมชาติกับอาคารแต่ละประเภท (ต่อ)	41
12	แสดงสรุปตารางงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
12	แสดงสรุปตารางงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)	53
12	แสดงสรุปตารางงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)	54
13	สรุปผลสำรวจค่าความส่องสว่างในแนวระนาบของแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่	56
14	แสดงการสำรวจค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์	62
15	แสดงค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ	64
16	แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ	66
17	แสดงการสำรวจค่าความสว่างท่อนำแสงภายในสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร	68
18	แสดงตารางการวิเคราะห์เพื่อสรุปหาอาคารต้นแบบ	69
19	แสดงวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux evo 5.1	71

ตารางที่ หน้า

20 แสดงวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ใช้ในการคำนวณสูตรทางคณิตศาสตร์ 73
21 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ 74
22 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ 75
23 แสดงตารางการเปรียบเทียบในวิธีการหาข้อมูล 77
24 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ 80
25 ตารางค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor) 80
26 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor) ที่ใช้ในการทดลอง .. 81
27 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่กำหนด (ตารางที่ 2) 85
28 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่กำหนด (ตารางที่ 3) 86
29 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงในระยะการติดตั้งที่เท่ากัน (ตารางที่4) 90
30 แสดงค่าความส่องสว่างภายในเดือนต่างๆที่นำมาใช้ในงานวิจัย 91
31 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ 92
32 แสดงมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นโลก 93
33 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ 94
34 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน 97
35 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 98
36 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน 99
37 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 100
38 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร . 102
39 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน 103
40 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 103
41 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน 104
42 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 104
43 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน 105
44 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 106

ตารางที่ หน้า

45 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน 107
46 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 108
47 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร . 110
48 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน 111
49 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 111
50 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน 112
51 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 112
52 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน 113
53 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 114
54 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน 115
55 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 116
56 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร . 118
57 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน 119
58 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 119
59 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน 120
60 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 120
61 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน 121
62 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 122
63 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน 123
64 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 124
65 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร . 126

ตารางที่ หน้า

66 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน 127
67 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 127
68 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน 128
69 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 128
70 แสดงราคาต่อท่อนำแสงประเภทต่างๆ 129
71 สรุปประสิทธิภาพของท่อนำแสงในการนำมาใช้กับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 130
71 สรุปประสิทธิภาพของท่อนำแสงในการนำมาใช้กับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ (ต่อ) 131
72 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน 132
73 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 133
74 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน 134
75 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 135
76 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน 137
77 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 138
78 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน 139
79 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 140
80 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน 142
81 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 143
82 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน 144
83 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 145
84 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนเมษายน 147
85 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 148
86 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนกันยายน 149
87 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 150
88 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนเมษายน 152
89 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 153

ตารางที่ หน้า

90 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนกันยายน 154
91 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 155
92 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน 157
93 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 158
94 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน 159
95 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 160
96 สรุปรูปแบบท่อนำแสงที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารประเภท ห้างค้าปลีก ขนาดใหญ่ในประเทศไทย 177
97 แสดงราคาท่อนำแสงของผู้รับเหมาภายในประเทศไทยเทียบกับบริษัทผู้ผลิตโดยตรง 178

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สรุปขั้นตอนการศึกษา	5
2	สรุปรูปแบบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 1	9
3	สรุปรูปแบบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 2	9
4	แสดงภาพสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	13
5	แสดงพฤติกรรมการดูดกลืนแสง	13
6	แสดงพฤติกรรมการสะท้อนแบบกระจายในแบบ การสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์, การสะท้อนแบบกระจายกึ่งสมบูรณ์, และการสะท้อนแบบกระจกเงา ตามลำดับ	14
7	แสดงพฤติกรรมการส่องผ่านของแสง	14
8	แสดงการหักเหแสง (Refraction) ลักษณะต่างๆ	15
9	แสดงกราฟยอดขายที่เพิ่มขึ้นของ Retail Shop เมื่อติดตั้ง Skylight	22
10	แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast sky, Clear sky, Partly cloudy sky	24
11	แสดงลักษณะตัวอย่างของท่อนำแสงแนวดิ่งและแนวนอน	29
12	เปรียบเทียบความร้อนของท่อนำแสงกับดวงโคม	30
13	แสดงอุปกรณ์ของระบบท่อนำแสงธรรมชาติ	31
14	แสดงโดมหลังคาแบบธรรมดาและแบบติดตามดวงอาทิตย์	31
15	แสดงท่อนำแสงแบบ Rigid Tube และ Flexi Tube	32
16	แสดง Diffuser ในรูปแบบต่างๆ	32
17	แสดงอุปกรณ์เสริมสำหรับท่อนำแสง	33
18	แสดงการติดตั้งขั้นตอนที่ 1 และ 2	34
19	แสดงการติดตั้งขั้นตอนที่ 3 และ 4	34
20	แสดงการติดตั้งขั้นตอนที่ 5 และ 6	35
21	แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทสำนักงาน	35
22	แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทอาคารเรียน	36
23	แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทห้องปฏิบัติการงานช่าง	36
24	แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทคลังสินค้า	37
25	แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทโรงจอดรถใต้ดิน	37
26	แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในโถงอาคารห้องสมุด	38
27	แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทโรงยิม	38

ภาพที่ หน้า

28 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทสนามบิน 39
29 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทโรงพยาบาล 39
30 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทห้างค้าปลีก 40
31 การเปรียบเทียบข้อมูลจาก สภาพแสงจริงและสภาพแสงจำลอง 46
32 แสดงผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลอง และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Protopia 47
33 การเปรียบเทียบข้อมูลผลที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus และ โปรแกรม Holigilm 48
34 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลผลที่ได้จากโปรแกรม Radiance 49
35 แสงลักษณะท่อนำแสงแนวนอนและ ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 50
36 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าความส่องสว่าง 0.85 เมตร จากระดับพื้น 55
37 แสดงการสำรวจความส่องสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 57
38 กราฟค่าความส่องสว่างที่วัดค่าได้ภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ ในกรุงเทพฯ 58
39 แผนภาพแสดงสรุปขั้นตอนการทดลองกลุ่มยอยก่อนการวิจัย 59
40 แสดงอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความส่องสว่าง (Lux meter TESTO 545) 60
41 แสดงรูปตัดและแปลนระยะในการวัดค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงในอาคารต้นแบบ. 60
42 แสดงลักษณะของอาคารและภายในโถงต้อนรับห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์ 61
43 แสดงการให้ผ่านแสงท่อนำแสงและหน้าต่างภายในห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์ 61
44 แสดงระดับค่าความสว่างท่อนำแสงภายในห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์ 62
45 แสดงภาพลักษณะของอาคารและ ภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการ
สร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) 63
46 แสดงแปลนห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) 63
47 แสดงการให้ผ่านแสงท่อนำแสงและหน้าต่างภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุน
การสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) 63
48 แสดงระดับค่าความสว่างท่อนำแสงภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้าง
เสริมสุขภาพ 64
49 แสดงอาคารและ ท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ 65
50 แสดงแปลนห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ 65
51 แสดงการให้ผ่านแสงท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ 65
52 แสดงระดับความสว่างท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ.. 66
53 แสดงภาพถ่ายลักษณะอาคารและ ท่อนำแสงภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงาน
แบตเตอรี่ทหาร 67

ภาพที่ หน้า

54 แสดงแปลนภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร 67
55 แสดงการให้แสงผ่านท่อนำแสงและหน้าต่างภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงาน แบตเตอรี่ทหาร 67
56 แสดงระดับค่าความสว่างท่อนำแสงภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร . 68
57 แสดงจุดในการวัดค่าความส่องสว่างระดับสูงจากพื้น 0.85 เมตร 70
58 แสดงห้องจำลองตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในโปรแกรม DiaLUX evo 5.1 71
59 แสดงความส่องสว่างที่ได้จากห้องจำลองตัวอย่างในโปรแกรม DiaLUX evo 5.1 72
60 แสดงขั้นตอนการใช้สูตรกรณีที่ 1 เพื่อคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในอาคาร... 73
61 แสดงขั้นตอนการใช้สูตรกรณีที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในอาคาร... 75
62 แสดงผังของอาคารและ แปลนของอาคารที่ใช้ในการวิจัย 78
63 รูปตัดแสดงระดับความสูงของอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัย..... 78
64 ภาพลักษณะการติดตั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่างและท่อนำแสงในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่..... 79
65 แสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องห้องภายในอาคารและ ระยะในการวัดค่าความส่องสว่างที่ 0.85 เมตร 79
66 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการคิดค่า Room Index..... 80
67 แสดงแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor)... 81
68 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร 82
69 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร 82
70 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร 83
71 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะการติดตั้งท่อนำแสง 1.00 เมตร..... 83
72 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร 84
73 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร..... 87
74 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร..... 87
75 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร..... 88
76 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร..... 88
77 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร..... 88
78 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร..... 89
79 ตำแหน่งมุมของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อท่อนำแสงธรรมชาติ 92
80 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน 97
81 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 98

ภาพที่ หน้า

82 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน 99
83 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม..... 100
84 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก..... 101
85 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร 102
86 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน 105
87 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 106
88 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน 107
89 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม..... 108
90 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร วัดจากค่าเฉลี่ย (Mean) ของความส่องสว่างภายนอก..... 109
91 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร 110
92 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน 113
93 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน 114
94 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน 115
95 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม..... 116
96 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก..... 117
97 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร 118
98 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน 121
99 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน..... 122
100 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน..... 123
101 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 124
102 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร วัดจากค่าเฉลี่ย (Mean) ของความส่องสว่างภายนอก..... 125
103 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร..... 126
104 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน..... 133
105 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน..... 134
106 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน..... 135
107 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 136

ภาพที่ หน้า

108 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ติดตั้งระยะห่าง
ระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก 136
109 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน..... 138
110 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน..... 139
111 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน..... 140
112 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 141
113 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ติดตั้งระยะห่าง
ระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก 141
114 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน..... 143
115 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน..... 144
116 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน..... 145
117 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 146
118 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ติดตั้งระยะห่าง
ระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก 146
119 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนเมษายน..... 148
120 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน..... 149
121 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนกันยายน..... 150
122 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 151
123 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ติดตั้งระยะห่าง
ระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก 151
124 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนเมษายน..... 153
125 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน..... 154
126 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนกันยายน..... 155
127 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 156
128 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ติดตั้งระยะห่าง
ระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก 156
129 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน..... 158
130 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน..... 159
131 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน..... 160
132 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม 161

ภาพที่ หน้า

133 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ติดตั้งระยะห่าง ระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก 161
134 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน).. 163
135 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน).. 163
136 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน).. 164
137 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน).. 164
138 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน).. 165
139 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน).. 165
140 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ในแต่ละเดือนของท่อนำแสงขนาดต่างๆ .. 168
141 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทุกชั่วโมงในแต่ละเดือนของท่อนำแสง ขนาดต่างๆที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ระยะติดตั้งที่ไม่เท่ากันตามที่กำหนด)..... 168
142 แสดงมุมองศาของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อท่อปริมาณแสงในท่อนำแสง 169
143 แสดงมุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ต่อค่าการส่องผ่าน ของแสงรวม (Transmission factor) ในหน้าตัดท่อขนาดต่างๆ..... 170
144 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสง หน้าตัดขนาดต่างๆติดตั้งตามรูปแบบที่กำหนด กับความยาวท่อนำแสง 1.00 – 6.00 เมตร เฉลี่ยต่อปี..... 171
145 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของหน้าตัดท่อ ต่อความยาวท่อนำแสงที่ติดตั้งระยะห่าง 4.00 x 4.00 เมตร 173
146 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของ หน้าตัดท่อต่อความยาวท่อนำแสงที่ติดตั้งระยะห่าง 4.00 x 4.00 เมตร..... 174
147 แสดงปริมาณพลังงานที่ประหยัดในท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆ (ความยาวท่อที่เหมาะสม) ต่อพื้นที่..... 176

ภาพที่ หน้า

148 แสดงอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความส่องสว่าง (Lux meter) 189
149 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) .. 191
150 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) .. 192
151 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) .. 192
152 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน กันยายน). 193
153 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) .. 193
154 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) .. 194
155 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) .. 195
156 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) .. 195
157 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) .. 196
158 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) .. 196
159 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) .. 197
160 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) .. 197
161 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)... 198
162 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ
4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)... 199

ภาพที่ หน้า

163 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)... 199
164 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)... 200
165 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)... 200
166 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)... 201

มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิทยานิพนธ์นี้

ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์จากเงินงบประมาณแผ่นดิน
(หมวดเงินอุดหนุนทั่วไป) ของบัณฑิตวิทยาลัย
ประจำปีงบประมาณ 2559 (ครั้งที่ 1)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันแนวโน้มด้านการใช้พลังงานภายในประเทศไทยมีแต่จะเพิ่มขึ้นทุกขณะ ความต้องการไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 2 ใน 3 ระหว่างปี ค.ศ. 2011 -2035 ซึ่งมีความจำเป็นของทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือนในการดำรงชีวิต ซึ่งปัจจุบันแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ายังคงพึ่งพาพลังงานฟอสซิลเป็นหลัก และยังก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม และการเกิดคาร์บอนจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทำให้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน จึงทำให้เกิดโครงการประหยัดพลังงานต่างๆขึ้นมามากมาย ซึ่งการประหยัดพลังงาน หมายถึง การลดการใช้พลังงานลงโดยจัดการควบคุมการใช้พลังงานให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด พลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศด้วย ซึ่งปัจจุบันเรายังต้องพึ่งเชื้อเพลิงนำเข้าจากต่างประเทศ และมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นสวนทางกับการรณรงค์เพื่อการประหยัดพลังงานของภาครัฐ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสาขาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด การประหยัดพลังงาน ควรมีการดำเนินงานเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากเทคโนโลยีที่ง่ายที่สุดคือการนำแสงธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ (กระทรวงพลังงาน, 2558)

แสงธรรมชาติเป็นพลังงานทดแทนซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประหยัดพลังงาน ซึ่งจากสภาพภูมิอากาศสภาพท้องฟ้าประเทศไทยมีปริมาณแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการทำกิจกรรมต่างๆได้ โดยมีปริมาณแสงสว่างที่ได้จากท้องฟ้าที่มีค่ามากกว่า 10,000 lx (ศิวดล อุปพงษ์, 2556) ซึ่งหากสามารถนำเอาแสงธรรมชาติมาใช้ใน อาคารให้เกิดประโยชน์ จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานด้านแสงสว่างภายในอาคาร คิดเป็นพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 148,709 ล้านกิกะวัตต์ชั่วโมง และพบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบแสงสว่างมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 25 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคารประเภทห้างสรรพสินค้า (กระทรวงพลังงาน, 2553) ดังนั้นการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมจะช่วยลดภาระของค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานไฟฟ้าโดยรวมลงได้ในระยะยาว

ท่อนำแสงธรรมชาติ (Light pipe) เป็นอีกทางเลือกในการให้แสงสว่าง โดยส่วนรับแสงจะทำหน้าที่รวมแสงสว่างจากภายนอกสู่ภายในอาคารเพื่อมาทดแทนการให้แสงสว่างด้วยแสงประดิษฐ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและ สนับสนุนการให้แสงสว่างภายในอาคารในช่วงเวลาที่มีแสงของดวง

อาทิตย์ ซึ่งพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานบริสุทธิ์ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และคาร์บอนจากการสร้างพลังงานไฟฟ้า อีกทั้งแสงอาทิตย์ยังเป็นพลังงานที่ไม่มีค่าใช้จ่ายอีกด้วย ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ได้แสดงถึงการพัฒนาระบบท่อนำแสงเพื่อนำแสงเข้ามาใช้งานในอาคารทั่วไปได้จริง โดยพบว่าสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากหลอดไฟภายในอาคารได้เท่ากับ 99.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานในบริเวณนั้นๆ (ภิญโญ ชุมมณี, 2549)

นอกจากประโยชน์ในด้านประหยัดพลังงานเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมแล้ว แสงธรรมชาติจากท่อนำแสงยังมีผลต่อพฤติกรรมความรู้สึกในเชิงบวกของมนุษย์ ทั้งในด้านของประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น 2% การมองเห็น การสัมผัสรับรู้ที่เร็วขึ้น 20% (Warren, 1992) และจากงานวิจัยสรุปได้ว่าแสงธรรมชาติมีผลต่อสภาวะการตัดสินใจในการซื้อสินค้าในร้านค้าและ มีผลต่อยอดขายที่เพิ่มขึ้นของห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ถึง 40% (Heschong Mahone Group HMG, 1999) สำหรับอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่มีพฤติกรรมการใช้งานที่ไม่ต้องใช้สายตามาก ประกอบกับรูปแบบอาคารที่มีช่วงกว้างมีผนังส่วนที่ติดกับภายนอกน้อยทำให้ไม่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารได้เพียงพอ และด้วยความสูงจากพื้นถึงฝ้าภายในค่อนข้างสูง จึงต้องมีการเปิดไฟฟ้าส่องสว่างตลอดทั้งวัน ท่อนำแสงจึงเป็นทางเลือกเพื่อตอบสนองต่อปัญหาการบริโภคพลังงานที่สูงและสิ้นเปลืองของการส่องสว่างในช่วงเวลากลางวัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อระบบท่อนำแสงดังนี้
   - 1.1 ตัวแปรควบคุม
     - 1.1.1 ที่ตั้งโครงการ
     - 1.1.2 ลักษณะการติดตั้งท่อนำแสง
     - 1.1.3 ระยะการติดตั้งระหว่างท่อนำแสง
     - 1.1.4 ค่าการสะท้อนแสง (Reflection) ภายในท่อนำแสง
     - 1.1.5 ขนาดของอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง
     - 1.1.6 ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลอง
     - 1.1.7 ค่าเฉลี่ยความสว่างของดวงอาทิตย์ตลอดปี
   - 1.2 ตัวแปรต้น
     - 1.2.1 ทิศทางของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ท่อนำแสง
     - 1.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง
     - 1.2.3 ความยาวของท่อนำแสง

1.3 ตัวแปรตาม

1.3.1 ปริมาณของแสงเฉลี่ยมากที่สุด-น้อยที่สุด (Illuminance)

1.3.2 ปริมาณของแสงมากที่สุด-น้อยที่สุดในช่วงวัน (Illuminance)

1.3.3 อัตราส่วนแสงภายในจุดจุดหนึ่งในแต่ละช่วงเวลา (Daylight Factor)

1.3.4 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Co_2) ที่ประหยัดได้จากการลดการใช้ไฟฟ้า

1.3.5 ความต้องการแสงประดิษฐ์เพิ่มเติมจากการใช้ท่อนำแสงในช่วงเวลาใดบ้าง

1.3.6 พลังงานที่สามารถประหยัดได้

2. เพื่อศึกษารูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่งและแนวทางการนำมาใช้ให้เหมาะสมกับอาคารประเภท ห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย

3. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงจากท่อนำแสงและแสงจากหลอดไฟฟ้าถึงความเหมาะสมของการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุน

ขั้นตอนของการศึกษา

วิจัยนี้ เป็นวิจัยเชิงทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่งกับอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่มีช่วงกว้างและ ความสูงของอาคารที่มากกว่าอาคารปกติ เพื่อเปรียบเทียบถึงพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงและ ปริมาณไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อพื้นที่ใช้งานภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลขั้นต้น

1.1 ศึกษาทฤษฎี ทบทวนวรรณกรรมและวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2 รวบรวมข้อมูลอาคารกรณีศึกษาที่ติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติ

2. การศึกษานำร่อง

2.1 สำรวจภายในอาคารกรณีศึกษาเพื่อวัดปริมาณแสงที่ได้จากการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติ

2.2 วิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาเพื่อหาอาคารต้นแบบในการทดลอง

2.3 ตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยด้วย โปรแกรม Dialux Evo 5.1 และการคำนวณจากสูตรทางคณิตศาสตร์ เมื่อเทียบกับการวัดค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงภายในอาคารต้นแบบ

2.4 สรุปวิธีการที่จะนำมาใช้ในการวิจัยต่อไป

3. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาทดลองท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบท่อนำแสงต่อความส่องสว่าง โดยติดตั้งตามระยะมาตรฐานที่ทางบริษัทผู้ผลิตกำหนดและติดตั้งในระยะการติดตั้งที่เท่ากัน

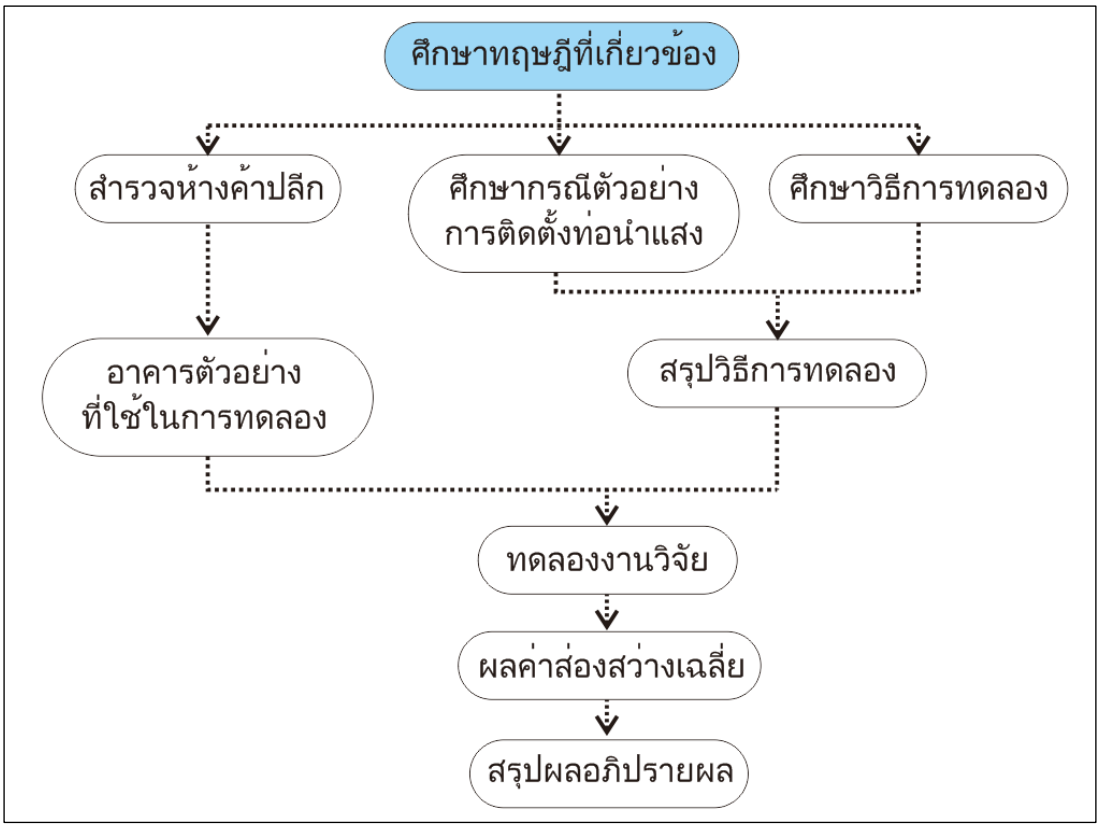
4. สรุปรูปแบบการทดลอง และพฤติกรรมของแสงที่เปลี่ยนไปต่อตัวแปรต่างๆ

5. นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบการลดปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการลดการใช้พลังงานคาร์บอนไดออกไซ ของท่อนำแสงแนวดิ่งกับการใช้หลอดไฟภายในอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

6. วิเคราะห์หาการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุนว่าการติดตั้งท่อนำแสงเหมาะสมกับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่หรือไม่

ตารางที่ 1 ตารางสรุปขั้นตอนการศึกษา

NO.	ขั้นตอนการศึกษา	หัวข้อที่ศึกษา
1.	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	- ทฤษฎีแสงสว่าง - แสงธรรมชาติและศักยภาพของประเทศไทยในการใช้แสงธรรมชาติ - มาตรฐานแสงสว่างที่เกี่ยวข้อง - ทฤษฎีด้านการนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง
2.	วิธีการดำเนินการวิจัย	- สำรวจปริมาณแสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ - ศึกษานำร่อง - ทดลองงานวิจัย
3.	ผลการทดลอง	- หาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ในท่อนำแสงที่ติดตั้งในระยะที่ต่างกัน - หาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ในท่อนำแสงในระยะห่างของท่อเป็นระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่เท่ากัน
4.	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	- ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงที่ติดตั้งในระยะที่ต่างกัน - ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ โดยใช้ระยะห่างที่เท่ากัน - รูปแบบการใช้งานระบบท่อนำแสงที่เหมาะสมสำหรับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ - การลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม



ภาพที่ 1 สรุปขั้นตอนการศึกษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 2 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะติดตั้งที่ต่างกันในการทดลอง

ติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกัน									
ช่วงเวลาในทดลอง		เมษายน (7.00 – 18.00 น.)				มิถุนายน (7.00 – 18.00 น.)			
ขนาดหน้าตัดท่อ (เมตร)		0.35	0.46	0.54	1.00	0.35	0.46	0.54	1.00
ความยาวท่อนำแสง (เมตร)	1.00	การทดลอง 1	การทดลอง 12	การทดลอง 23	การทดลอง 34	การทดลอง 45	การทดลอง 56	การทดลอง 67	การทดลอง 78
	1.50	การทดลอง 2	การทดลอง 13	การทดลอง 24	การทดลอง 35	การทดลอง 46	การทดลอง 57	การทดลอง 68	การทดลอง 79
	2.00	การทดลอง 3	การทดลอง 14	การทดลอง 25	การทดลอง 36	การทดลอง 47	การทดลอง 58	การทดลอง 69	การทดลอง 80
	2.50	การทดลอง 4	การทดลอง 15	การทดลอง 26	การทดลอง 37	การทดลอง 48	การทดลอง 59	การทดลอง 70	การทดลอง 81
	3.00	การทดลอง 5	การทดลอง 16	การทดลอง 27	การทดลอง 38	การทดลอง 49	การทดลอง 60	การทดลอง 71	การทดลอง 82
	3.50	การทดลอง 6	การทดลอง 17	การทดลอง 28	การทดลอง 39	การทดลอง 50	การทดลอง 61	การทดลอง 72	การทดลอง 83
	4.00	การทดลอง 7	การทดลอง 18	การทดลอง 29	การทดลอง 40	การทดลอง 51	การทดลอง 62	การทดลอง 73	การทดลอง 84
	4.50	การทดลอง 8	การทดลอง 19	การทดลอง 30	การทดลอง 41	การทดลอง 52	การทดลอง 63	การทดลอง 74	การทดลอง 85
	5.00	การทดลอง 9	การทดลอง 20	การทดลอง 31	การทดลอง 42	การทดลอง 53	การทดลอง 64	การทดลอง 75	การทดลอง 86
	5.50	การทดลอง 10	การทดลอง 21	การทดลอง 32	การทดลอง 43	การทดลอง 54	การทดลอง 65	การทดลอง 76	การทดลอง 87
	6.00	การทดลอง 11	การทดลอง 22	การทดลอง 33	การทดลอง 44	การทดลอง 55	การทดลอง 66	การทดลอง 77	การทดลอง 88

หมายเหตุ การติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกันมีดังนี้คือ หน้าตัดท่อขนาด 0.35 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 4.00 x 4.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 1.00 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 10.80 x 10.80 เมตร

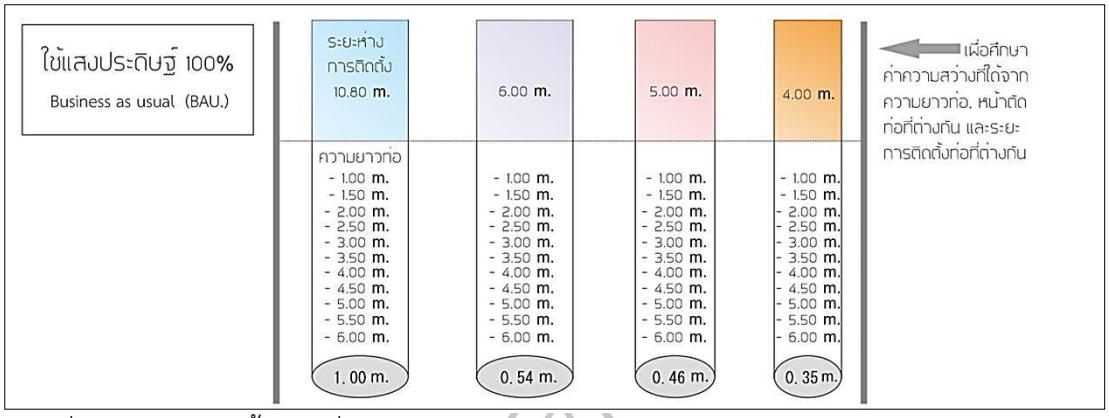
ตารางที่ 2 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะติดตั้งที่ต่างกันในการทดลอง (ต่อ)

ติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกัน									
ช่วงเวลาในทดลอง		เมษายน (7.00 – 18.00 น.)				มิถุนายน (7.00 – 18.00 น.)			
ขนาดหน้าตัดท่อ (เมตร)		0.35	0.46	0.54	1.00	0.35	0.46	0.54	1.00
ความยาวท่อนำแสง (เมตร)	1.00	การทดลอง 89	การทดลอง 100	การทดลอง 111	การทดลอง 122	การทดลอง 133	การทดลอง 144	การทดลอง 155	การทดลอง 166
	1.50	การทดลอง 90	การทดลอง 101	การทดลอง 112	การทดลอง 123	การทดลอง 134	การทดลอง 145	การทดลอง 156	การทดลอง 167
	2.00	การทดลอง 91	การทดลอง 102	การทดลอง 113	การทดลอง 124	การทดลอง 135	การทดลอง 146	การทดลอง 157	การทดลอง 168
	2.50	การทดลอง 92	การทดลอง 103	การทดลอง 114	การทดลอง 125	การทดลอง 136	การทดลอง 147	การทดลอง 158	การทดลอง 169
	3.00	การทดลอง 93	การทดลอง 104	การทดลอง 115	การทดลอง 126	การทดลอง 137	การทดลอง 148	การทดลอง 159	การทดลอง 170
	3.50	การทดลอง 94	การทดลอง 105	การทดลอง 116	การทดลอง 127	การทดลอง 138	การทดลอง 149	การทดลอง 160	การทดลอง 171
	4.00	การทดลอง 95	การทดลอง 106	การทดลอง 117	การทดลอง 128	การทดลอง 139	การทดลอง 150	การทดลอง 161	การทดลอง 172
	4.50	การทดลอง 96	การทดลอง 107	การทดลอง 118	การทดลอง 129	การทดลอง 140	การทดลอง 151	การทดลอง 162	การทดลอง 173
	5.00	การทดลอง 97	การทดลอง 108	การทดลอง 119	การทดลอง 130	การทดลอง 141	การทดลอง 152	การทดลอง 163	การทดลอง 174
	5.50	การทดลอง 98	การทดลอง 109	การทดลอง 120	การทดลอง 131	การทดลอง 142	การทดลอง 153	การทดลอง 164	การทดลอง 175
	6.00	การทดลอง 99	การทดลอง 110	การทดลอง 121	การทดลอง 132	การทดลอง 143	การทดลอง 154	การทดลอง 165	การทดลอง 176

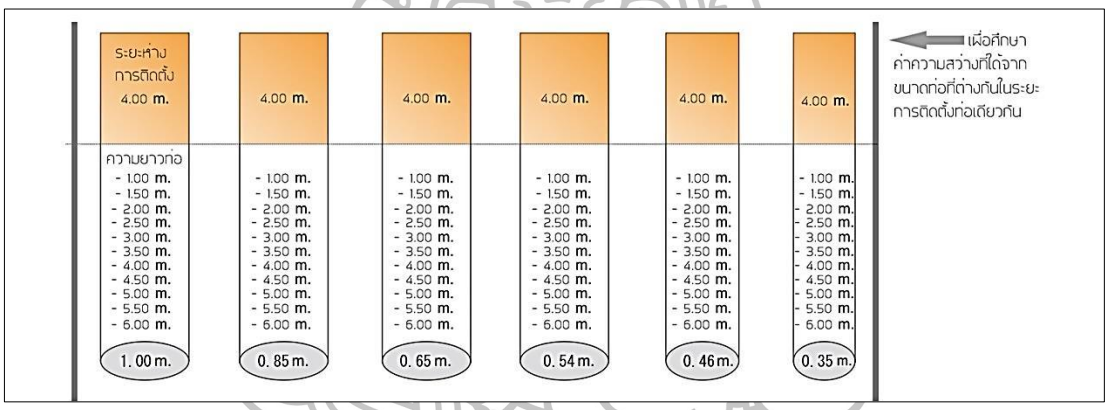
หมายเหตุ การติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกันมีดังนี้คือ หน้าตัดท่อขนาด 0.35 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 4.00 x 4.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 1.00 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 10.80 x 10.80 เมตร

ตารางที่ 3 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงในระยะการติดตั้งที่เท่ากัน

ติดตั้งระยะท่อที่เท่ากันที่ 4 x 4 เมตร							
ช่วงเวลาในทดลอง		เมษายน (12.00 น.)					
ขนาดหน้าตัดท่อ (เมตร)		0.35	0.46	0.54	0.65	0.85	1.00
ความยาวท่อนำแสง (เมตร)	1.00	การทดลอง 1	การทดลอง 12	การทดลอง 23	การทดลอง 34	การทดลอง 45	การทดลอง 56
	1.50	การทดลอง 2	การทดลอง 13	การทดลอง 24	การทดลอง 35	การทดลอง 46	การทดลอง 57
	2.00	การทดลอง 3	การทดลอง 14	การทดลอง 25	การทดลอง 36	การทดลอง 47	การทดลอง 58
	2.50	การทดลอง 4	การทดลอง 15	การทดลอง 26	การทดลอง 37	การทดลอง 48	การทดลอง 59
	3.00	การทดลอง 5	การทดลอง 16	การทดลอง 27	การทดลอง 38	การทดลอง 49	การทดลอง 60
	3.50	การทดลอง 6	การทดลอง 17	การทดลอง 28	การทดลอง 39	การทดลอง 50	การทดลอง 61
	4.00	การทดลอง 7	การทดลอง 18	การทดลอง 29	การทดลอง 40	การทดลอง 51	การทดลอง 62
	4.50	การทดลอง 8	การทดลอง 19	การทดลอง 30	การทดลอง 41	การทดลอง 52	การทดลอง 63
	5.00	การทดลอง 9	การทดลอง 20	การทดลอง 31	การทดลอง 42	การทดลอง 53	การทดลอง 64
	5.50	การทดลอง 10	การทดลอง 21	การทดลอง 32	การทดลอง 43	การทดลอง 54	การทดลอง 65
	6.00	การทดลอง 11	การทดลอง 22	การทดลอง 33	การทดลอง 44	การทดลอง 55	การทดลอง 66



ภาพที่ 2 สรุปรูปแบบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 1



ภาพที่ 3 สรุปรูปแบบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 2

ขอบเขตของการวิจัย

1. กำหนดตำแหน่งที่ตั้งในการทดลองคือ กรุงเทพมหานครฯ

2. ศึกษาการใช้ท่อนำแสงแนวดิ่งกับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดแบบจำลองขนาดห้องกว้าง 78.00 เมตร ยาว 104.00 เมตร และความสูงจากระดับพื้นถึงฝ้าเพดาน 9.30 เมตร (จากขนาดจริงของห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ภายในกรุงเทพฯ) เนื่องจากการสำรวจเป็นอาคารที่มีความเหมาะสมในการทดลองเนื่องด้วยลักษณะของอาคารเป็นอาคารเดี่ยว ชั้นเดียวที่มีช่วงเสาที่กว้างและ ระยะจากพื้นถึงหลังคาที่สูง 9.30 เมตร

3. ระยะการติดตั้งระหว่างท่อนำแสง โดยกำหนดระยะที่ต่างกันตามขนาดหน้าตัดท่อดังนี้คือ หน้าตัดท่อขนาด 0.35 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 4.00 x 4.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 1.00 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 10.80 x 10.80 เมตร ตามคำแนะนำของทางบริษัทผู้ผลิตกำหนด โดยเกณฑ์ระยะการติดตั้งมาจากต่างประเทศที่มีการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่

ใกล้เคียงกันของทุกขนาดหน้าตัดการติดตั้งต่อระยะการติดตั้งต่อการใช้งานจริง โดยในการทดลองนี้จึงได้นำระยะการติดตั้งดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมในการใช้งานในบริบทของสภาพท้องฟ้า และอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทยว่าแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

4. เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Illuminance) โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ

5. วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างท่อนำแสงและพื้นที่สะท้อนแสงในระบบต่างๆ ใช้แผ่นอลูมิเนียมเคลือบ Silver-Plus มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูง 98% (ซึ่งเป็นค่าการสะท้อนแสงตามมาตรฐานวัสดุท่อนำแสงในท้องตลาดปัจจุบัน)

6. ค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกในแนวตั้งทุกทิศและค่าเฉลี่ยมุมเงยของดวงอาทิตย์ตลอดปี รายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. มาใช้ในการทดลองโดยนำข้อมูลมาจากงานวิจัยของ Surapong Chirarattananon (2002)

7. เปรียบเทียบพลังงานที่ประหยัดได้และความคุ้มทุนของการใช้ท่อนำแสงกับหลอดไฟส่องสว่าง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนา ท่อนำแสงแนวดิ่งกับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

2. มีความเข้าใจในการศึกษาและเปรียบเทียบการเก็บข้อมูลจริงกับการวิเคราะห์ด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์และ การจำลองสภาพแสงสว่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น Dialux เป็นต้น

3. เป็นแนวทางในการศึกษาถึงความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ท่อนำแสงแนวดิ่งกับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย

คำสำคัญ

1. แสงธรรมชาติ (Daylight) คือ แสงที่ได้รับการผสมผสานระหว่าง Sunlight กับ Skylight และได้รับการผสมผสานกับแสงและ รังสีอื่นๆที่แผ่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศทั่วไป เป็นแสงที่เราได้รับและใช้อยู่เป็นประจำทุกวัน แสงธรรมชาติช่วยให้คนและสัตว์สามารถมองเห็นสิ่งต่างๆรอบๆตัวในการดำรงชีวิตได้และเป็นแสงที่ให้สีถูกต้องสวยงามตามธรรมชาติมากที่สุด

2. ท่อนำแสง (Light pipe) คือ อุปกรณ์การนำแสงจากดวงอาทิตย์เข้ามาทดแทนแสงสว่างภายในอาคารในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งอุปกรณ์ท่อนำแสงจะประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ

ส่วนรวมแสง ส่วนนำพาแสง และส่วนกระจายแสง ซึ่งรูปแบบตัวอย่างของท่อนำแสงที่มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย

3. ห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ (Retail Store) หมายถึง สถานที่ที่เกี่ยวข้องกับการขายสินค้าหรือการให้บริการโดยตรงแก่ผู้บริโภค (End User) ซึ่งผู้บริโภคนี้ จะซื้อสินค้าหรือรับบริการเพื่อสนองความต้องการของตนเอง, ของบุคคลภายในครอบครัว หรือของบุคคลในสังคมหรือผู้บริโภคเอง และส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นการซื้อเพื่อจำหน่ายต่อ ร้านค้าปลีกขนาดใหญ่มีพื้นที่ขายประมาณ 10,000-15,000 ตารางเมตร (ดร.ฉัตรชัย ตวงรัตนพันธ์) อาคารเป็นลักษณะระยะเสาคานเป็นช่วงกว้างและระดับพื้นถึงฝ้าค่อนข้างสูง

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

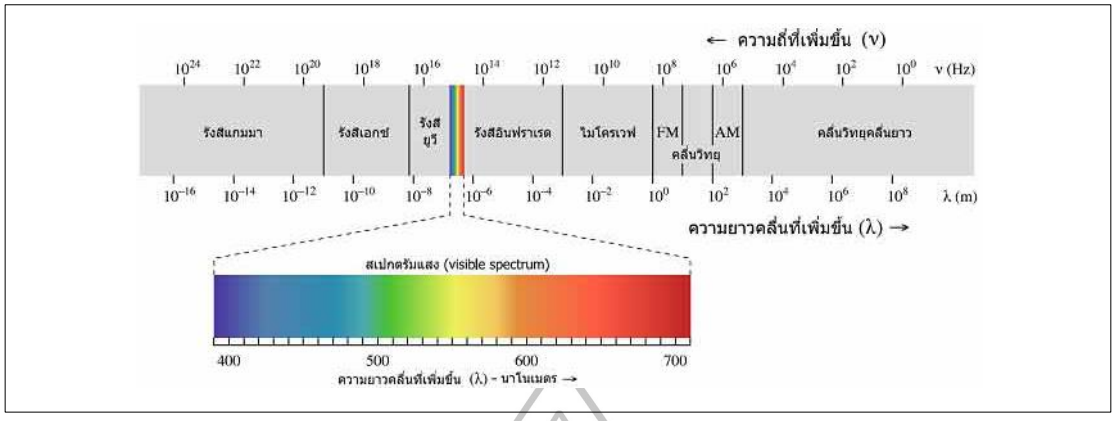
ในการศึกษาเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้เพื่อให้ความส่องสว่างภายในอาคารด้วยวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดจะต้องลดความร้อนจากแสงธรรมชาติโดยตรงที่เข้ามาภายในอาคารได้ และเพื่อช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงานของระบบไฟฟ้าส่องสว่างผ่านระบบท่อนำแสงธรรมชาติ จึงต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีแสงสว่าง
   1.1 ทฤษฎีด้านพฤติกรรมของแสง
   1.2 ทฤษฎีด้านหน่วยวัดทางแสงและการส่องสว่าง
2. แสงธรรมชาติและศักยภาพของประเทศไทยในการใช้แสงธรรมชาติ
   2.1 ทฤษฎีด้านแสงธรรมชาติและสภาพท้องฟ้า
   2.2 ศักยภาพของประเทศไทยในการใช้แสงธรรมชาติ
3. มาตรฐานแสงสว่างที่เกี่ยวข้อง
4. ทฤษฎีด้านการนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง

1. ทฤษฎีแสงสว่าง

1.1 ทฤษฎีด้านพฤติกรรมของแสง

ทฤษฎีด้านพฤติกรรมของแสงซึ่งแสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีลักษณะเป็นคลื่นสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะมีความยาวคลื่นระหว่าง 380 - 780 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10-9 เมตร) มีคุณสมบัติที่ทำให้ตามนุษย์สามารถมองเห็นแสงสีต่างๆได้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงสว่างสีต่างๆที่ตกกระทบตา ซึ่งพฤติกรรมของแสงจะสามารถแบ่งได้ดังนี้ การดูดกลืน (Absorption), การสะท้อน (Reflection), การส่องผ่าน (Transmission), การหักเหแสง (Refraction), แสงบาดตา (Glare) เป็นต้น

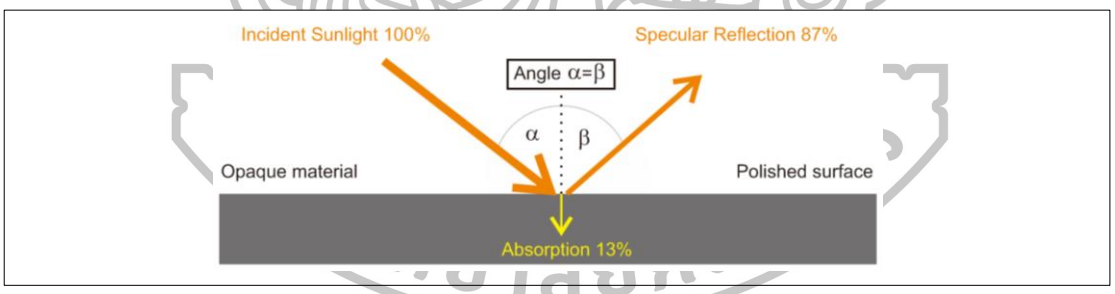


ภาพที่ 4 แสดงภาพสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: วิษณุ เอื้อชูเกียรติ, **สเปกโทรสโกปี จากสายรุ้งสู่เอกภพ,** เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษจิกายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=spectroscopy

1.1.1 การดูดกลืน (Absorption)

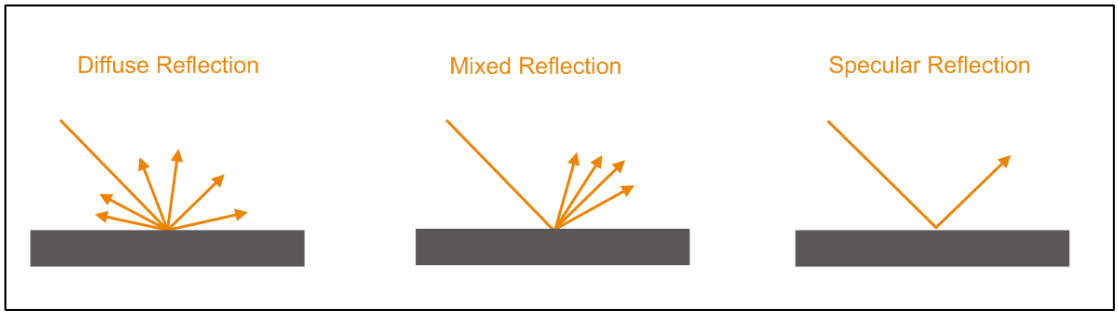
เป็นปรากฏการณ์ของแสงเมื่อส่องมากระทบตัวกลางและทำให้แสงบางส่วนถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางหรือวัตถุใดๆ โดยพลังงานจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงพฤติกรรมการดูดกลืนแสง

1.1.2 การสะท้อน (Reflection)

พฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางและจะมีแสงบางส่วนสะท้อนออกจากผิวของวัตถุนั้น ส่วนของแสงที่สะท้อนกลับมีตั้งแต่ 1% ไปจนถึง 90% ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ โดยความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้ การสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์ การสะท้อนแบบกระจายกึ่งสมบูรณ์ และการสะท้อนแบบกระจกเงาดังภาพที่ 6



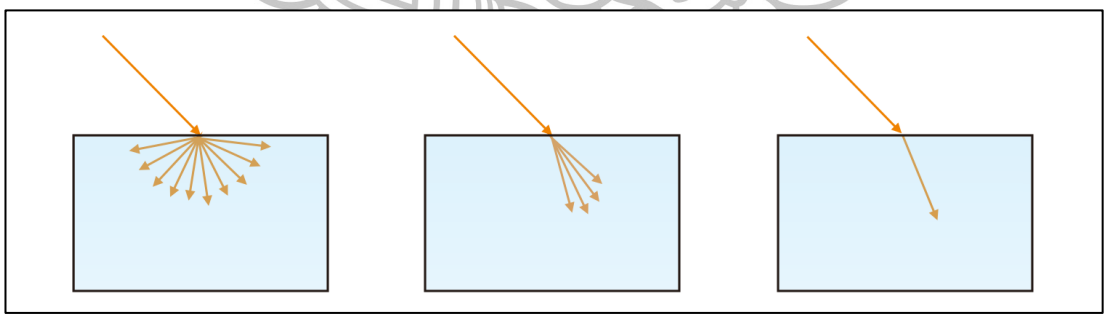
ภาพที่ 6 แสดงพฤติกรรมการสะท้อนแบบกระจายในแบบ การสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์, การสะท้อนแบบกระจายกึ่งสมบูรณ์, และการสะท้อนแบบกระจกเงา ตามลำดับ

1.1.3 การส่องผ่าน (Transmission)

แสงที่ตกกระทบทางด้านหนึ่งของตัวกลางซึ่งสามารถทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งได้ แต่แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืน และสะท้อนกลับ โดยทั่วไปมุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่านตัวกลาง และแสงที่ทะลุผ่านจะมีปริมาณคงเดิม ซึ่งสามารถอธิบายปริมาณแสงทั้งหมดด้วยสมการนี้

ปริมาณแสงทั้งหมด = ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน + ปริมาณแสงสะท้อน + ปริมาณแสงที่ส่องผ่าน

โดยลักษณะการส่องผ่านของแสงจะจำแนกตามลักษณะของตัวกลางที่ส่องผ่านดังภาพที่ 7

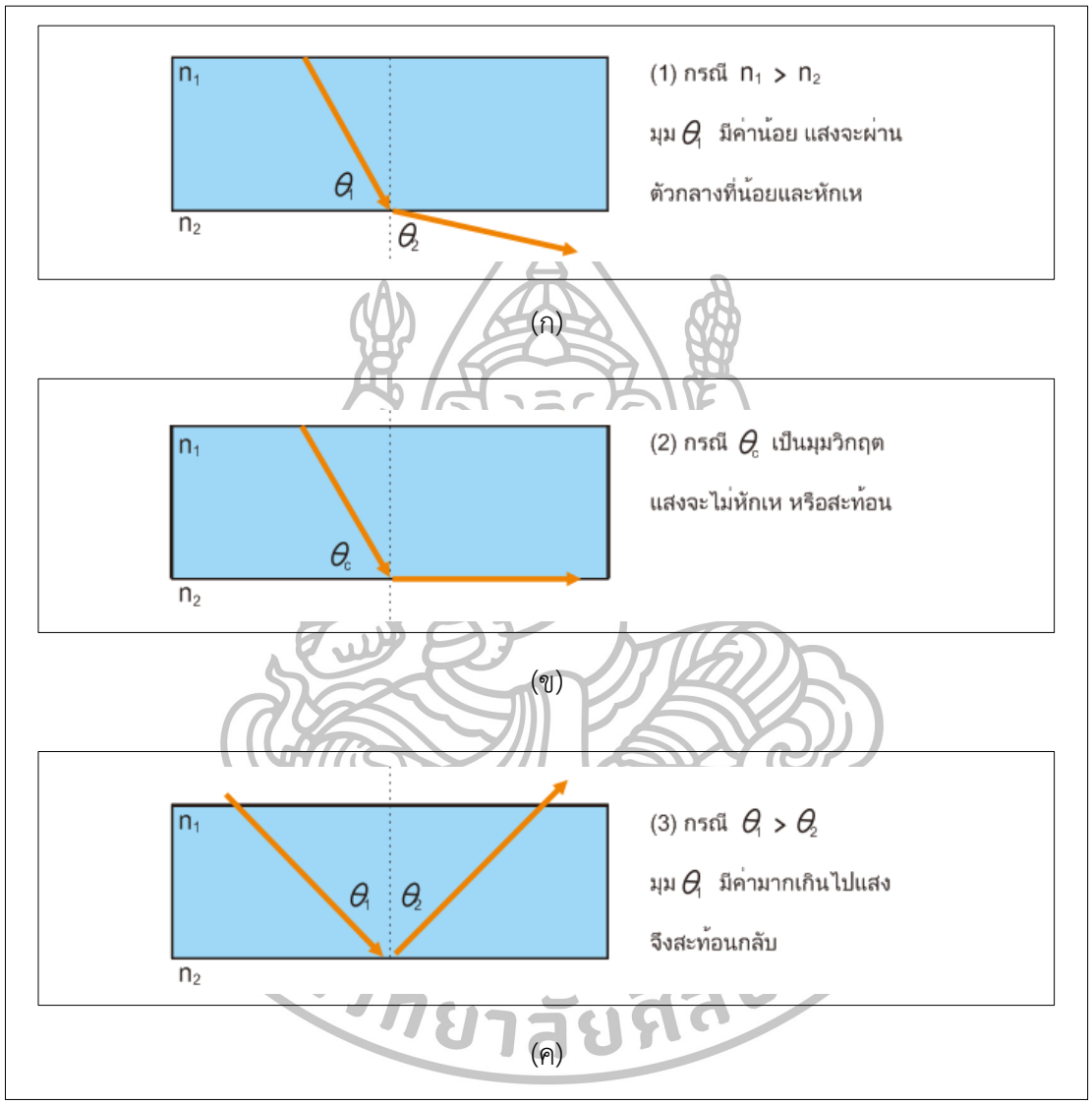


ภาพที่ 7 แสดงพฤติกรรมการส่องผ่านของแสง

1.1.4 การหักเหแสง (Refraction)

เมื่อแสงส่องผ่านตัวกลางที่โปร่งแสงจะทำให้เกิดการหักเห หรือเปลี่ยนทิศทางของแสงในขณะที่แสงเดินทางทะลุผ่านตัวกลาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางด้วย เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีค่าหักเหต่างกัน และลำแสงแต่ละตัวกลางที่มีความเร็วแตกต่างกัน โดยความถี่ของคลื่นแสงมีค่าคงที่เมื่อแสงหักเหผ่านตัวกลาง 2 ชนิดถ้ามุมตกกระทบน้อยแสงก็จะทะลุ

ผ่านตัวกลาง ถ้ามีมุมตกกระทบมากค่าหนึ่งแสงก็จะไม่สามารถผ่านตัวกลางได้ และไม่มีการสะท้อนกลับ สำหรับมุมที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่ามุมวิกฤต



ภาพที่ 8 แสดงการหักเหแสง (Refraction) ลักษณะต่างๆ

(ก) การหักเหแสงผ่านทะลุตัวกลาง

(ข) การหักเหแสงที่ค่ามุมวิกฤต

(ค) การสะท้อนแสงกลับเมื่อมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤต

1.2 ทฤษฎีด้านหน่วยวัดทางแสงและการส่องสว่าง

ทฤษฎีด้านหน่วยวัดทางแสงและการส่องสว่าง เป็นหน่วยวัดทางระบบไฟฟ้าแสงสว่างตามลักษณะการใช้งานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแสงสว่างที่สำคัญดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงสัญลักษณ์ทางแสง

ปริมาณทางแสง	หน่วยวัดทางแสง	สัญลักษณ์
ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous flux)	ลูเมน (lm)	ϕ
ความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity)	แคนเดลลา (cd)	I
ความส่องสว่าง (Illuminance)	ลักซ์ (lx)	E
ความสว่าง (Luminance)	แคนเดลลาต่อตารางเมตร (cd/m²)	L
ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance Uniformity)	เปอร์เซ็นต์ (%)	U
ประสิทธิผลการส่องสว่าง (Efficacy)	ลูเมนต่อวัตต์ (lm/W)	Efficacy
ดัชนีความถูกต้องของสี (color rendering index)	เปอร์เซ็นต์ (%)	CRI
อัตราส่วนของแสงภายในต่อภายนอกอาคาร (Daylight Factor)	เปอร์เซ็นต์ (%)	DF
ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (Utilization Factor)	เปอร์เซ็นต์ (%)	UF
ค่าการบำรุงรักษาในระดับความสะอาดภายในอาคาร (Maintenance factor)	เปอร์เซ็นต์ (%)	MF

1.2.1 ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous flux)

ปริมาณฟลักซ์แผ่รังสีที่ส่องสว่าง สำหรับการเห็นในที่สว่าง (Photopic vision) มีหน่วยเป็น lm (ลูเมน) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{ø} = 683\int_{380}^{780} \mathrm{P}(\lambda)\mathrm{V}(\lambda)\mathrm{d} \qquad [1]$$

โดยที่ ø คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

λ คือ ความยาวคลื่นแสง (m)

P(λ) คือ กำลังงานของแสงที่ความยาวคลื่น λ (m)

V(λ) คือ ความไวของตามนุษย์ที่ความยาวคลื่น λ (m)

1.2.2 ความสว่าง (Illuminance)

ปริมาณแสงที่ตกกระทบตั้งฉากบนพื้นที่หนึ่งตารางหน่วยภายใน 1 วินาที มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ ซึ่งเขียนแทนด้วย E ความสว่างบนพื้นผิวใด ๆ สามารถคำนวณหาค่าได้จากสมการที่ 2

$$E = \frac{\emptyset}{A} \quad [2]$$

โดยที่ E คือ ความสว่าง (lm/ m²) หรือ lx

Ø คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

A คือ พื้นที่ที่แสงตกกระทบ (m²)

1.2.3 ความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity)

ความเข้มของปริมาณแสงที่ส่องไปยังทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อวินาที หรือฟลักซ์การส่องสว่างในทิศทางหนึ่งที่แผ่ออกมาในหนึ่งหน่วยของมุมตัน (steradian) มีหน่วยวัดเป็นแคนเดลา (Candela, cd) เขียนแทนด้วย I

$$I = \frac{\emptyset}{4\pi} \quad [3]$$

โดยที่ I คือ ความเข้มการส่องสว่าง (cd)

Ø คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

เมื่อพิจารณาผิวที่อยู่ห่างจากหลอดไฟที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลลา เป็นระยะทาง 1 เมตร ความสว่างจะมีค่า 1 lx โดยความสว่างจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองดังสมการนี้

$$E \alpha \frac{1}{R^2} \quad [4]$$

จากสมการข้างต้นจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและระยะทาง ดังสมการที่ 5

$$E = \frac{1}{\mathrm{R}^2} = \frac{\emptyset}{4\pi \mathrm{R}^2} \quad [5]$$

โดยที่ E คือ ความสว่าง (lm/ m²) หรือ lx

I คือ ความเข้มการส่องสว่าง (cd)

$\emptyset$ คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

R คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดแสงถึงผิวของวัตถุในทิศตั้งฉาก (m)

1.2.4 ความส่องสว่าง (Luminance)

ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างที่แผ่ไปในส่วนมูลฐานมุมตันที่มีทิศทางที่กำหนดต่อพื้นที่ผิวที่ปรากฏ หรือหมายถึงความสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m²)

$$\mathrm{L} = \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{A}_P} \quad [6]$$

โดยที่ L คือ ความส่องสว่าง (cd/m2)

I คือ ความเข้มการส่องสว่าง (cd)

A_P คือ พื้นที่ผิวที่ปรากฏ (m²)

หากแสงที่ตกกระทบวัตถุมีปริมาณที่เท่ากัน ค่าความส่องสว่าง (L) ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุไม่จำเป็นที่จะต้องมีค่าที่เท่ากันเนื่องจากวัตถุแต่ละชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ไม่เท่ากัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุและสีของวัตถุ

1.2.5 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance Uniformity : U)

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างในบริเวณที่ใช้งาน โดยค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง พิจารณาได้จากอัตราส่วนของค่าความส่องสว่างต่ำสุดต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในบริเวณที่พิจารณา

โดยค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการส่องสว่างภายในอาคารประเภทห้างค้าปลีกคือไม่น้อยกว่า 0.7 ในขณะที่ค่าความความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่

เหมาะสมสำหรับการส่องสว่างภายนอกอาคารไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 0.3 (The SLL Lighting Handbook, 2009: 191-195) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$\mathrm{U} = \frac{E_{min}}{\mathrm{E}_{avg}} \qquad [7]$$

โดยที่ E_{min} คือ ความสว่างต่ำสุด (lx)

E_{avg} คือ ค่าความสว่างเฉลี่ย (lx)

1.2.6 ประสิทธิผลการส่องสว่าง (Efficacy)

อัตราส่วนของปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ที่ป้อนให้แก่หลอด โดยประสิทธิผลการส่องสว่างมีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (lm/W) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$\mathrm{Efficacy} = \frac{\emptyset}{\mathrm{P}} \qquad [8]$$

โดยที่ $\emptyset$ คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดแสง (W)

1.2.7 ดัชนีความถูกต้องของสี (color rendering index, CRI)

เป็นค่าที่บอกถึงความถูกต้องของสีของวัตถุเมื่อถูกให้แสงโดยหลอดไฟชนิดนั้น ๆ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ แสงสีจะถูกต้องมากที่สุดเมื่อค่า CRI เท่ากับ 100 % เมื่อค่า CRI ต่ำลงจะทำให้สีของวัตถุผิดเพี้ยนมากขึ้น (โดยอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่นั้นได้กำหนดให้มีค่า CRI > 80 ไว้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน)

1.2.8 อัตราส่วนของแสงภายในต่อภายนอกอาคาร (Daylight Factor : DF)

ซึ่งอัตราส่วนของแสงภายในจุดจุดหนึ่ง เมื่อเทียบกับแสงภายนอกอาคารเมื่อวัดในแนวระนาบจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับช่วงเวลาในแต่ละวัน การหาค่า Daylight Factor (DF) คำนวณได้จากสมการที่ 9

$$DF = (\frac{E_{in}}{E_{ex}} \times 100\%) \quad [9]$$

โดยที่ E_{in} คือ ค่าความส่องสว่างภายในอาคาร (lx)

E_{ex} คือ ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร (lx)

1.2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (Utilization Factor)

คือสัดส่วนของฟลักซ์แสงสว่าง คือส่วนของแสงที่ออกมาจากหลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบบนระนาบการทำงาน โดยแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่ส่งผลต่อแสงที่ตกกระทบนั้นคือ แสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงและ ส่วนที่มาจากการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆภายในห้อง โดยค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (Utilization Factor) จะขึ้นอยู่กับดัชนีห้อง (Room Index) ซึ่งค่าดัชนีห้องสามารถกำหนดได้ด้วยตัวแปรดังนี้ คือ ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม ขนาดของห้อง ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวห้อง

1.2.10 ค่าการบำรุงรักษาในระดับความสะอาดภายในอาคาร (Maintenance Factor)

คือปริมาณแสงสว่างที่ลดลงไปตามระยะเวลาการใช้งานเกิดจากปัจจัยต่างๆดังนี้

1.2.10.1 สัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาของหลอดไฟ (Lamp lumen maintenance factor) มีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดไฟ เป็นอัตราส่วนของฟลักซ์ของแสงสว่างที่ได้เทียบกับฟลักซ์แสงสว่างของหลอดเมื่อเปิดใช้งานครั้งแรก ฟลักซ์แสงสว่างของหลอดไฟจะลดลงตามอายุการใช้งานของหลอดอัตราการลดลงของแสงสว่าง

1.2.10.2 ค่าการบำรุงรักษาเปลี่ยนหลอดไฟทั้งกลุ่ม (Lamp survival factor) หากมีการเปลี่ยนหลอดไฟในทันทีเมื่อหลอดเสีย ค่าการบำรุงรักษาจะเท่ากับ 1

1.2.10.3 ค่าการบำรุงรักษาดวงโคม (Luminaire maintenance factor) ขึ้นกับประเภทดวงโคม สถานที่ และความถี่ในการทำความสะอาด

1.2.10.4 ค่าการบำรุงรักษาพื้นผิวห้อง (Room surface maintenance factor) ขึ้นกับสถานที่สถานที่ และการทำความสะอาดห้อง

สรุปค่าการบำรุงรักษา (Maintenance factor) ขึ้นกับสถานที่และการทำความสะอาดห้องเมื่อมีการบำรุงรักษาที่ดีจะทำให้ค่า MF เข้าใกล้ 1.0 และเป็นผลให้ระดับแสงสว่างบนระนาบทำงานมีค่าสูงกว่าห้องที่มีค่า MF ต่ำ (ห้องที่มีความสกปรก ไม่มีการทำความสะอาดบำรุงรักษา

หลอดไฟ) ซึ่งสามารถหาค่าการบำรุงรักษา (Maintenance factor) เป็น 3 กลุ่มคือ สกปรก ปานกลางและ สะอาด โดยค่าการบำรุงรักษา (Maintenance factor) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$MF = LLMF \times RSMF \quad [10]$$

เนื่องจากการคิดค่าความส่องสว่างในงานวิจัยนี้ จะใช้ในการคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท่อนำแสงธรรมชาติเป็นหลัก โดยไม่คำนวณถึงปัจจัยที่มีผลต่อแสงจากหลอดประดิษฐ์ ตัวแปรที่ใช้คือ สัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาของท่อนำแสง (Lamp lumen maintenance factor) และค่าการบำรุงรักษาพื้นผิวห้อง (Room surface maintenance factor) โดยกำหนดคำนวณหาค่าการบำรุงรักษา (Maintenance factor) ที่ใช้ในงานวิจัยคือระดับปานกลาง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการบำรุงรักษา (Maintenance Factor)

ระดับความสะอาด	LLMF	RSMF	MF
สะอาด	0.9	0.9	0.81
ปานกลาง	0.9	0.8	0.72
สกปรก	0.9	0.7	0.63

ที่มา: อธิสมัย โสพันธ์, “การออกแบบระบบส่องสว่าง” (เอกสารประกอบการสอนวิชา ไฟฟ้าส่องสว่าง มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 2554).

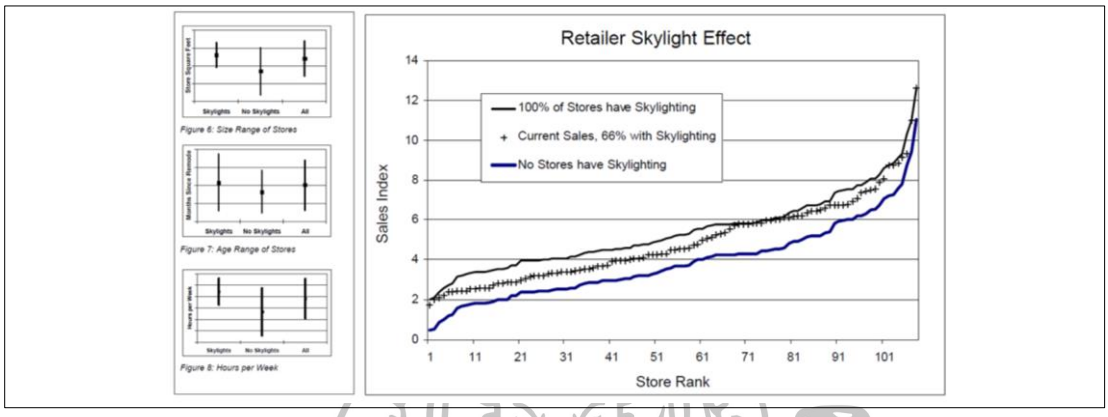
2. แสงธรรมชาติและศักยภาพของประเทศไทยในการใช้แสงธรรมชาติ

2.1 ทฤษฎีด้านแสงธรรมชาติและสภาพท้องฟ้า

2.1.1 แสงธรรมชาติ (Daylight)

ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีความยาวคลื่นเป็นส่วนที่ตาของมนุษย์สามารถรับรู้ได้และยังเป็นแสงที่ให้สีถูกต้องตามธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร นอกจากจะช่วยในด้านของการประหยัดพลังงานในอาคารแล้ว หากมีการใช้อย่างเหมาะสมยังมีผลต่อพฤติกรรมความรู้สึกในเชิงบวกของมนุษย์อีกด้วย ทั้งในด้านของประสิทธิภาพการทำงานและมองเห็น การสัมผัสรับรู้ และจากงานวิจัย สรุปได้ว่าแสงธรรมชาติมีผลต่อสภาวะการตัดสินใจในการซื้อสินค้าในร้านค้าและมีผลต่อยอดขายที่เพิ่มขึ้นของร้านค้าถึง 40% เมื่อเทียบกับร้านค้ารูปแบบเดียวกันที่ไม่มีการใช้แสงธรรมชาติ โดยในการศึกษาได้มีการสำรวจร้านค้าจำนวน 108 แห่ง ซึ่ง 2 ใน 3 ของร้านค้าที่สำรวจนั้นได้มีการติดตั้ง Sky Light เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร

โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 18 เดือน และยังช่วยลดพลังงานไปได้ถึง 0.1116 kWh/m² per year (George Loisos, 1999: 1-29)



ภาพที่ 9 แสดงกราฟยอดขายที่เพิ่มขึ้นของ Retail Shop เมื่อติดตั้ง Skylight
ที่มา: Loisos George, “Skylighting and Retail Sales and Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance,” in **Daylighting Initiative Design tools and information from The Pacifie Gas and Electric Company**, The Pacifie Gas and Electric Company (California: Heschong Mahone Mahone Group, 1999), 1 – 29.

2.1.1.1 การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารสำหรับประเทศไทย

ซึ่งประเทศไทยมีอากาศร้อนตลอดทั้งปี การนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาช่วยในการส่องสว่างภายในอาคารนับว่าเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงวิธีการนำมาใช้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เนื่องจากแสงสว่างจะนำเอาความร้อนเข้ามาในอาคารด้วย และความร้อนก็เป็นสิ่งต้องห้ามสำหรับอาคารในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการปรับอากาศ เพราะความร้อนจะทำให้ภาระของการปรับอากาศสูงขึ้น ดังนั้นการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาใช้งานในอาคารจึงต้องหลีกเลี่ยงรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sunlight) และเลือกใช้เฉพาะแสงสว่างจากรังสีแบบกระจาย (Diffuse Daylight) เท่านั้น ประเทศไทยในเขตร้อนที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร จะมีความยาวของช่วงกลางวันประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน

ดังนั้นอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ (Retail Store) จึงมีความเหมาะสมที่จะนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงเข้ามาใช้ในอาคาร เนื่องจากอาคารประเภท Retail store มีลักษณะอาคารที่สูง และมีพื้นที่ที่กว้างไม่สามารถมีช่องเปิดทางด้านข้างของกรอบอาคารได้เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับพื้นที่ภายใน และลักษณะการให้แสงสว่างภายในนั้นมีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆใน

การใช้งานคือ การให้แสงสว่างเฉลี่ยทั่วพื้นที่ (General Lighting) และการเน้นแสงในแต่ละส่วนที่สำคัญๆในการโชว์สินค้า (Local Lighting) ท่อนำแสงจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เหมาะจะนำมาใช้ในส่วนของแสงสว่างที่เฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ในเวลากลางวัน นอกจากประหยัดค่าไฟฟ้าส่องสว่างในเวลากลางวันแล้วยังช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีสาเหตุมาจากความร้อนของแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sunlight) และความร้อนแฝงจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่างได้อีกด้วย

2.1.1.2 การเปรียบเทียบระหว่างท่อนำแสงธรรมชาติ (Light Pipe) และ Skylight ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ซึ่งควรพิจารณาถึงอุปกรณ์ตัวกลางที่แสงธรรมชาติสามารถส่องผ่านเข้ามาด้วย เนื่องจากแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sun) มีความเข้มแสงสูงถึง 698 lumen ต่อตารางเมตร จึงต้องใช้ตัวกลางกระจายแสง เพราะหากใช้กระจกใส เช่น Skylight อาจจะทำให้เกิดแสงจ้าแยงตาได้ง่าย จากการสะท้อนแสงของวัตถุต่างๆ แสงชนิดนี้ยังมีความไม่แน่นอนแปรเปลี่ยนได้มากในแต่ละช่วงเวลา อีกทั้งควบคุมได้ยาก จึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ใช้ในพื้นที่ซึ่งแสงสว่างมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน นอกจากนี้ยังไม่ควรใช้ในพื้นที่ปรับอากาศ หรือพื้นที่เก็บวัตถุที่เสียหายได้เมื่อถูกความร้อนและรังสี UV เพราะแสงชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพแสงต่อความร้อนของแสงสูงถึง 110 lumen/W และหากไม่มีการควบคุมปริมาณแสง จะทำให้ทั้งปริมาณแสงและความร้อนจะเข้าสู่อาคาร มากกว่าที่เกิดจากหลอดไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารได้

ท่อนำแสงจึงเป็นอุปกรณ์ตัวกลางที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารโดยการกระจายแสง (Indirect) ผ่านภายในระบบท่อนำแสงซึ่งสามารถป้องกันความร้อนที่จะเข้ามาสู่ภายในอาคารโดยตรงและยังป้องกันรังสี UV ของดวงอาทิตย์ไม่ให้มีผลกระทบต่อสินค้าหรือสิ่งของต่างๆภายในห้างสรรพสินค้าซึ่งขึ้นอยู่กับค่าการป้องกันรังสี UV ของอุปกรณ์โดมรับแสงและส่วนกระจายแสง แผ่นกระจายแสง (Diffuser) ยังสามารถกระจายแสงภายในอาคารได้ทั่วพื้นที่โดยไม่ก่อนให้เกิดแสงบาดตา (Glare) ต่อผู้ใช้อาคารอีกด้วย

2.1.2 ทฤษฎีด้านสภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์และสภาพอากาศที่มีเมฆปกคลุมรวมทั้ง ปริมาณ ฝุ่น ควัน ไอน้ำ มีผลต่อความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่แตกต่างกันออกไปตามช่วงเวลา และฤดูกาล ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ ดังภาพที่ 11 โดยมีเกณฑ์ในการแยกประเภทของสภาพท้องฟ้าดังนี้คือ

2.1.2.1 สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast sky) เป็นสภาพท้องฟ้าไม่สามารถมองเห็นแหลงกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมมากกว่า 70 เปอรเซ็นต ขึ้นไป

2.1.2.2 สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) เป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งแบบมีเมฆปกคลุมไมเกิน 30 เปอรเซ็นต หรือท้องฟ้าที่ไมมีเมฆปกคลุม

2.1.2.3 สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) เป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 30 ถึง 70 เปอรเซ็นต มีความแปรปรวนของระดับความส่องสว่างสูง

ภาพที่ 10 แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast sky, Clear sky, Partly cloudy sky
ที่มา: Gábor Horváth and others, **Visual estimation of the sun position in cloudy and twilight skies,** accessed November 18, 2015, available from http://rstb.royalsocietypublishing.orgcontent/366/1565/772

2.2 ศักยภาพของประเทศไทยในการใช้แสงธรรมชาติ

โดยสภาพที่ตั้งของประเทศไทยมีตำแหนงอยูระหว่างเสน Latitude ที่ 5 ถึง 21 องศาเหนือและเสน Longitude ที่ 97 และ 106 องศาตะวันออก ซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น สภาพโดยทั่วไปท้องฟ้าจะมีเมฆมาก และมีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงดังตารางที่ 6 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Daylighting) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใหญ่ที่สุด ปริมาณของแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่ตั้งบนผิวโลก มุม Altitude และ มุม Azimuth ที่กระทำต่อดวงอาทิตย์ ซึ่งแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแสงชนิดเดียวที่มีพลังงานคลื่นแสงครบทุกช่วงคลื่นทำให้วัตถุที่แสงอาทิตย์ส่องมีสีที่เป็นธรรมชาติที่สุด แสงอาทิตย์ให้ประสิทธิภาพลูเมนสูงเท่ากับ 105 – 119 ลูเมนต่อวัตต์

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารให้ได้ประโยชน์สูงสุดนั้น ควรคำนึงถึงเทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ ขนาดช่องเปิด ตำแหน่ง ทิศทาง วัสดุ เป็นต้น การวางตำแหน่งช่องเปิดไม่ดีอาจจะทำให้เกิดแสงบาดตามีผลต่อการใช้งาน เพื่อให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่นำความร้อนเข้ามาในอาคารจนทำให้อาคารร้อน และมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ต้องทำงานหนักขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงสภาพท้องฟ้าในประเทศไทย พ.ศ. 2542

สภาพท้องฟ้า (Sky condition)	อัตราส่วนท้องฟ้า (Sky ratio)	จำนวนความถี่ (ร้อยละ)
Clear sky	≤ 0.3	23
Partly cloudy sky	0.3 < to < 0.8	44
Overcast sky	≥ 0.8	33

ที่มา: พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ, “รูปแบบของช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543), 34.

ตารางที่ 7 แสดงตารางค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกในแนวตั้งทุกทิศและค่าเฉลี่ยมุมเงยของดวงอาทิตย์ตลอดปี รายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น.

เวลาท้องถิ่น (Local time)	ค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกในแนวตั้งทุกทิศ (lx)	ค่าเฉลี่ยมุมเงยของดวงอาทิตย์ (องศา)
8.00	23,504	23.23
9.00	28,912	36.84
10.00	32,218	19.92
11.00	30,713	61.85
12.00	28,757	70.86
13.00	29,576	68.48
14.00	30,447	58.06
15.00	30,145	45.61
16.00	27,301	32.27
17.00	13,031	18.54

หมายเหตุที่มาของตารางค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกในแนวตั้งทุกทิศของดวงอาทิตย์ตลอดปี รายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. (Surapong Chirarattananon and others, 2002: 1-56)

โดยจากตารางที่ 6 ข้างต้นทำให้ทราบว่าประเทศไทยจะมีลักษณะท้องฟ้าแบบ Partly cloudy sky หรือมีเมฆเป็นบางส่วนสูงถึง 44% ของทั้งปี และสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky หรือสภาพท้องฟ้าโปร่งอีก 23% ของทั้งปี และค่าเฉลี่ยความสว่างท้องฟ้าค่อนข้างคงตัวในแต่ละชั่วโมงที่ต่างกันไม่มากนัก โดยมีค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกที่วัดค่าในแนวตั้งทุกทิศเฉลี่ยทั้งปีโดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆชั่วโมงตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. ในตารางที่ 7 ผลที่ออกมาพบว่า มีค่าความสว่างไม่ต่ำกว่า 10,000 lx ทำให้เห็นได้ว่าแสงธรรมชาติในประเทศไทยมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ภายในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานด้านแสงสว่าง โดยอุปกรณ์ที่จะใช้ในการเป็นตัวกลางนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารนั้นคือท่อนำแสงธรรมชาติ (Light Pipe) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถนำพาแสงเข้าสู่อาคารได้ถึง 98% และไม่นำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารนั้นจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้ระบบท่อนำแสงกับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา

3. มาตรฐานแสงสว่างที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานระดับความส่องสว่าง หมายถึง ความส่องสว่างของวัตถุเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบ และสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ซึ่งค่าความสว่างมีผลต่อการมองเห็นและมีผลต่อความสบายในการทำงานหรือใช้สายตา แสงจึงมีความจำเป็นที่จะต้องอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานการทำงาน หากสูงเกินความจำเป็นจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ แต่ในทางกลับกันหากผู้ออกแบบใช้ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จะทำให้สภาพการมองเห็นลดลงกว่าที่ควรจะเป็นซึ่งจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการทำงานอีกด้วย ดังนั้นค่าความส่องสว่างจึงควรอยู่ในระดับที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงตารางเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างมาตรฐาน CIE, IES, BS และ TIEA

No.	พื้นที่ต่างๆ	มาตรฐาน CIE	มาตรฐาน IES	มาตรฐาน BS	มาตรฐาน TIEA	หมายเหตุ
1	ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500	750W	300	ตำแหน่งของความสว่างมาตรฐาน BS
2	ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500	500W	300-500	

ตารางที่ 8 แสดงตารางเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างมาตรฐาน CIE, IES, BS และ TIEA (ต่อ)

No.	พื้นที่ต่างๆ	มาตรฐาน CIE	มาตรฐาน IES	มาตรฐาน BS	มาตรฐาน TIEA	หมายเหตุ
3	ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500	500W	500	W = Working Plane S = Switch F = Floor
4	ร้านค้า	500-750	500-750-1000	500W	300-500	
5	เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	200W	300	
6	ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	150S	50-300	
7	โถงต้อนรับ	100-150-200	100-150-200	150S	100-300	
8	ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	150S	200	
9	ทางเดิน	50-100-150	100-150-200	100S	100	
10	บันได	100-150-200	100-150-200	150F	150	
11	ลิฟท์	100-150-200	100-150-200	150F	150-200	

จากตารางเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างมาตรฐานที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในงานวิจัยนี้จึงได้มีสรุปมาตรฐานระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมคือมาตรฐานสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกฎกระทรวง พ.ศ. 2549 ในที่นี้เพื่อจะให้ได้เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ครอบคลุมถึงการใช้งานจริงของระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ โดยได้แบ่งตามประเภทของพื้นที่และกิจกรรมไว้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงตารางมาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบแสงสว่าง

NO.	ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (lx)	กฎกระทรวง พ.ศ. 2549 (lx)
1	พื้นที่ขายขนาดเล็ก	300	200
2	พื้นที่ขายขนาดใหญ่	500	200
3	พื้นที่เก็บเงิน / ห่อ บรรจุ	500	400
4	ประชาสัมพันธ์	300	400
5	พื้นที่สำนักงาน	500	300

ตารางที่ 9 แสดงตารางมาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบแสงสว่าง (ต่อ)

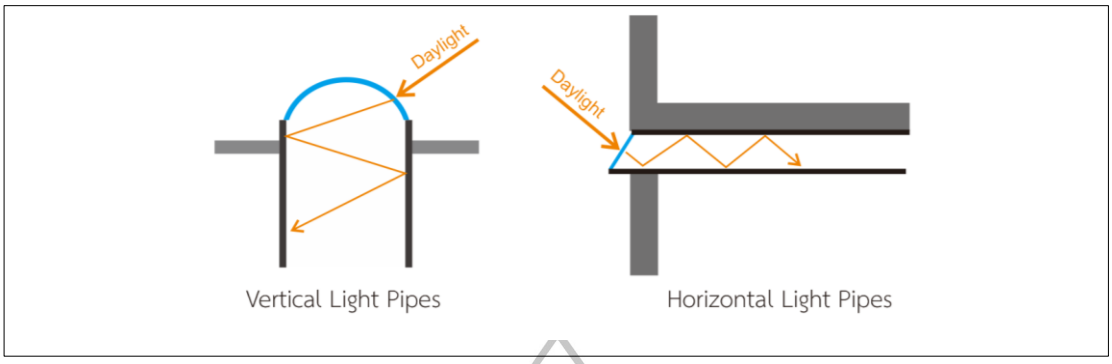
NO.	ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (lx)	กฎกระทรวง พ.ศ. 2549 (lx)
6	โถงทางเข้าอาคาร	100	200
7	บันได / ทางเลื่อน	150	50
8	โถงนั่งพัก	200	200
9	พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100	50
10	พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150	100
11	ห้องอาหารทั่วไป	200	200
12	ห้องน้ำ / ห้องรับฝากของ	200	100

เมื่อพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยมาเปรียบเทียบกับกฎกระทรวง พ.ศ. 2549 ทำให้ทราบถึงเกณฑ์ที่เหมาะสมในการวิจัยคือค่าของความส่องสว่างที่อยู่ในช่วง 300 – 500 lx ซึ่งเป็นช่วงที่ครอบคลุมถึงพื้นที่และ กิจกรรมการใช้งานภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่โดยเฉพาะส่วนพื้นที่ขายที่ถูกกำหนดไว้เป็นพื้นที่สำหรับทำการทดลอง

4. ทฤษฎีด้านการนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง

ท่อนำแสงธรรมชาติเป็นอีกทางเลือกในการให้แสงสว่าง โดยส่วนรับแสงจะทำหน้าที่รวมแสงสว่างจากภายนอกสู่ภายในอาคารเพื่อมาทดแทน และสนับสนุนการให้แสงสว่างภายในอาคารในช่วงเวลาที่มีแสงของดวงอาทิตย์ ท่อนำแสงจะถูกแบ่งออกตามตำแหน่งการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร 2 ประเภทหลักคือ ท่อนำแสงแนวดิ่ง (Vertical Light Pipes) เป็นการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารจากส่วนบนของอาคารหรือ หลังคาของอาคาร และท่อนำแสงแนวนอน (Horizontal Light Pipes) เป็นการนำแสงธรรมชาติเข้าทางด้านข้างของอาคารหรือทางผนังอาคารโดยทั้ง 2 ประเภทมีหลักการในการทำงานที่เหมือนกัน ดังภาพที่ 11

โดยในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ท่อนำแสงแนวดิ่งในการทดลองเนื่องจากท่อนำแสงแนวดิ่งทำงานโดยการนำแสงจากด้านบนหลังคาของอาคารทำให้ไม่ผลในเรื่องของทิศทาง และปัจจัยของบริบทรอบข้างในการติดตั้ง



ภาพที่ 11 แสดงลักษณะตัวอย่างของท่อนำแสงแนวดิ่งและแนวนอน

4.1 หลักการทำงานของท่อนำแสงธรรมชาติ (Light Pipe)

ท่อนำแสง หรือชุดโดมซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญคือส่วนรับแสง ส่วนท่อนำพาแสง และส่วนกระจายแสงภายในเพื่อนำแสงจากดวงอาทิตย์เข้ามาทดแทนพลังงานแสงสว่างในช่วงเวลากลางวัน หรือเสริมความสว่างภายในอาคาร โกดังและโรงงาน หรือสถานศึกษา อาคารกีฬาในร่ม และร้านค้าที่มีความจำเป็นต้องใช้ความสว่างโดยที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในแง่ของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมาตรฐานโดยทั่วไปสำหรับงานที่ต้องใช้ความละเอียดมากและมีขนาดเล็ก เช่น งานด้านการผลิตอัญมณี เครื่องประดับ และนาฬิกา เป็นต้น ต้องการค่าความสว่าง 2,400 lx ขึ้นไป (กฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการดูงานความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง, 2559) การใช้แสงสว่างภายในอาคารโดยทั่วไปจะใช้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 400 - 800 lx ก็เพียงพอต่อความต้องการภายในอาคารปฏิบัติงาน (ขึ้นอยู่กับความต้องการในแต่ละพื้นที่ว่ามีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้านใด)

4.1.1 จุดเด่นของการใช้ระบบท่อนำแสงธรรมชาติ

โดยสามารถจำแนกได้ 2 ประเด็นหลักๆในด้านการใช้งานและ ด้านการประหยัดพลังงานดังนี้

4.1.1.1 ด้านการใช้งาน

4.1.1.1.1 เมื่อติดตั้งแล้วไม่จำเป็นต้องดูแลทำความสะอาด

4.1.1.1.2 วัสดุไม่ก่อให้เกิดการจับตัวของตะไคร่และฝุ่นเกาะที่ท่อนำแสงเมื่อใช้เป็นระยะเวลานาน

4.1.1.1.3 ติดตั้งได้กับหลังคาทุกประเภทและ สามารถนำไปติดตั้งตกแต่งเข้ากับฝ้าอาคารได้หลากหลายรูปแบบ

4.1.1.1.4 สามารถกระจายแสงให้ส่องสว่างสม่ำเสมอ

4.1.1.1.5 ปัจจุบันมีอุปกรณ์เสริมเพื่อลองรับในการใช้งานมากมาย

4.1.1.1.6 แสงธรรมชาติ มีผลต่อพฤติกรรมความรู้สึกเชิงบวกของมนุษย์

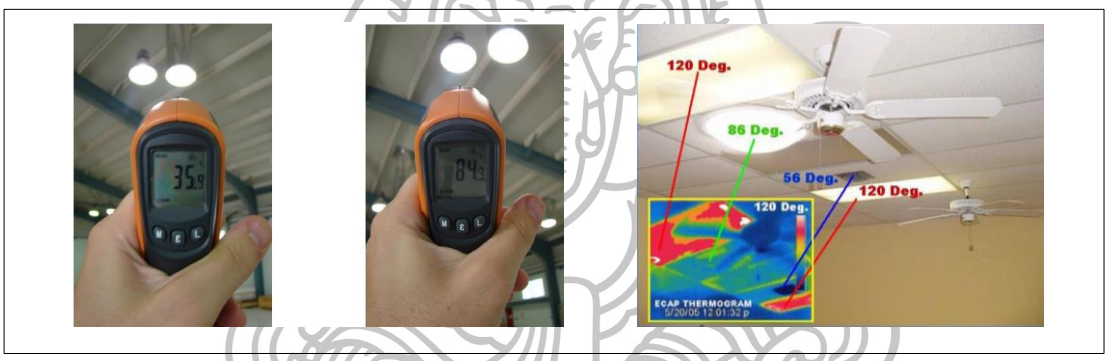
4.1.1.2 ด้านการประหยัดพลังงาน

4.1.1.2.1 ให้ความสว่างเทียบเท่ากับหลอดไฟ Metal halide 400 W

4.1.1.2.2 ช่วยลดการก่อคาร์บอนไดออกไซด์ 137 ตัน/ปี (จากการใช้ท่อนำแสง 100 ชุด) (กนกศักดิ์ ใจกล้า, 2558)

4.1.1.2.3 ลดอุณหภูมิความร้อนให้น้อยลง และกรองรังสี UV

4.1.1.2.4 ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร

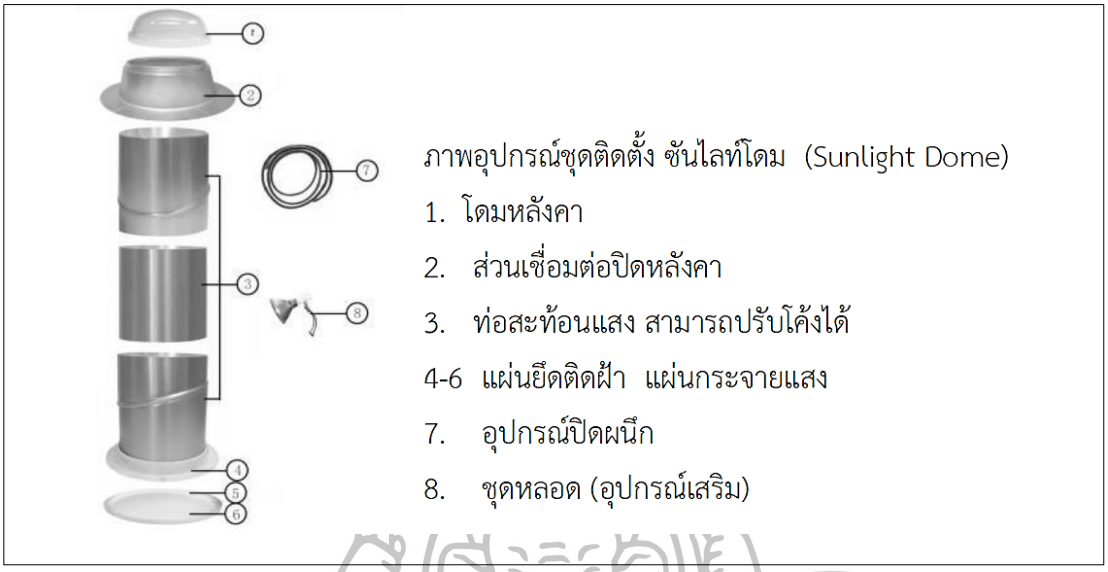


ภาพที่ 12 เปรียบเทียบความร้อนของท่อนำแสงกับดวงโคม

ที่มา: Sunlight Dome [pseud], **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight,** accessed November 18, 2015, available from www.sunlightdome.com

4.1.2 อุปกรณ์ของระบบท่อนำแสงธรรมชาติ

ท่อนำแสงธรรมชาติจะประกอบด้วยส่วนหลักสำคัญอยู่ 3 ส่วนคือส่วนรวมแสง ส่วนท่อนำพาแสงและ ส่วนกระจายแสงภายในอาคาร ซึ่งในปัจจุบันระบบท่อนำแสงได้มีการพัฒนาให้มีรูปแบบที่มากขึ้นเพื่อ ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบมากขึ้นอีกด้วย โดยอุปกรณ์ของระบบท่อนำแสงประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงอุปกรณ์ของระบบท่อนำแสงธรรมชาติ

ที่มา: Sunlight Dome [pseud], **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight,** accessed November 18, 2015, available from www.sunlightdome.com

4.1.2.1 ส่วนรวมแสง (Top Dome)

อุปกรณ์สำหรับรับแสงธรรมชาติเข้าสู่ท่อนำแสง วัสดุที่ใช้คือ โพลีคาร์บอเนตที่ สามารถป้องกันรังสียูวี จากดวงอาทิตย์ มีความหนาอยู่ที่ 4 mm. โดยจะแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือโดมแบบธรรมดา (Sun Light Dome) และโดมแบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Sun Trackec Light Dome) เพื่อที่จะให้ได้คุณภาพของแสงที่มีความเสถียรต่อการใช้งานที่มารกขึ้นดังภาพที่ 14

ภาพที่ 14 แสดงโดมหลังคาแบบธรรมดาและแบบติดตามดวงอาทิตย์

ที่มา: Ciralight Global [pseud], **Lighting the Future, Naturally,** accessed November 18, 2015, available from http://www.ciralight.com/

4.1.2.2 ส่วนท่อนำพาแสง (Sun Pipe)

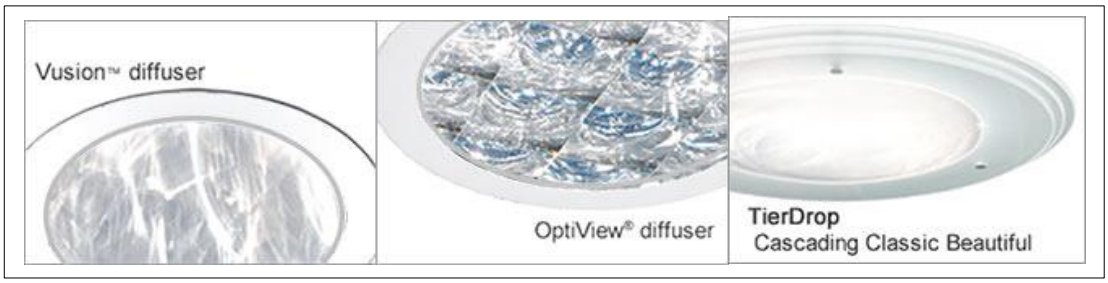
ทำหน้าที่นำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารในลักษณะกระจายแสงจากส่วนรวมแสงบนหลังคาถึงส่วนปลายท่อในส่วนของแผ่นดิฟิวเซอร์เพื่อใช้งานภายในอาคาร โดยวัสดุจะเป็นท่ออลูมิเนียมคุณภาพสูงมีความมันวาวเป็นพิเศษเคลือบด้วย Silver-Plus ประกอบด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 0.343, 0.457, 0.535 เมตร ซึ่งมี 2 ประเภทหลักดังภาพที่ 15 คือ แบบท่ออลูมิเนียม (Rigid Tube) สามารถนำแสงเข้าอาคารได้ 98% และแบบท่อยืดหดได้ (Flexi Tube) สามารถนำแสงเข้าอาคารได้ 86%

ภาพที่ 15 แสดงท่อนำแสงแบบ Rigid Tube และ Flexi Tube

ที่มา: SkyTunnel [pseud], **Sky Tunnel Day Lighting System** [Computer file], (Bangkok: SkyTunnel, 2015).

4.1.2.3 ส่วนกระจายแสง (Diffuser)

ทำหน้าที่กระจายแสงไปยังจุดต่างๆ ภายในอาคารอีกยังป้องกันการเกิดแสงลำตรง ซึ่งมีหลายรูปแบบสามารรถเลือกรูปแบบแผ่นกระจายแสงตามความเหมาะสมของพื้นที่ใช้สอยนั้นๆดังภาพที่ 16

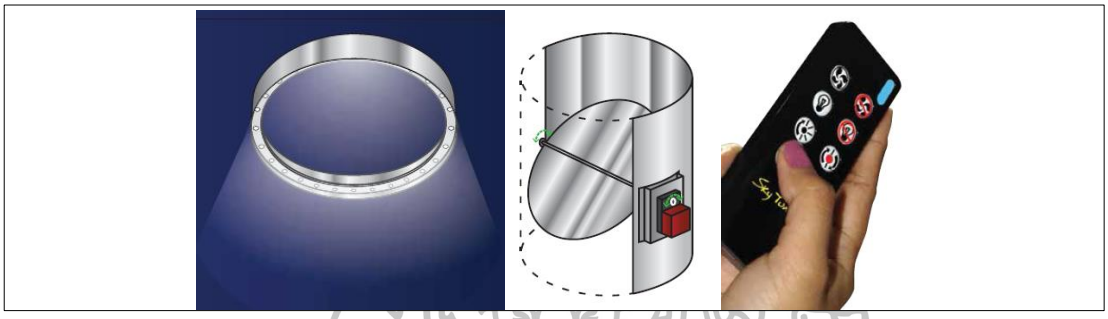


ภาพที่ 16 แสดง Diffuser ในรูปแบบต่างๆ

ที่มา: Solatube [pseud], **the very best products at the very best prices,** accessed November 18, 2015, available from http://www.just-rooflights.com

4.1.2.4 อุปกรณ์เสริมสำหรับท่อนำแสง (Accessories)

ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพและช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้งาน เช่น ระบบไฟส่องสว่าง LED เพื่อให้แสงสว่างในเวลากลางคืน (Electric light) พัดลมดูดอากาศ อุปกรณ์สำหรับควบคุมแสงสว่าง (Vari light) และรีโมทคอนโทรลที่สามารถควบคุมทั้งความสว่างและพัดลมดูดอากาศ ดังรูปที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงอุปกรณ์เสริมสำหรับท่อนำแสง

ที่มา: SkyTunnel [pseud], **Sky Tunnel Day Lighting System** [Computer file], (Bangkok: SkyTunnel, 2015).

4.1.3 การติดตั้งระบบท่อนำแสง

โดยท่อนำแสงแต่ละขนาดมีข้อจำกัดในการติดตั้งด้วยระยะที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของท่อนำแสง เนื่องจากระยะที่กำหนดไว้ส่งผลถึงมาตรฐานความส่องสว่างที่จะได้รับเช่น บริษัท SkyTunne Day Lighting System. ได้แนะนำระยะห่างในการติดตั้งของท่อนำแสงธรรมชาติไว้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงระยะการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติ

มาตรฐานระยะการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติ		
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสง (เมตร)	ระยะห่างในการติดตั้ง	
	ท่อแบบ Rigid Tube	ท่อแบบ Flexi Tube
0.35	4 m. x 4 m. หรือ 16 m²	3 m. x 3 m. หรือ 9 m²
0.46	5 m. x 5 m. หรือ 25 m²	4 m. x 4 m. หรือ 16 m²
0.54	6 m. x 6 m. หรือ 36 m²	5 m. x 5 m. หรือ 25 m²

ที่มา: SkyTunnel [pseud], **Sky Tunnel Day Lighting System** [Computer file], (Bangkok: SkyTunnel, 2015).

4.1.3.1 ขั้นตอนการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติ

4.1.3.1.1 กำหนดจุดเพื่อทำการเจาะให้เป็นลักษณะวงกลม หลังจากนั้นทำการเจาะหลังคา โดยที่เจ้าหน้าที่จะทำการกำหนดจุดเป้าหมายด้วยเลเซอร์ชี้จุดจากจุด

ปลายทางของตัวกระจายแสง เพื่อกำหนดพื้นที่การเดินท่อ และทำการเจาะตัดเพื่อให้เป็นช่องวงกลมตามขนาดของท่อที่เดินผ่าน

4.1.3.1.2 การติดตั้งส่วนเชื่อมต่อหลังคา เมื่อทำการการตัดหลังคาเป็นรูปตามกำหนดเสร็จ จึงนำส่วนเชื่อมต่อปิดหลังคามาสวมทับช่องปิดด้านบนของช่องว่างที่เจาะและทำการยึดโครงสร้างหลังคาด้วยการใช้สกรูชนิดป้องกันรั่วซึมและ หมุดย้ำ (รีเวดส์) ปิดทับด้วยการใช้ซิลิโคน และทาการอัดปิดช่องว่างในแผ่นหลังคาเหล็กด้วยการใช้โฟมชนิดขยายตัวอุดตามช่องว่างต่างๆ และปิดรอยต่อทุกด้านด้วยซิลิโคนอีกชั้นหนึ่งดังภาพที่ 18

ภาพที่ 18 แสดงการติดตั้งขั้นตอนที่ 1 และ 2

ที่มา: Sunlight Dome [pseud], **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight,** accessed November 18, 2015, available from www.sunlightdome.com

4.1.3.1.3 สอดท่อนำแสง และจัดวางปรับความโค้งงอ

4.1.3.1.4 ประกอบติดตั้งแผ่นกระจายแสง (Diffuser) ต่อปลายท่อนำแสงดังภาพที่ 19

ภาพที่ 19 แสดงการติดตั้งขั้นตอนที่ 3 และ 4

ที่มา: Sunlight Dome [pseud], **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight,** accessed November 18, 2015, available from www.sunlightdome.com

4.1.3.1.5 ทาเก็บสีตัดโฟมส่วนที่พองยื่นออกจากช่องว่างในการติดตั้ง และยาแนวปกปิดช่องว่างระหว่างท่อนำแสงและหลังคา และทำการตรวนสอบ

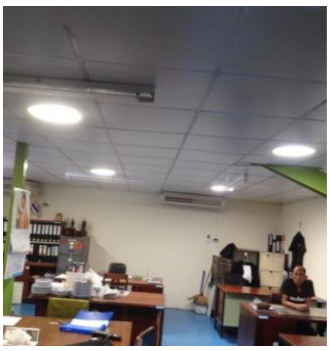
4.1.3.1.6 ตรวจสอบความสว่างหลังการติดตั้ง โดยไม่ใช้การเปิดหลอดไฟฟ้าส่องสว่างในช่วงกลางวัน จากการตรวจสอบค่าความสว่างสูงสุดบนโต๊ะทำงานอยู่ที่ 800 lx และ พื้นที่ปฏิบัติงานมีค่าความสว่าง 340 lx จากความสูง 4 เมตร กระจายเป็นวงกว้างดังภาพที่ 20

ภาพที่ 20 แสดงการติดตั้งขั้นตอนที่ 5 และ 6

ที่มา: Sunlight Dome [pseud], **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight,** accessed November 18, 2015, available from www.sunlightdome.com

4.1.4 ท่อนำแสงธรรมชาติกับอาคารแต่ละประเภท

4.1.4.1 อาคารประเภทสำนักงานที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วนห้องทำงานควบคู่ ไปกับหลอดนีออนรางคู่ จะเห็นได้ว่า การติดตั้งท่อนำแสง มีระยะห่างกว่าชุดหลอดนีออนคู่ เนื่องจากกำลังแสงจากท่อนำแสงให้แสงสว่างมากกว่า จึงสามารถเลือกติดได้ตามความต้องการแสงสว่างในพื้นที่นั้นๆ นอกจากการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติจะช่วยในเรื่องของภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กรแล้ว ยังช่วยเพิ่มบรรยากาศการทำงานภายในให้ดูสดชื่นมีชีวิตชีวาแสงธรรมชาติส่งผลให้ลดอาการปวดหัวปวดตาของพนักงานได้อีกด้วยดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทสำนักงาน

4.1.4.2 อาคารประเภทอาคารเรียนที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วนของห้องเรียน แสงธรรมชาติภายในห้องเรียนช่วยเพิ่มอัตราการเรียนรู้ของนักเรียนได้เร็วขึ้น 20% ซึ่งผลวิจัยพบว่าในการทดสอบวิชาคณิตศาสตร์นักเรียนสามารถวิเคราะห์หาคำตอบได้เร็วขึ้นถึง 26% และแสงธรรมชาติยังช่วยเสริมสร้างพัฒนาการและสุขภาพของนักเรียนในระดับประถมศึกษาในเชิงบวก และยังสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างไปได้จาก 176 ดอลลาร์สหรัฐต่อคนต่อปี เป็น 85 ดอลลาร์สหรัฐต่อคนต่อปี (Warren, 1992: 11-29) ดังภาพที่ 22

ภาพที่ 22 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทอาคารเรียน
ที่มา: Warren E, “A study into the effects of light on children of elementary school - age - a case of daylight,”In **IRC Internal Report**, S. Wolodko, (Canada: Alberta Education, 1992), 11-29.

4.1.4.3 อาคารเรียนที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติภายในส่วนห้องปฏิบัติการช่างแกะสลัก ใช้ท่อนำแสงธรรมชาติทดแทนแสงสว่างจากหลอดไฟฟ้า ในเวลากลางวันนอกจากท่อนำแสงจะแก้ปัญหาของห้องภายในอาคารที่ไม่มีช่องเปิดส่งผลให้แสงธรรมชาติไม่สามารถเข้าถึงได้แล้ว ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างภายในอาคารปฏิบัติการช่างแกะสลักอีกด้วย เนื่องจากแสงธรรมชาติมีความถูกต้องของสีสูงจึงจำเป็นต่อการทำงานศิลปะมาก ดังภาพที่ 23

ภาพที่ 23 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทห้องปฏิบัติการงานช่าง
ที่มา: Sunlight Dome [pseud], **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight,** accessed November 18, 2015, available from www.sunlightdome.com

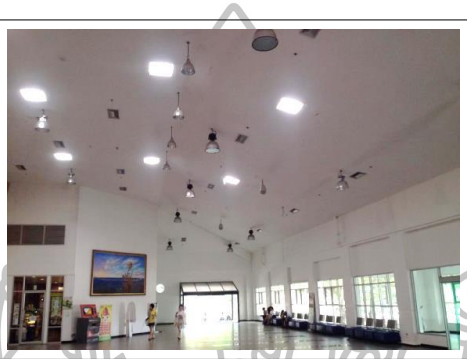
4.1.4.4 อาคารประเภทคลังสินค้าที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วนของคลังสินค้า จะเห็นการจัดวางตำแหน่งของ ท่อนำแสงธรรมชาติซึ่งอยู่ในระดับใกล้เคียงกับ หลอดไฟกำลังสูง แสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญของการลด และทดแทนการเปิดไฟส่องสว่างในช่วงเวลากลางวันได้ และยังสามารถลดภาระค่าไฟฟ้าจากการส่องสว่างได้ นอกจากนี้แสงธรรมชาติยังช่วยในเรื่องของการเพิ่มความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานเพิ่มมากขึ้น 2% ในการทำงาน (Abdou OA, 1997) ดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทคลังสินค้า
ที่มา: Sunlight Dome [pseud], **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight,** accessed November 18, 2015, available from www.sunlightdome.com

4.1.4.5 อาคารประเภทสำนักงานที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วนโรงจอดรถใต้ดิน ซึ่งอาคารในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นอาคารสูงและด้วยพื้นที่จำกัดจึงเลี่ยงไม่ได้ที่จะออกแบบให้ภายในอาคารมีพื้นที่จอดรถในชั้นใต้ดินเพื่อให้สามารถใช้พื้นที่ทั้งหมดได้อย่างคุ้มค่า ท่อนำแสงธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในชั้นใต้ดินได้ดังภาพที่ 25

ภาพที่ 25 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทโรงจอดรถใต้ดิน

4.1.4.6 อาคารประเภทห้องสมุดที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วนโถงต้อนรับหอสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์ โดยการเปลี่ยนจากการนำแสงธรรมชาติเข้าภายในอาคารโดยใช้ Sky Light ซึ่งมีนำรังสีความร้อนเข้ามาภายในอาคารทำให้เพิ่มภาระต่อเครื่องปรับอากาศที่สูงขึ้น มาเป็นระบบท่อนำแสงธรรมชาติ (Light pipe) ซึ่งสามารถทดแทนการใช้หลอดไฟจากแสงประดิษฐ์ไปได้ในเวลากลางวัน โดยสามารถลดพลังงานการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างได้ถึง 60.68% เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงระบบ (กระทรวงพลังงาน, 2553) ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในโถงอาคารห้องสมุด

4.1.4.7 อาคารประเภทสนามกีฬาที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วนโรงยิม ซึ่งระบบท่อนำแสงสามารถใช้ควบคู่กับระบบไฟฟ้าส่องสว่างได้นอกจากจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแสงภายในอาคารแล้ว ยังช่วยเรื่องการลดภาระค่าไฟฟ้าส่องสว่างในเวลากลางวัน ดังภาพที่ 27

ภาพที่ 27 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทโรงยิม

ที่มา: Ciralight Global [pseud], **Lighting the Future, Naturally,** accessed November 18, 2015, available from http://www.ciralight.com/

4.1.4.8 อาคารประเภทสนามบินที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วนของที่พักนักเดินทางสนามบิน ซึ่งพลังงานที่หมดไปกับการบินคิดเป็น 2-3% ของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้งานทั่วโลกและการสร้างสนามบินคิดเป็น 5% ของเชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทาง

สนามบินในเมืองเดนเวอร์, ซาคราเมนโต, ซานฟรานซิส มีแนวคิดในการนำท่อนำแสงธรรมชาติเพื่อลดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคารทำให้สามารถลดภาระการใช้ไฟฟ้าในการส่องสว่างไปได้ถึง 93% และแสงธรรมชาติยังช่วยในการลดความเครียดความวิตกกังวลและความดันโลหิตสูง สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับนักเดินทาง (Joonho Choi and others, 2004: 1003-1010) ดังภาพที่ 28

ภาพที่ 28 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทสนามบิน

ที่มา: Joonho Choi and others, "Study of the relationship between patients recovery and indoor daylight environment of patient rooms in healthcare facilities," Proceedings of the 2004 ISES Asia-Pacific Conference, (October 2004): 1003-1010.

4.1.4.9 อาคารประเภทโรงพยาบาลติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติภายในโรงพยาบาล ช่วยในเรื่องของการรับรู้ความเครียดทำให้อาการปวดของผู้ป่วยน้อยลงถึง 22% และลดปริมาณความต้องการยาแก้ปวดได้ถึง 21% นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้ป่วยสามารถออกจากโรงพยาบาลได้เร็วขึ้น 20% โดยสำรวจจากบริษัทประกันภัยของผู้ป่วย นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของความรู้สึกที่ดีผ่อนคลายของ พนักงาน แพทย์และพยาบาลอีกด้วย (Jeffrey M. Walch and others, 2005: 156-163) ดังภาพที่ 29

ภาพที่ 29 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทโรงพยาบาล

ที่มา: Jeffrey M. Walch and others, "The Effect of Sunlight on Postoperative Analgesic Medication Use: A Prospective Study of Patients Undergoing Spinal Surgery," **The American Psychosomatic Society**, 67 (January 2005): 156-163.

4.1.4.10 อาคารประเภทห้างสรรพสินค้าที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติในส่วน ค้าปลีกขนาดใหญ่ นอกจากช่วยเพิ่มแสงสว่างภายในอาคารแล้วแสงธรรมชาติยังให้คุณภาพของสีที่ต่างจากหลอดไฟประดิษฐ์ทำให้มองเห็นสีสันที่เป็นธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมการมองเห็นของมนุษย์ในเชิงบวก และยังช่วยในการเพิ่มยอดขายและประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานได้อีกด้วยซึ่งจากงานวิจัย (George Loisos, 1999: 1-29) พบว่าร้านค้าที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติสามารถเพิ่มยอดขายได้ 40% เมื่อเทียบกับร้านค้ารูปแบบเดียวกันที่ไม่ได้ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติ ดังภาพที่ 30

ภาพที่ 30 แสดงการติดตั้งท่อนำแสงภายในอาคารประเภทห้างค้าปลีก
ที่มา: George Loisos, “Daylighting in schools an investigation into the relationship between daylighting and human performance,” **Daylighting Initiative Design tools and information from The Pacific Gas and Electric Company**, (August 1999): 1-29.

ตารางที่ 11 แสดงการสรุปท่อนำแสงธรรมชาติกับอาคารแต่ละประเภท

No.	ประเภทของอาคาร	รูปแบบที่ใช้	ผลที่ได้รับนอกจากการประหยัดพลังงาน
1	สำนักงาน	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	ภาพลักษณ์ที่ดี, บรรยากาศที่ดีของสำนักงาน
2	อาคารเรียน	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	เสริมสร้างพัฒนาการที่ดีและเพิ่มอัตราการเรียนรู้ 20%, นักเรียนสามารถวิเคราะห์หาคำตอบได้เร็วขึ้น 26%
3	อาคารปฏิบัติงาน	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	แสงธรรมชาติมีสีที่ถูกต้องสูงเหมาะกับการทำงานศิลปะมาก

ตารางที่ 11 แสดงการสรุปท่อนำแสงธรรมชาติกับอาคารแต่ละประเภท (ต่อ)

No.	ประเภทของอาคาร	รูปแบบที่ใช้	ผลที่ได้รับนอกจากการประหยัดพลังงาน
4	คลังสินค้า	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	ช่วยในเรื่องของความปลอดภัยและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น 2%
5	โรงจอดรถใต้ดิน	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	ภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร
6	หอสมุด	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	ลดความร้อนภายในอาคารซึ่งมีผลต่อภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
7	โรงยิม	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	เพิ่มประสิทธิภาพของแสงภายในอาคาร
8	สนามบิน	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร, สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีและช่วยลดความเครียดความวิตกกังวลและความดันโลหิตสูงของนักเดินทาง
9	โรงพยาบาล	สกายไลท์	ช่วยในเรื่องของการรับรู้ความเครียดทำให้อาการปวดของผู้ป่วยลดลง 22%, ลดปริมาณความต้องการยาแก้ปวดลง 21% และช่วยให้ผู้ป่วยออกจากโรงพยาบาลได้เร็วขึ้น 20%
10	ห้างค้าปลีก	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	มีผลต่อพฤติกรรมเชิงบวกของมนุษย์, ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการและช่วยเพิ่มยอดขาย 40%

ในปัจจุบันมีการขยายตัวของเมืองที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เพิ่มจำนวนของอาคารมากมาย ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของอาคารทุกประเภทคือระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยเฉพาะอาคารเรียน อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน อาคารซุปเปอร์มาเก็ต ต่างๆที่ต้องมีการใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากซึ่งนอกจากส่งผลกระทบต่อภาระค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารแล้ว ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากมลพิษในการผลิตไฟฟ้า เป็นสาเหตุหนึ่งของสภาวะโลกร้อน การนำแสงธรรมชาติเข้าใช้ภายในอาคารจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานได้ เนื่องจากประเทศไทย มีปริมาณแสงสว่างที่ได้จากท้องฟ้าที่มีค่ามากกว่า 10,000 lx (ศิวดล อุปพงษ์ และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2556: 78-85)

สามารถนำเอาแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารให้เกิดประโยชน์ จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานด้านแสงสว่างภายในอาคารได้ โดยอัตราการใช้พลังงานเมื่อคิดกับอาคารสำนักงานโดยทั่วไปใช้พลังงานไฟฟ้าในการส่องสว่างคิดเป็นสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในอาคาร (ธนิต จินดาวนิค, 2546)

การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารด้วยระบบท่อนำแสงในปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำเสนอเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่สัมพันธ์กับการนำท่อนำแสงมาใช้ภายในอาคาร พบว่าสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากหลอดไฟภายในอาคารได้เท่ากับ 99.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานในบริเวณนั้นๆ นอกจากท่อนำแสงสามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารในส่วนที่ไม่มีช่องเปิดสู่ภายนอกได้แล้ว ยังช่วยในเรื่องของป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาโดยตรงอีกด้วย ในระบบท่อนำแสงสามารถนำแสงมากระจายสู่พื้นที่ด้านในหรือรอบๆ ห่องได้อย่างทั่วถึงเนื่องจากเป็นการกระจายแสงทางด้านบนของห้องความส่องสว่างค่าสูงสุดของพื้นที่ พื้นที่ภายในอาคารทั้งหมดไมควรน้อยกว่า 0.8 ตารางเมตรและลักษณะของพื้นที่ทำงานที่ไมจำเป็นต้องมีความส่องสว่างสม่ำเสมอ ควรจะมีความส่องสว่างไม่แตกต่างกันเกิน 1/3 ระหว่างความส่องสว่างโดยรอบพื้นที่ทำงานกับบริเวณบนพื้นที่ และลักษณะพื้นที่ทำงานข้างเคียงไมควรมีความส่องสว่างต่างกันมากกว่า 5/1 (ภิญโญ ชุมมณี, 2553) ซึ่งการออกแบบทอนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

4.1.5 ตำแหน่งการใช้งานและทิศทางการติดตั้งท่อนำแสง

4.1.5.1 การศึกษาเรื่องตำแหน่งและทิศทางการติดตั้งท่อนำแสงโดย บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร (2550) ได้ข้อสรุปว่า การติดตั้งท่อนำแสงโดยหันส่วนรับแสงไปทางด้านข้าง คือ ทิศเหนือ เนื่องจากแสงมีปริมาณที่สม่ำเสมอมีค่าความสว่างของแสงเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือทิศใต้ และในส่วนของทิศตะวันออก และทิศตะวันตกไม่เหมาะสมเนื่องจากไม่มีความสม่ำเสมอของแสงเพียงพอต่อการใช้งาน

4.1.5.2 การศึกษาเรื่องตำแหน่งและทิศทางการติดตั้งท่อนำแสงโดย รัฐพล รุญเจริญ (2542) ได้ข้อสรุปว่า การติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอน ภายใต้ฝ้าของอาคาร ในทิศตะวันออก และส่วนช่องเปิดไปยังทิศตะวันตกกระจายแสงลงสู่พื้นห้องเพื่อเสริมความสว่างให้กับพื้นที่ทำงาน เนื่องจากได้ทำการวางหุ่นจำลองหันหน้าทางทิศตะวันออกทำให้ในช่วงเช้ามีปริมาณแสงที่มากและแสงค่อยๆลดลงจนไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ตามการโคจรของดวงอาทิตย์

4.1.5.3 การศึกษาเรื่องตำแหน่งและทิศทางการติดตั้งท่อนำแสงโดย บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ (2552: 14-26) ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับขนาดของมุม Solar Altitude (ALT) และ มุม Horizontal Shadow Angle (HAS) พบว่ามุมที่มีขนาดเล็กสามารถ

เพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ไม่มีส่วนรวมแสงได้ แต่เมื่อระบบท่อนำแสงแนวนอนมีส่วนรวมแสงขนาดของมุม Solar Altitude (ALT) และ มุม Horizontal Shadow Angle (HAS) จึงไม่ใช่ตัวแปรหลัก เพราะส่วนรวมแสงสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของมุมก่อนเข้าสู่ระบบได้

4.1.6 รูปทรงหน้าตัดของท่อนำแสง

4.1.6.1 การศึกษารูปทรงหน้าตัดของท่อนำแสงโดย บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร (2550) ได้ข้อสรุปว่า รูปแบบหน้าตัดท่อที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งระบบท่อนำแสง คือ ท่อนำแสงหน้าตัดวงกลม เนื่องจากมีปริมาณค่าความสว่างของแสงเฉลี่ยสูงที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่ในการประยุกต์ใช้งานจริงรูปแบบท่อนำแสงอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย

4.1.6.2 การศึกษารูปทรงหน้าตัดของท่อนำแสงโดย รัฐพล รุญเจริญ (2542) ได้ข้อสรุปว่า ท่อกระบอก ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำพาแสง 90% โดยมีอัตรา1/10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อความยาว ในส่วนข้อต่อหักมุมของรัศมีโค้งในแต่ละครั้งจะลดประสิทธิภาพของแสงไป 6% เมื่ออัตราส่วน 1/3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อรัศมีโค้ง และขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อนำแสง (Pipe diameter) แปรผันตามค่าความสว่างของแสงที่ได้รับ และในลักษณะท่อที่มีการปาดความลาดเอียงลดลงจากต้นท่อมายังปลายท่อจะช่วยให้การพาแสงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4.1.6.3 การศึกษารูปทรงหน้าตัดของท่อนำแสงโดย อดิศา วงษ์ชมพู และคนอื่นๆ (2556) ได้ข้อสรุปว่า ท่อนำแสงแนวดิ่งที่เหมาะสมจะใช้ในอาคารจำหน่ายสินค้าซุปเปอร์มาเก็ตขนาดเล็กในประเทศไทย คืออุปกรณ์กระจายแสงแบบ Curve รองลงมาคือแบบ Louvers, Prism, Baffles ตามลำดับ

4.1.6.4 การศึกษารูปทรงหน้าตัดของท่อนำแสงโดย บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ (2552: 14-26) ได้ข้อสรุปว่า จากการศึกษาหากส่วนรวมแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนเป็นแผ่นเรียบโค้งจะส่งผลให้จำนวนการสะท้อนภายในท่อนำพาแสงหน้าตัดวงกลมน้อยกว่าท่อนำพาแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (มุมตกกระทบของท่อนำพาแสงหน้าตัดวงกลมมีขนาดใหญ่กว่าท่อนำพาแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส) ทำให้ท่อนำพาแสงหน้าตัดวงกลมมีการสูญเสียแสงน้อยกว่า ปริมาณแสงที่ได้จึงมากกว่าท่อนำพาแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4.1.7 ขนาดหน้าตัดท่อนำแสง

4.1.7.1 การศึกษาเรื่องขนาดหน้าตัดท่อนำแสงโดย บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร (2550) ได้ข้อสรุปว่า ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ในกรณีต่างๆ เช่น ในพื้นที่ที่ต้องการแสงสว่างกระจายทั่วทั้งห้องให้ใช้ท่อขนาดเล็กจำนวนหลายจุด เพื่อให้แสงภายในห้องมีความสม่ำเสมอ และให้แสงสว่างมากพอต่อการใช้งาน ส่วนพื้นที่ที่ต้องการใช้แสงสว่างมากๆในจุดเดียวให้ใช้ท่อนำแสงขนาดใหญ่ และใช้แสงประดิษฐ์ช่วยให้แสงมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น

4.1.7.2 การศึกษาเรื่องขนาดหน้าตัดท่อนำแสงโดย บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ (2552: 14-26) ได้ข้อสรุปว่า ลักษณะของขนาดหน้าตัดที่ใหญ่กว่าจะสามารถนำพาแสงได้ในปริมาณที่มากกว่า หากใช้ร่วมกับส่วนรวมแสงแบบไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์การใช้ส่วนนำพาแสงที่เป็นท่อหน้าตัดวงกลมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบท่อนำแสงนอนได้มากกว่าท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม

4.1.7.3 การศึกษาเรื่องขนาดหน้าตัดท่อนำแสงโดย ภิญโญ ชุมมณี (2549) ได้ข้อสรุปว่า ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.30, 0.40, 0.50 เมตร พบว่าท่อนำแสงที่มีความยาวเท่ากัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าจะมีปริมาณความส่องสว่างที่มากกว่าท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่า

4.1.7.4 การศึกษาเรื่องขนาดหน้าตัดท่อนำแสงโดย ศิวดล อุปพงษ์ และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล (2556: 78-85) ได้ข้อสรุปว่า รูปแบบท่อนำแสงแนวดิ่ง ขนาดหน้าตัดท่อมีผลต่อปริมาณแสงสว่างที่ได้ภายในอาคาร ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าจะมีปริมาณความส่องสว่างที่มากกว่าท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าตามลำดับ

4.1.8 ความยาวท่อนำแสง

การศึกษาเรื่องความยาวท่อนำแสงโดย บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร (2550) ได้ข้อสรุปว่า ท่อนำแสงที่มีขนาดที่สั้นจะให้ปริมาณแสงสว่างที่มากแต่แสงไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอ อาจใช้งานกับแสงประดิษฐ์เพื่อให้แสงสว่างมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น ส่วนท่อที่มีความยาวนั้นมีปริมาณแสงที่ได้น้อยกว่า แต่แสงที่ได้จะมีความสม่ำเสมอมากกว่า

4.1.9 ระยะห่างระหว่างปลายท่อนำแสงและพื้นที่ทำงาน

การศึกษาเรื่องระยะห่างระหว่างปลายท่อนำแสงและพื้นที่ทำงานโดย บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร (2550) ได้ข้อสรุปว่า การติดตั้งท่อนำแสงควรมีระยะห่างที่เหมาะสม เช่น ระยะห่างระหว่างพื้นที่ทำงานกับท่อนำแสงห่างกันมาก ต้องใช้ท่อนำแสงจำนวนมากขึ้น หรือถ้าระยะห่างระหว่างพื้นที่กับท่อนำแสงน้อยเกินไป ต้องลดขนาดท่อนำแสงลงเพื่อให้ได้แสงที่มีความสม่ำเสมอและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1.10 รูปแบบส่วนรวมแสง (Emitter)

4.1.10.1 การศึกษาเรื่องรูปแบบส่วนรวมแสงโดย ภิญโญ ชุมมณี (2549) ได้ข้อสรุปว่า การเลือกรูปแบบโดมรวมแสงที่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์จะมีค่าความส่องสว่างที่มากกว่าโดมรวมแสงแบบธรรมดา และเมื่อนำโดมรวมแสงรูปแบบติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆ 30 – 70 เปอร์เซ็นต์จะช่วยประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างไปได้ถึง 99.3%

4.1.10.2 การศึกษาเรื่องรูปแบบส่วนรวมแสงโดย อดิศา วงษ์ชมพู และคนอื่นๆ (2556) ได้ข้อสรุปว่า เมื่อนำรูปแบบอุปกรณ์รับแสงของท่อนำแสงแนวดิ่งที่ดีที่สุด คือ รูปแบบ Curve มาจำลองในบริเวณปลาย ท่อและมีมุมองศาของแผ่นสะท้อนแสงบริเวณ ช่องรับแสง ค่าการส่องสว่างโดยมีการปรับมุมองศาอุปกรณ์ รับแสงในมุมที่แตกต่างกันทุกๆ 10 องศา ตั้งแต่ มุม 20 - 80 องศา พบว่า มุมองศาที่ก่อให้เกิด ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุด คือ 60องศา คือ 70 องศา และ 80 องศา ซึ่งยังมีค่าที่ต่ำกว่าค่าความส่องสว่างตาม มาตรฐาน CIE ในอาคารจำหน่ายสินค้าซึ่งเป็น พื้นที่จำหน่ายสินค้าทั่วไปซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 500 lx

4.1.10.3 การศึกษาเรื่องรูปแบบส่วนรวมแสงโดย บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ (2553: 14-26) ได้ข้อสรุปว่า การใช้ส่วนรวมแสงแบบที่มีระบบติดตามดวงอาทิตย์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนได้เป็นอย่างมาก เพราะสามารถนำแสงแดดมาใช้ได้ตลอดช่วงกลางวัน แต่จะเพิ่มภาระต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องตามไปด้วย ดังนั้น การเลือกใช้ส่วนรวมแสงแบบไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์เฉพาะช่วงเวลาที่ใช้งานอาจเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่า

4.1.11 วัสดุและค่าการสะท้อนแสงภายในท่อ (Reflectance)

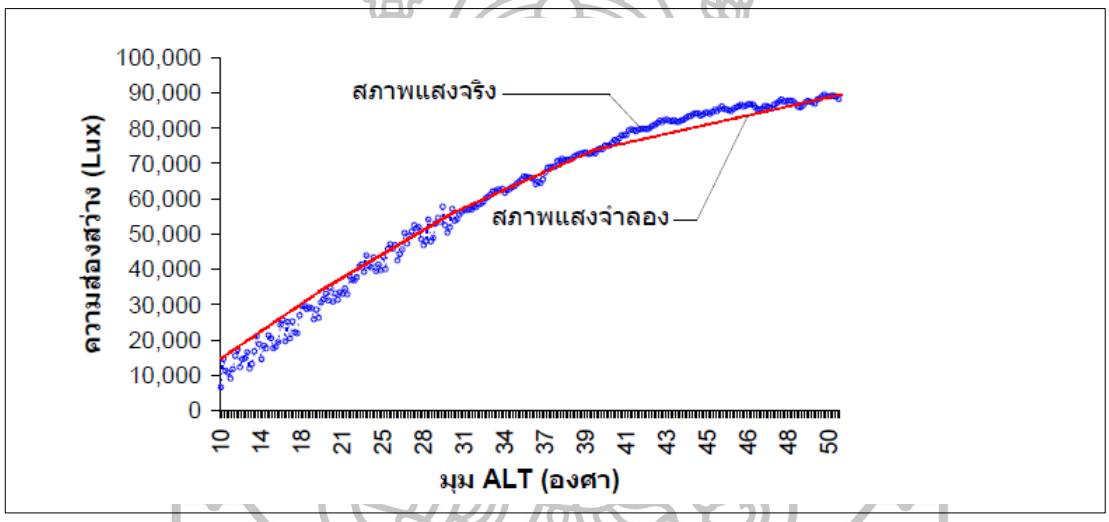
4.1.11.1 การศึกษาเรื่องวัสดุและค่าการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงโดย Hansen (2006: 8) ได้ข้อสรุปว่าลักษณะพื้นผิวภายในท่อควรเป็นผิวเรียบมันวาวเพื่อลดการสูญเสียความเข้มของแสงภายในท่อ โดยค่าการสะท้อแสงภายในท่อขึ้นอยู่กับคุณภาพของท่อนำแสงนั้น โดยปัจจุบันมีการใช้ วัสดุเคลือบท่อนำแสงเพื่อเพิ่มค่าการสะท้อนแสงทำให้ท่อนำแสงมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างเข้าสู่ตัวอาคารที่มากขึ้น เช่น ใช้สาร Silver-Plus เคลือบทำให้ท่อนำแสงสามารถสะท้อนแสงภายในท่อได้ถึง 98% ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าวัสดุที่เป็นเงินผิวขัดมันจะมีค่าการกระจายแสงที่ดีกว่าวัสดุที่เป็นอลูมิเนียม

4.1.11.2 การศึกษาเรื่องวัสดุและค่าการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงโดย Swift and Smith (1994) ได้ข้อสรุปว่า การกระจายแสงที่ดีขึ้นอยู่กับตัวแปรลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุที่นำมาใช้ในท่อนำแสง และจากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าค่าการกระจายแสงที่มุมกระทบผิววัสดุ เท่ากับ 45 องศา วัสดุที่เป็นผิวเงินขัดมันจะมีค่าการกระจายแสงที่ดีกว่าวัสดุที่เป็นอะลูมิเนียม

4.1.11.3 การศึกษาเรื่องวัสดุและค่าการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงโดย Kwok (2011) ได้ข้อสรุปว่า ผลของปริมาณแสงที่ได้ในท่อนำแสง ผิวท่อที่มีการสะท้อนที่มากจะรักษาปริมาณแสงและส่งผ่านสู่ภายในได้มาก และการส่งผ่านปริมาณแสงของท่อจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของมุมองศาดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังท่อนำแสงลดลง

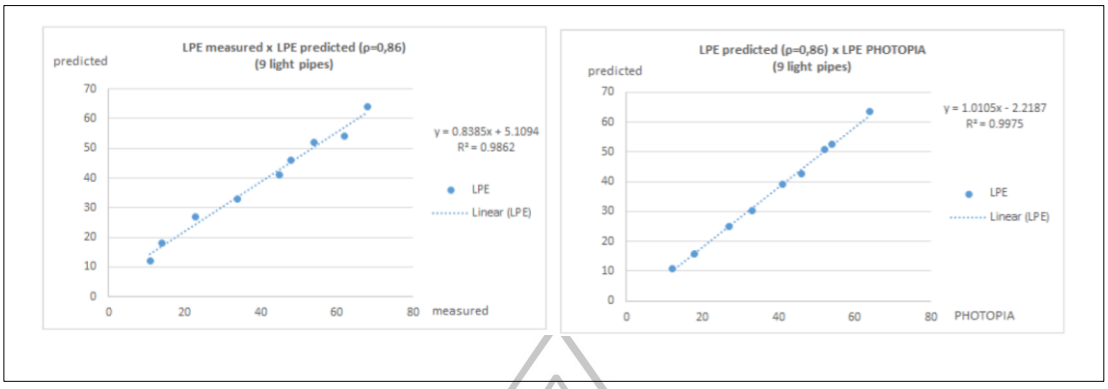
4.1.12 โปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัย

4.1.12.1 การศึกษาเรื่องโปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัยโดย บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ (2552: 14-26) ได้ข้อสรุปว่า การคำนวณด้วยโปรแกรม Photopia 3.0 ภายใต้สภาพแสงจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอน ด้วยการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนเสมือนจริงในคอมพิวเตอร์ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการเก็บข้อมูลภายใต้สภาพแสงจริง ทำให้การศึกษาการพัฒนาเทคนิคการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารสำนักงานด้วยแสงธรรมชาติมีความสะดวกรวดเร็วมากขึ้นดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบข้อมูลจาก สภาพแสงจริงและสภาพแสงจำลอง
ที่มา: บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, “การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน,” **วารสารวิจัยพลังงาน** 7, (กุมภาพันธ์ 2553): 14-26.

4.1.12.2 การศึกษาเรื่องโปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัยโดย Luz and others (2014: 1-8) ได้ข้อสรุปว่า จากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่วัดได้จากหุ่นจำลองในการทดลองท่อนำแสงแนวดิ่ง กับการจำลองผลด้วยโปรแกรม Photopia ผลจากการวิเคราะห์ทำให้เห็นว่าโปรแกรม Photopia เป็นโปรแกรมที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์ความส่องสว่างได้ค่อนข้างแม่นยำ ดังภาพที่ 32

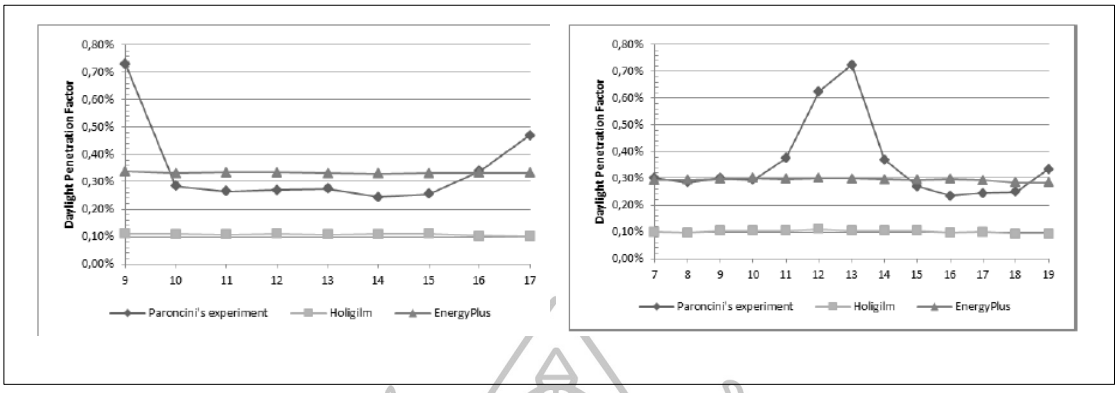


ภาพที่ 32 แสดงผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลอง และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Protopia
ที่มา: Bruna Luz and others, "Empirical and software verification of a simplified predictive model of luminous efficiency of light-pipes," 30th International PLEA Conference, (December 2014): 1-8.

4.1.12.3 การศึกษาเรื่องโปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัยโดย ศิวดล อุปพงษ์ และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล (2556: 78-85) ได้ข้อสรุปว่า โปรแกรม DIALux ที่พัฒนาโดยบริษัทต่างชาติ สูตรที่ ใช้คำนวณจึงใช้สูตรมาตรฐานสากล และตัวโปรแกรมเป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้ได้ทั่วโลก ผลที่ได้จึงเป็นค่ามาตรฐาน ซึ่งใน ความเป็นจริงค่าที่คำนวณได้อาจน้อยกว่าความเป็นจริง เนื่องจาก ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตโซนมีแสงธรรมชาติที่เพียงพอ และมีปริมาณแสงสว่างสูง

4.1.12.4 การศึกษาเรื่องโปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัยโดย ภิญโญชุมมณี (2549) ได้ข้อสรุปว่า โปรแกรม Energy Plus มีความสามารถที่จะใช้งานได้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะใช้กับอาคารขนาดเล็กหรืออาคารขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีศักยภาพในการคำนวณพื้นผิว วัสดุหรือโซนของอาคารได้อย่างไม่จำกัด

4.1.12.5 การศึกษาเรื่องโปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัยโดย Malet and others (2013) ได้ข้อสรุปว่า โปรแกรม Energy Plus เป็นโปรแกรมที่มีความน่าเชื่อถือสูง เป็นที่ยอมรับในระดับสากลโดยได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมระหว่างโปรแกรม Energy Plus และ โปรแกรม Holigilm ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบข้อมูลผลที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus และ โปรแกรม Holigilm
ที่มา: Bruno Malet-Damour and others, “Light pipes performance prediction: inter model and experimental confrontation on vertical circular light-guides,” **Energy Procedia** 1, (2013).

4.1.12.6 การศึกษาเรื่องโปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัยโดย Kwok (2011), jevic (1995), Ward and Shakespeare (1998) ได้ข้อสรุปว่า โปรแกรม Radiance เป็นโปรแกรมที่มีการพัฒนาจน ได้รับการยอมรับจากสถาปนิกและวิศวกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีการคำนวณที่ค่อนข้างแม่นยำและ สามารถคำนวณสภาพการกระจายของแสงที่ซับซ้อนได้ เหมาะกับการนำไปใช้เพื่อพัฒนาในการออกแบบทั้งแสงสว่างประดิษฐ์และแสงสว่างธรรมชาติ รวมไปจนถึงการพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่าง แต่ตัวโปรแกรมก็ยังมีข้อจำกัดในด้านของการสร้างหุ่นจำลอง ในบางรูปแบบไม่สามารถทำได้ในโปรแกรม และบางกรณีในรูปแบบหุ่นจำลองยังปรากฏลอยรั่วของแสงที่ผิดไปจากความเป็นจริง โดยเฉพาะในรูปแบบโค้ง

4.1.12.7 การศึกษาเรื่องโปรแกรมในการทดลองหาค่าความส่องสว่างในงานวิจัยโดย MANKOVÁ and others (2009: 22-30), Mohelnikova (2008: 200-209) ได้ข้อสรุปว่า โปรแกรม Radiance สูตรนี้ได้มีการถูกใช้ในการคำนวณ ประมวลผลประสิทธิภาพค่าของแสงสว่างในโปรแกรม Radiance ซึ่งในงานวิจัยมีการเปรียบเทียบสูตรนี้กับสูตรของ (Swift and Smith, 1995) อีกด้วย ซึ่งผลที่ออกมานั้น Radiance เป็นโปรแกรมที่มีความถูกต้องค่อนข้างสูงเป็นที่ยอมรับและได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในวงการศึกษาด้านแสงสว่าง และได้มีการนำมาทดลองวิเคราะห์ถึงค่าความส่องสว่างของท่อนำแสง โดยผลที่ออกมาสูตรที่ใช้นี้มีความเหมาะสมกับท่อนำแสงแนวดิ่งเป็นอย่างมากดังภาพที่ 34

room	simulation	calculation					
		η_t – Radiance		$\eta_{t,3}$ –eq. (3)		$\eta_{t,4}$ –eq. (4)	
	Epr (lx)	Epr (lx)	dev. (%)	Epr (lx)	dev. (%)	Epr (lx)	dev. (%)
1	104.3	111.1	6.52	113.1	8.44	113.14	8.48
2	290.9	310.7	6.80	350.3	20.40	312.65	7.48
3	54.5	49.6	8.96	50.5	7.27	50.56	7.21

ภาพที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลผลที่ได้จากโปรแกรม Radiance

ที่มา: L. MANKOVÁ, J. HRAŠKA, and M. JANÁK. “Simplified Determination of Indoor Daylight Illumination by Light pipe,” **Slovak journal of Civil engineering 22**, (October 2009): 22-30.

4.1.13 สูตรในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างภายในท่อนำแสง

4.1.13.1 การศึกษาสูตรในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างภายในท่อนำแสงโดย Zastrow and Wittwer (1986) ท่อนำแสงและการส่องผ่านของแสงภายในท่อนำแสง จึงเกิดเป็นทฤษฎีที่สามารถคำนวณปริมาณของแสงที่ส่องผ่านเข้ามายังในท่อนำแสงทรงกระบอกและการสะท้อนโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของวัตถุ มุมองศาที่แสงตกกระทบกับความยาวท่อ และขนาดของหน้าตัดท่อ โดยสูตรนี้ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและได้มีการนำมาพัฒนาสูตรเพื่อปรับใช้ให้เข้ากับการทดลองในรูปแบบต่างๆขึ้นอีกมากมาย

$$T = R^{L\tan\theta/D_{effective}} \quad [11]$$

$$A_D = \pi d/4 \quad [12]$$

โดยที่ T คือ ค่าการส่องผ่านของแสงรวม

R คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของภายในท่อนำแสง (%)

L คือ ความยาวของท่อนำแสง (เมตร)

A_D คือ พื้นที่หน้าตัดท่อนำแสง (ตารางเมตร)

d คือ ขนาดหน้าตัดกว้าง (เมตร)

4.1.13.2 การศึกษาสูตรในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างภายในท่อนำแสงแนวนอนโดย Swift and Smith (1994) ได้ข้อสรุปว่า การคำนวณทางวิธีวิทยาศาสตร์ในการกระจายแสงสว่างได้อย่างแม่นยำโดยวิธีการคำนวณการกระจายแสงที่ดีขึ้นอยู่กับตัวแปรลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุที่นำมาใช้ในท่อนำแสงแนวนอน มีรูปแบบสมการที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการคำนวณหาการกระจายแสงสว่างแต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือ การคำนวณยังไม่คอบคลุมในกรณีของแสงขนานที่เป็นแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct) ผสมกับแสงที่เกิดจากการสะท้อน (Indirect) ภายในท่อซึ่ง สามารถคำนวณได้จากสูตรที่ 13

$$T = \frac{4}{\pi}\int_0^1 \frac{S^2}{\sqrt{d^2-S^2}} \mathrm{R}^{int[\frac{p\tan\theta}{s}]}(1-R)(\frac{ptan\theta}{s} - int\left[\frac{ptan\theta}{s}\right])ds \qquad [13]$$

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{D}} \qquad [14]$$

โดยที่ T คือ ค่าการส่องผ่านของแสงรวม

R คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของภายในท่อนำแสง (%)

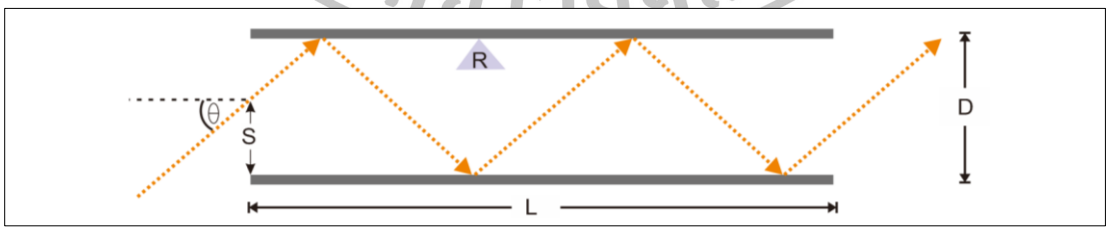
s คือ ระยะจุดที่แสงตกกระทบลงบนท่อนำแสง

θ คือ มุมองศาของการตกกระทบของแสงอาทิตย์มายังท่อนำแสง

P คือ ความยาวของท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

L คือ ความยาวของท่อนำแสง (เมตร)

d คือ ขนาดหน้าตัดกว้าง (เมตร)



ภาพที่ 35 แสงลักษณะท่อนำแสงแนวนอนและ ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

4.1.13.3 การศึกษาสูตรในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างภายในท่อนำแสงโดย Jenkins and Muneer (2005) ได้ข้อสรุปว่า การศึกษาถึงข้อจำกัดต่างๆจึงทำการพัฒนา

สูตรให้เหมาะสมและง่ายต่อการคำนวณ ซึ่งสูตรในการคิดค่าการส่องผ่านของเกิดจากการพัฒนามาจากสูตรการหาค่าฟลักค์ความส่องสว่างของแสงโดยการแทนค่าด้วยค่าคงที่ ดังนี้

$$\emptyset = \mathrm{TE}\pi\mathrm{r}^2 \quad [15]$$

โดยแทนค่าการส่องผ่านของแสง $\mathrm{T} = 0.82\mathrm{e}^{-0.11\mathrm{P}}$ [16]

สูตรที่ได้คือ $$\emptyset = 0.82E_{ex}e^{-0.11\mathrm{P}}\pi r^2 \quad [17]$$

โดยที่ T คือ ค่าการส่องผ่านของแสงรวม

$\emptyset$ คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

E_{ex} คือ ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร (lx)

r คือ รัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง (เมตร)

P คือ ความยาวของท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 12 แสดงสรุปตารางงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

No	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ลักษณะ	ประเภทอาคาร	วิธีการที่ใช้ทดลอง	ที่ตั้ง
1	ภิญโญ ชุมมณี, 2553	ท่อนำแสงแนวนอน	สำนักงาน	วัดค่าจริง, Energy Plus 1.2.2	สงขลา, ประเทศไทย
2	บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร, 2550	ท่อนำแสงแนวนอน	อาคารพักอาศัย	วัดค่าจริง	กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
3	อดิศา วงษ์ชมพู และคณะ, 2556	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	ซุปเปอร์มาเก็ต	DiaLux 4.10	กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
4	บริรักษ์ อินทรกุลไชย, วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 2553	ท่อนำแสงแนวนอน	สำนักงาน	Photopia 3.0	กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
5	ศิวดล อุปพงษ์ , ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2556	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	สำนักงาน	DiaLux 4.9	ขอนแก่น, ประเทศไทย
6	รัฐพล รุญเจริญ, 2542	ท่อนำแสงแนวนอน	อาคารพักอาศัย	simulation	กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
7	Carlo Baroncini, Fabrizio Chella, Paolo Zazzini, 2006	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	อาคารพักอาศัย	simulation	Pescara, Italy

ตารางที่ 12 แสดงสรุปตารางงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

No	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ลักษณะ	ประเภทอาคาร	วิธีการที่ใช้ทดลอง	ที่ตั้ง
8	Lisa Heschong, Heschong Mahone Group HMG, 2003	Sky light	Retail shop	วัดค่าจริง	California, USA
9	Lisa Heschong, Heschong Mahone Group HMG, 2003	ท่อนำแสงหน้าต่าง	โรงเรียน	วัดค่าจริง	California, USA
10	Bruna Luz, Leonardo M. Monteiro, Marcia P. Alucci, 2014	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	Model	Photopia	Sao Paulo, Brazil
11	Veronica Garcia Hansen, 2003	Daylighting system	Model	วัดค่าจริง, matlab	Mendoza, Argentina
12	Spencer Dutton, LiShao, 2007	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	Model	Raytracing	Nottingham, UK
13	B. Malet-Damour a, H. Boyer a, A.H. Fakra a, M. Bojic, 2006	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	Model	Energy Plus	Ancona, Italy
14	L. MANKOVÁ, J. HRAŠKA, M. JANÁK, 2009	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	Model	Radiance	Bratislava, Slovakia

ตารางที่ 12 แสดงสรุปตารางงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

No	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ลักษณะ	ประเภทอาคาร	วิธีการที่ใช้ทดลอง	ที่ตั้ง
15	Kwok Chun Man, 2011	ท่อนำแสงแนวนอน	Model	Radiance	Hong Kong, China
16	Jitka Mohelnikova, 2008	ท่อนำแสงแนวดิ่ง	Model	วัดค่าจริง, Ecotect, Radiance	Veveri, Czech

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้แสงที่มีประสิทธิภาพต่อการใช้งานและ ช่วยในการประหยัดพลังงานในส่วนของไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ ได้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การสำรวจปริมาณแสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

ในการสำรวจค่าปริมาณแสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ภายในกรุงเทพฯ นั้นเพื่อศึกษาถึงลักษณะการให้แสงสว่างภายในส่วนค้าปลีก (Retail stores) ภายในห้างและปริมาณของแสงที่ได้จากการวัดค่าความสว่างจริงในส่วนต่างๆของพื้นที่ใช้งานภายในห้างซึ่งมีขั้นตอนในการสำรวจดังนี้

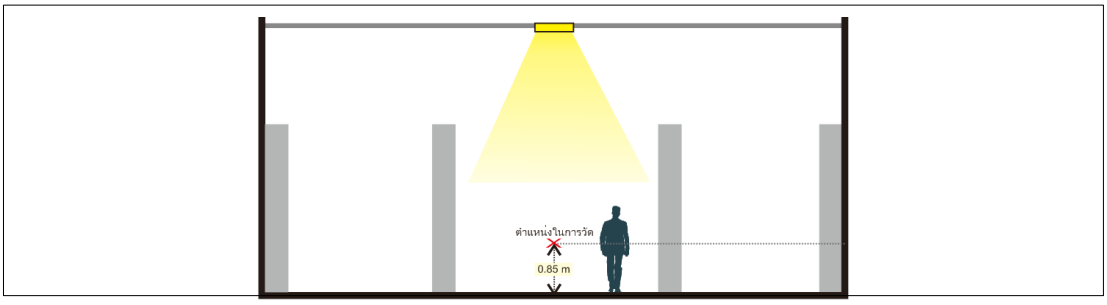
1.1 ขั้นตอนในการสำรวจ

1.1.1 กำหนดประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่จะทำการสำรวจภายในกรุงเทพฯ

1.1.2 กำหนดตำแหน่งประเภทของกิจกรรม ที่จะใช้ในการวัดค่าความสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดค่าความส่องสว่างที่ได้

1.1.3 สำรวจค่าความส่องสว่างด้วยอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความสว่างของแสง โดยใช้เครื่อง Lux meter TESTO 545 (ภาคผนวก ก) ในการเข้าไปวัดถึงประสิทธิภาพความสว่างของแสงในสถานที่จริงโดยการค่าความส่องสว่างจะวางอุปกรณ์ในแนวราบ วัดในระดับ 0.85 เมตร จากระดับพื้น (หรือที่เรียกว่าในระดับ Work plane เพื่อใช้เป็นเกณฑ์เดียวกับการศึกษาวิจัยในขั้นต่อไป)

1.1.4 สรุปผลที่ได้ถึงลักษณะการให้แสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่และปริมาณการให้แสงสว่างในส่วนต่างๆที่ทำการสำรวจ



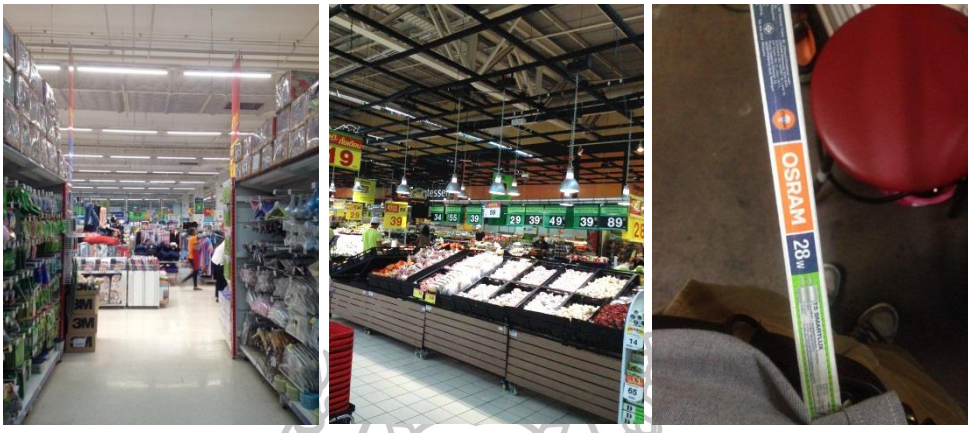
ภาพที่ 36 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าความส่องสว่าง 0.85 เมตร จากระดับพื้น

ตารางที่ 13 สรุปผลการสำรวจค่าความส่องสว่างในแนวระนาบของแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

ตำแหน่ง	อาคารมากกว่า 1 ชั้น						อาคารชั้นเดียว			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
โถงทางเดิน	376	595	559	483	705	205	501	891	1,150	265
โถงภายใน	480	628	710	610	372	676	555	758	637	210
ส่วนบันไดเลื่อน	7,500	548	2,640	510	3,540	1,705	-	-	-	-
Wall shelving (ชั้นติดผนัง)	387	850	596	540	650	710	407	271	-	371
Shelves for bottles (ชั้นวางของแห้ง)	342	510	489	452	633	327	585	604	862	465
Shelves for Vegetables (ชั้นวางผักผลไม้)	580	1,014	1,610	857	1,268	769	1,205	1,590	1,430	332
Bread display (ชั้นวางขนมปัง)	520	969	650	738	773	220	780	911	787	467
Shelf display unit (ตู้โชว์ของ)	1,200	453	1,020	1,619	1,270	1,075	1,560	654	1,669	1,150
Shelf unit with refill aisle (ตู้ปรุงอาหาร)	828	398	619	832	990	535	450	428	457	350
Chest Freezer (ตู้แช่แข็ง)	530	428	615	551	517	788	410	584	1,340	562
Sales counter with screen (ส่วนจ่ายเงิน)	402	419	688	817	733	403	267	994	450	145
ส่วนขายหนังสือ	586	-	891	713	-	506	-	638	-	-
ขนาดพื้นที่	15,500	5,000	13,200	12,000	5,500	5,500	6,750	13,300	10,000	7,200
ความสูงพื้นถึงฝ้าเพดาน	10.00	3.50	3.00	8.00	6.00	6.00	3.50	10.00	5.00	14.00

หมายเหตุ ในส่วนที่ไม่มีการสำรวจ ในส่วนที่มีปริมาณค่าแสงสว่างที่ต่ำกว่าเกณฑ์ (300 - 500lx ตามมาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย)

1.2 สรุปผลการสำรวจค่าความส่องสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่



ภาพที่ 37 แสดงการสำรวจความส่องสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

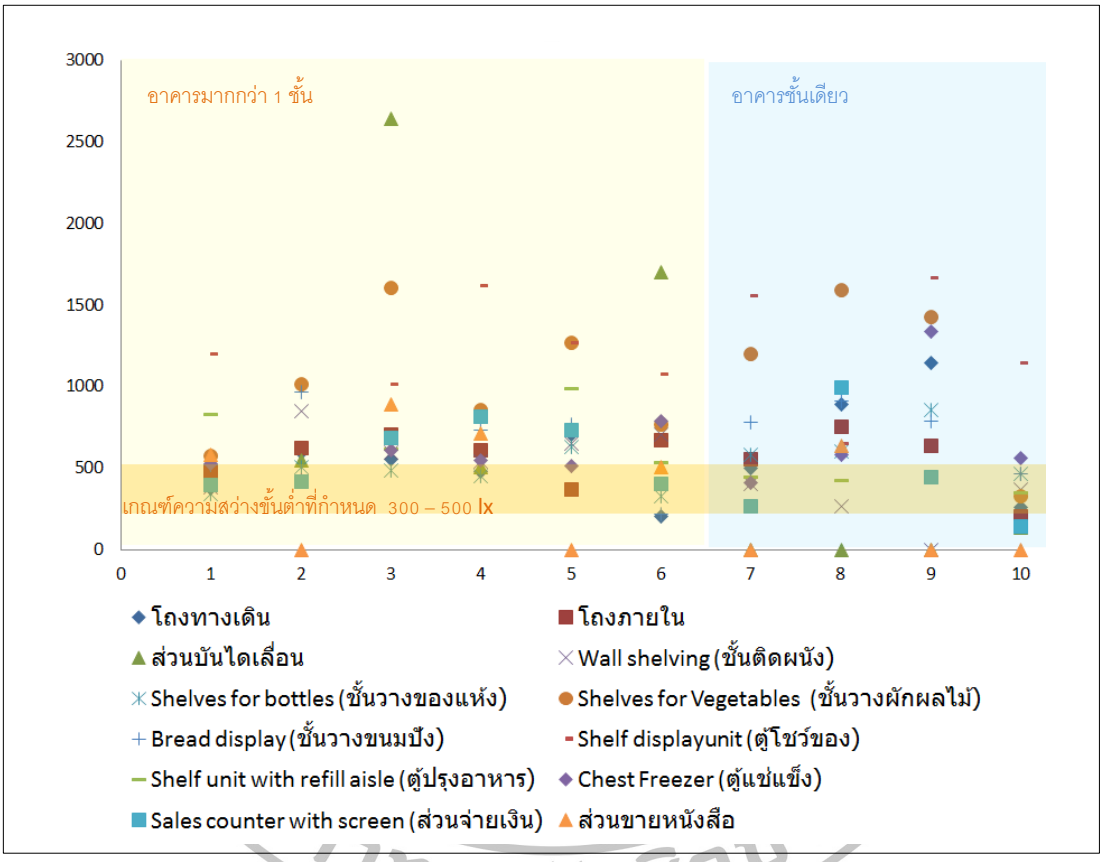
1.2.1 ลักษณะในการติดตั้งระบบแสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

หลอดไฟ LED T5 รางคู่ ติดตั้งสูงจากพื้นอยู่ในระหว่าง 3.50 - 5.00 เมตร เป็นการให้แสงสว่างแบบเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ (General lighting) คือการให้แสงกระจายทั่วไปเท่ากันทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งาน ซึ่งใช้กับการให้แสงสว่างไม่มากเกินไป แสงสว่างดังกล่าวไม่ได้เน้นเรื่องความสวยงามมากนักเน้นประโยชน์ใช้สอยเป็นหลักของห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ และได้มีการจัดดวงโคมเพื่อเน้นเฉพาะจุดสำคัญ (Effect Lighting) คือการให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการเท่านั้น เพื่อเป็นการเน้นและประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ต้องให้สม่ำเสมอเหมือนการให้แสงสว่างแบบเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ โดยภายในห้างค้าปลีกจะใช้แสงสว่างเป็นลักษณะส่องตามจุดต่างๆ เช่น ในส่วนของอาหารสด ในส่วนของชั้นวางหรือตู้โชว์ที่ต้องการเน้นให้มีความสว่างเป็นพิเศษ และบางอาคารได้มีการใช้แสงธรรมชาติบริเวณหน้าต่างกรอบอาคาร ในส่วนทางเดิน บันไดเลื่อนและ บางอาคารได้มีการติดตั้งหลังคาลอนโปร่งแสงเพื่อให้ความสว่างภายในแต่นอกจากแสงสว่างแล้วยังสัมผัสได้ถึงความร้อนที่เข้ามาโดยตรงทำให้ เพิ่มภาระให้กับการทำงานของเครื่องปรับอากาศเป็นอย่างมาก

1.2.3 ปริมาณของแสงสว่างที่ได้รับภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

ที่ได้จากการสำรวจ โดยค่าแสงเฉลี่ยทั่วทั้งบริเวณ (General lighting) ที่จะมีค่าที่ 300-1,000 lx (ภาพที่ 38) ซึ่งมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ (มาตรฐานในการออกแบบแสงสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย) ในครั้งนี้ค่าของแสงที่วัดได้อาจได้รับอิทธิพลของแสงประดับตกแต่งเข้ามาเสริมด้วย ในส่วนที่มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้จะมีค่าความส่องสว่างที่เกิน 1,000 lx ส่งผลให้ภายในห้างดูโปร่งโล่งแม้แสงสว่างมาขึ้นอย่างไรก็ไม่สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้ เนื่องจากได้มีการเปิดไฟฟ้าส่องสว่างจำนวนเท่าเดิม อีกทั้งยังนำเอาความร้อนเข้ามาสู่ภายใน

อาคารอีกด้วย เพราะเหตุนี้ในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่บางรายจึงได้มีการออกแบบให้มีช่องเปิดเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาน้อยที่สุด และจากการวัดค่าความส่องสว่างจะมีเพียงห้างค้าปลีกบางรายเท่านั้นที่มีค่าความส่องสว่างที่น้อยกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจเพราะเป็นความต้องการของเจ้าของกิจการเองที่ต้องการจัดบรรยากาศภายในให้มีแสงไฟที่สลัวตามแนวความคิดในการออกแบบและเพื่อประหยัดพลังงานลดภาระของค่าไฟฟ้า



ภาพที่ 38 กราฟค่าความส่องสว่างที่วัดค่าได้ภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ ในกรุงเทพฯ

โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นการคำนวณเพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่เป็นหลัก (General lighting) ในการเทียบกับค่าเกณฑ์ความส่องสว่างที่ได้มีการกำหนดไว้ในข้างต้น

2 การศึกษานำร่อง

การทดลองนำร่องทำขึ้นเพื่อศึกษาวิธีการต่างๆ ในการประเมินความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ที่ได้จากท่อนำแสง เพื่อเลือกหาวิธีการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความใกล้เคียงและคลาดเคลื่อนกับข้อมูลที่ได้จากการวัดในสถานที่จริงมากที่สุด โดยจะแบ่งขั้นตอนเบื้องต้นออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

2.1 การกำหนดอาคารต้นแบบและวัดค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริง

ที่ได้มีการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่งที่ใช้งานอยู่ในกรุงเทพฯ

2.2 หาค่าความส่องสว่างโดยการนำอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติ

โดยในที่นี้ใช้เครื่อง Lux meter TESTO 545 ในการเข้าไปวัดถึงประสิทธิภาพความสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่งในสถานที่จริง

2.3 ศึกษาวิธีการหาค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสง

คำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์, การคำนวณด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างกับการวัดค่าจริงในสถานที่จริงดังนี้

2.3.1 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

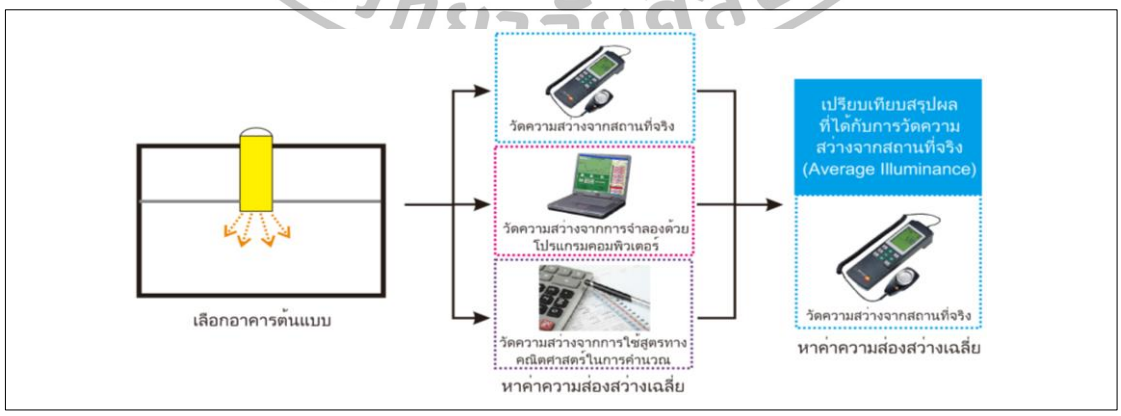
หาค่าความส่องสว่างโดยการจำลองขนาดห้อง ขนาดท่อนำแสง รูปแบบการติดตั้งและตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อความส่องสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่ง ลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance)

2.3.2 การใช้สูตรคำนวณ

โดยนำตัวแปรที่เกี่ยวข้อง จากขนาดห้อง ขนาดท่อนำแสง รูปแบบการติดตั้งและตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อความส่องสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่ง มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance)

2.4 สรุปเปรียบเทียบถึงผลลัพธ์ที่ได้

การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ด้วยวิธีใดมีความแม่นยำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการวัดความส่องสว่างในสถานที่จริง



ภาพที่ 39 แผนภาพแสดงสรุปขั้นตอนการทดลองกลุ่มย่อยก่อนการวิจัย

2.1 การกำหนดอาคารต้นแบบและวัดค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริง

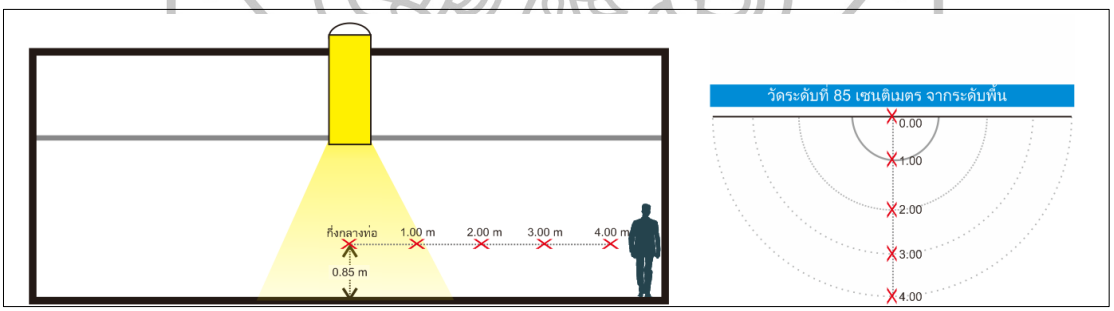
โดยการเลือกและวิเคราะห์หาอาคารที่จะมาเป็นอาคารต้นแบบในการทดลองกลุ่มย่อยนั้นนอกจากการลงพื้นที่เพื่อสำรวจแล้ว ยังได้มีการวัดค่าความส่องสว่างจากท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่งที่นำมาติดตั้งเพื่อใช้งานจริง จากสถานที่จริง และอุปกรณ์ในการวัดค่าความส่องสว่างคือ Lux meter TESTO 545 (ภาพที่ 40) โดยจะแบ่งขั้นตอนการวัดเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ

2.1.1 วัดค่าความส่องสว่างจากสภาพท้องฟ้าภายนอกอาคาร

2.1.2 วัดค่าความส่องสว่างจากท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคาร

โดยจะมีการกำหนดระยะการวัดคือ วัดในระดับความสูงจากพื้น 0.85 เมตร (วางอุปกรณ์สำหรับวัดแนวราบ) โดยวัดจากกึ่งกลางของท่อนำแสง และถอยออกจากท่อนำแสงเป็นระยะ 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 เมตร ตามลำดับ

ภาพที่ 40 แสดงอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความส่องสว่าง (Lux meter TESTO 545)



ภาพที่ 41 แสดงรูปตัดและ แปลนระยะในการวัดค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงในอาคารต้นแบบ

2.2 หาค่าความส่องสว่างโดยการนำอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติ

ในการเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ ได้มีการศึกษาข้อมูลและ เลือกอาคารที่ได้มีการติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่งในกรุงเทพฯ ที่มีการใช้งานจริง นำมาวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง โดยอาคารที่ได้มีการลงพื้นที่เพื่อสำรวจประกอบด้วย 4 อาคารดังนี้

2.2.1 ห้องสมุดป๋วย อึ๊งภากรณ์ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต)

2.2.2 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

2.2.3 อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ (ปทุมธานี)

2.2.4 อาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร (เขตบางนา)

2.2.1 สำรวจค่าความส่องสว่างที่ได้รับจากการใช้ท่อนำแสงภายในอาคารห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต)

2.2.1.1 สถานที่ : พื้นที่โถงต้อนรับภายใน ห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์ มหาวิทยาธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ถนนพหลโยธิน เขตรังสิต กรุงเทพฯ 12110 (ดังภาพที่ 42)

2.2.1.2 สภาพท้องฟ้า: มีเมฆกว่า 70% แสงสว่างภายนอกวัดได้ 36,034 lx

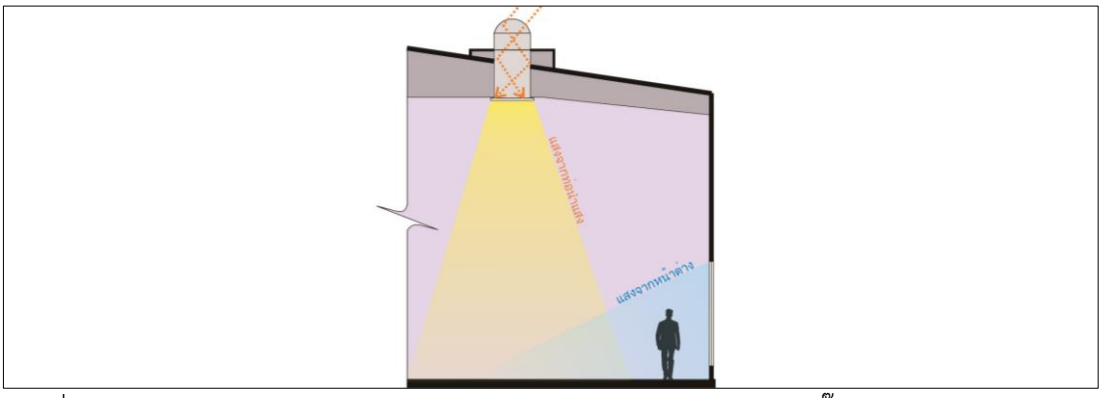
2.2.1.3 ความสูงของระยะการติดตั้งท่อนำแสง: 7.00 เมตร (ดังภาพที่ 44)

2.2.1.4 ขนาดพื้นที่: 30 x 50 = 1,500 ตารางเมตร

2.2.1.5 การให้แสงสว่างภายในอาคาร: ขณะที่วัดมีการใช้แสงจากท่อนำแสงเท่านั้นไม่มีการเปิดหลอดไฟแสงประดิษฐ์ช่วย มีเพียงแต่แสงธรรมชาติจากหน้าต่างบานเปิดเท่านั้น โดยวัดค่าได้ 289 lx (เนื่องจากมีต้นไม้ให้ร่มเงาโดยรอบ)

2.2.1.6 ตำแหน่งติดตั้งท่อนำแสง: บริเวณหลังคาส่วนโถงต้อนรับของอาคาร

ภาพที่ 42 แสดงลักษณะของอาคารและภายในโถงต้อนรับห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์

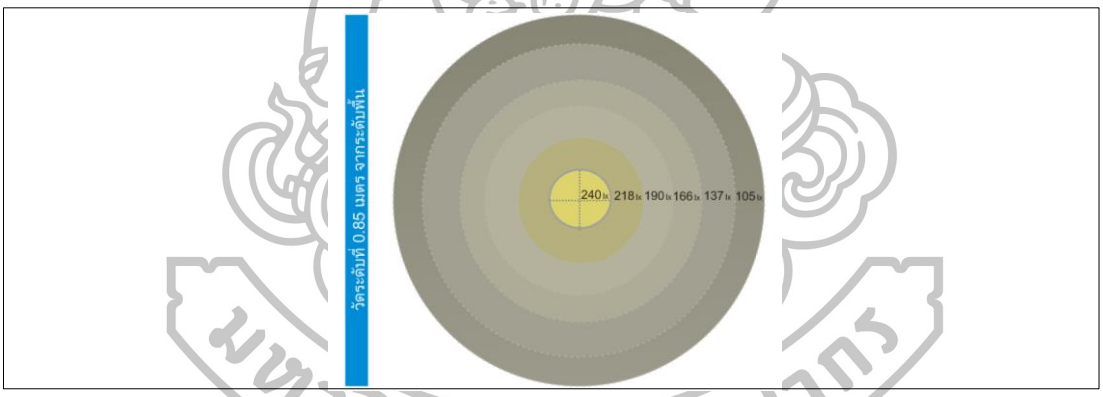


ภาพที่ 43 แสดงการให้ผ่านแสงท่อนำแสงและหน้าต่างภายในห้องสมุดป๋วยอึ๊งภากรณ์

โดยผลที่ได้จากการวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องสมุดป่วยอึ๊งภากรณ์มีผลดังตารางที่ 14 และเปรียบเทียบเป็นภาพที่ 44

ตารางที่ 14 แสดงการสำรวจค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้องสมุดป่วยอึ๊งภากรณ์

ระยะการวัดค่าความสว่าง	วัดระดับ 0.85 เมตรจากระดับพื้น	
	(lx)	DF (%)
จุดกึ่งกลางท่อนำแสง	240	0.67
ห่างจากท่อนำแสง 1 เมตร	218	0.60
ห่างจากท่อนำแสง 2 เมตร	190	0.53
ห่างจากท่อนำแสง 3 เมตร	166	0.46
ห่างจากท่อนำแสง 4 เมตร	137	0.38
ห่างจากท่อนำแสง 5 เมตร	105	0.29



ภาพที่ 44 แสดงระดับค่าความสว่างท่อนำแสงภายในห้องสมุดป่วยอึ๊งภากรณ์

2.2.2 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

2.2.2.1 สถานที่: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) 99/8 ซอยงามดูพลี ถนนพระรามสี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 (ดังภาพที่ 45)

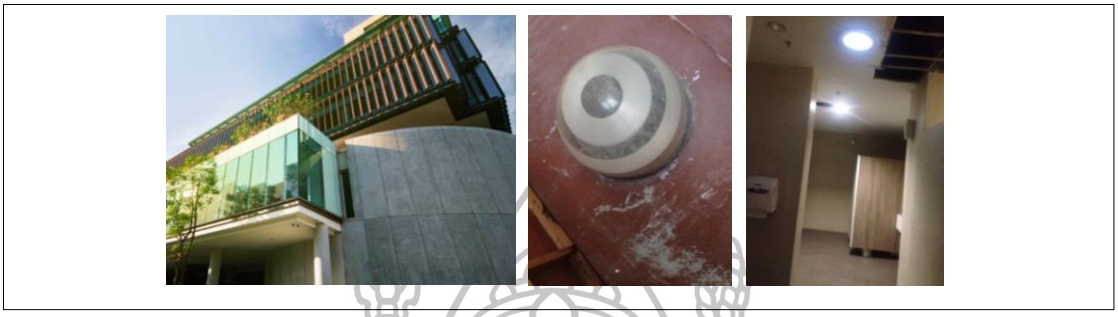
2.2.2.2 สภาพท้องฟ้า: มีเมฆน้อยประมาณ 30% แสงสว่างจากภายนอกอาคารวัดได้ 57,000 lx ค่าความส่องสว่างก่อนเข้าสู่ท่อนำแสงโดยมีหลังคาปกคลุมวัดได้ 2,879 lx

2.2.2.3 ความสูงของระยะการติดตั้งท่อนำแสง: 3.00 เมตร (ดังภาพที่ 47)

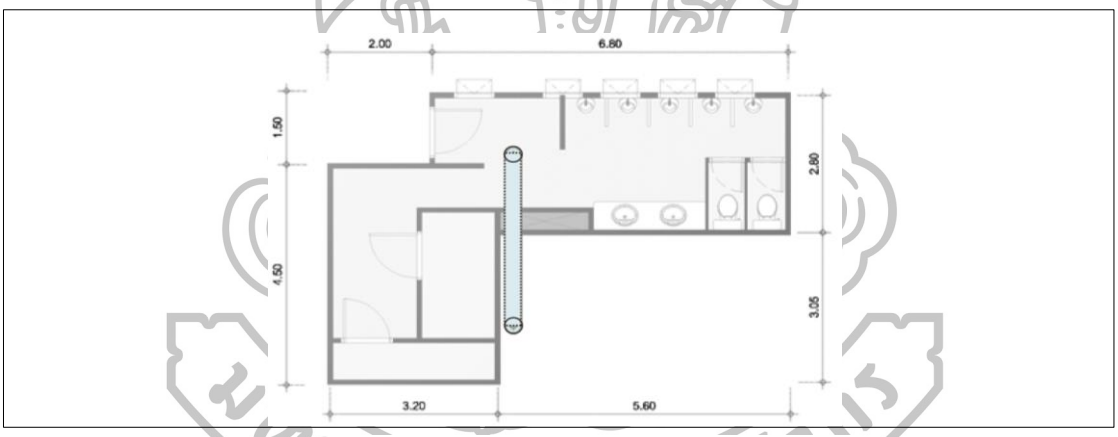
2.2.2.4 ขนาดพื้นที่: 32 ตารางเมตร (ดังภาพที่ 47)

2.2.2.5 การให้แสงสว่างภายใน: มีการติดตั้งดวงไฟดาวไลท์ภายในห้องน้ำ

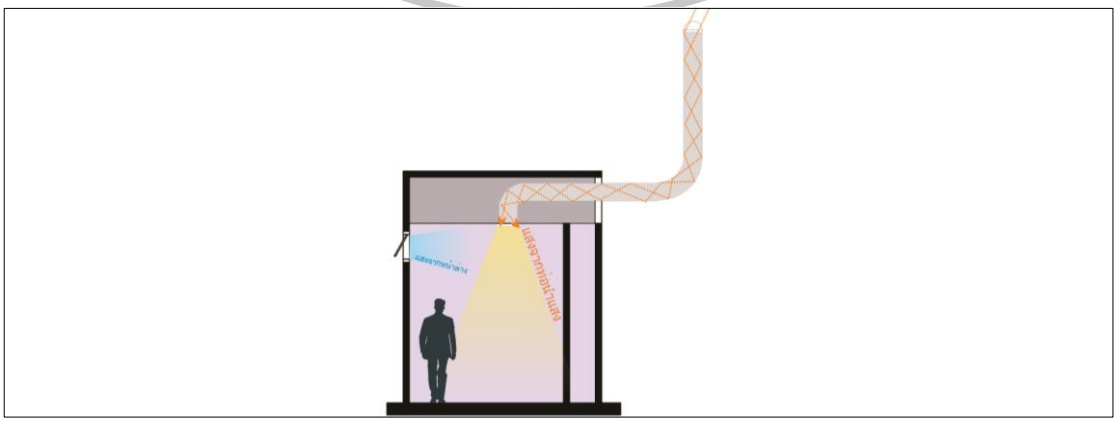
2.2.2.6 ตำแหน่งที่ติดตั้งท่อนำแสง: ท่อนำแสงได้ถูกติดตั้งในชั้นที่ 1 ซึ่งอยู่ภายในอาคารมีร่มเงาของอาคารบดบังแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง และส่วนโดมรับแสงมีลักษณะฝุ่นจับซึ่งมีผลต่อการให้แสงสว่างภายในอาคารของท่อนำแสงโดยตรง



ภาพที่ 45 แสดงภาพลักษณะของอาคารและ ภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)



ภาพที่ 46 แสดงแปลนห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)



ภาพที่ 47 แสดงการให้ผ่านแสงท่อนำแสงและหน้าต่างภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

โดยผลที่ได้จากการวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) มีผลดังตารางที่ 15 และเปรียบเทียบเป็นภาพที่ 48

ตารางที่ 15 แสดงค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ

ตำแหน่งการวัด	วัดระดับ 0.85 เมตรจากระดับพื้น	
	lx	DF %
ค่าความส่องสว่างภายในจากกึ่งกลางท่อ	13	0.45
ค่าความส่องสว่างภายในจากระยะ 1เมตร	7	0.24
ค่าความส่องสว่างภายในจากระยะ 2เมตร	3	0.10

ภาพที่ 48 แสดงระดับค่าความสว่างท่อนำแสงภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ

2.2.3 อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

2.2.3.1 สถานที่ : ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 (ดังภาพที่ 49)

2.2.3.2 สภาพท้องฟ้า : มีเมฆน้อยประมาณ 30% แสงสว่างจากภายนอกวัดได้ 61,000 lx

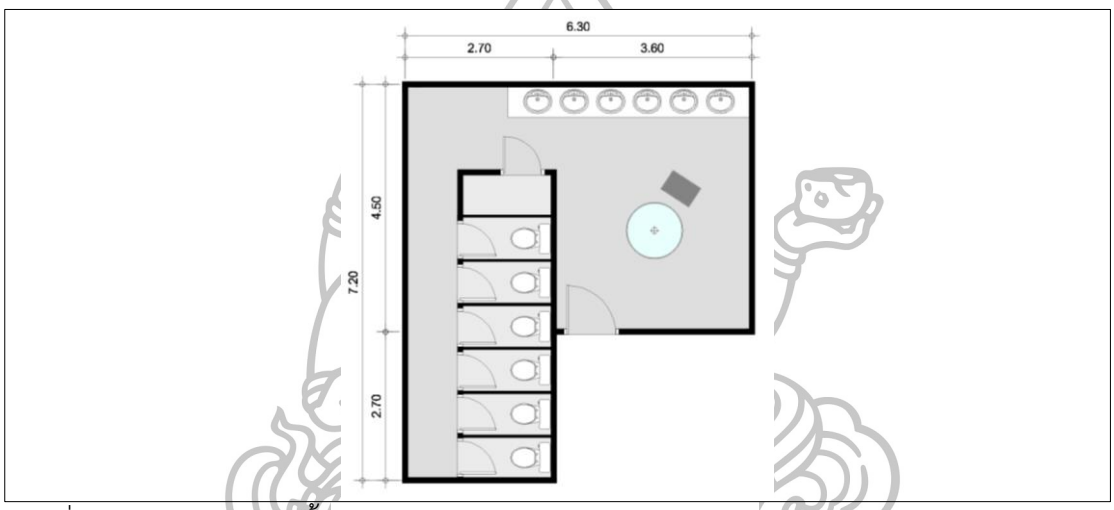
2.2.3.3 ความสูงของระยะการติดตั้งท่อนำแสง : 3.00 เมตร (ดังภาพที่ 51)

2.2.3.4 ขนาดพื้นที่ : 36 ตารางเมตร (ดังภาพที่ 50)

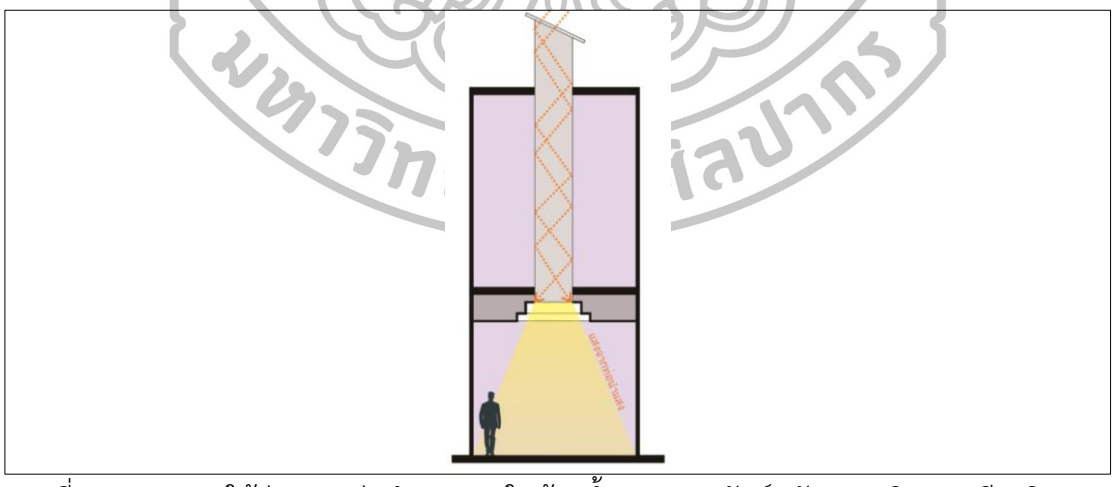
2.2.3.5 การให้แสงสว่างภายใน : มีการติดตั้งดวงไฟดาวไลท์และ ท่อนำแสงธรรมชาติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.10 เมตร ยาว 8.40 เมตร

2.2.3.6 ตำแหน่งที่ติดตั้งท่อนำแสง : บริเวณส่วนโถงกึ่งกลางห้องน้ำ

ภาพที่ 49 แสดงอาคารและ ท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ



ภาพที่ 50 แสดงแปลนห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

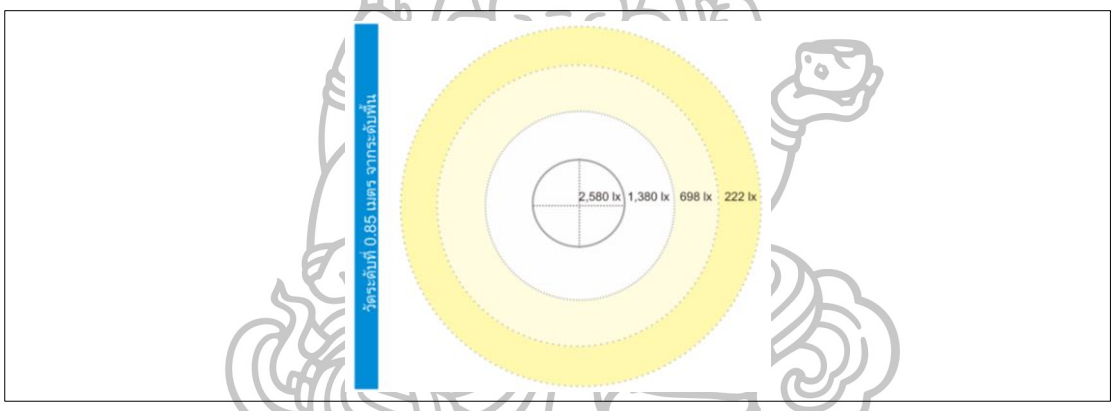


ภาพที่ 51 แสดงการให้ผ่านแสงท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

โดยผลที่ได้จากการวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องน้ำสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) มีผลดังตารางที่ 16 และเปรียบเทียบเป็นภาพที่ 52

ตารางที่ 16 แสดงค่าความส่องสว่าง ท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

ระยะการวัดค่าความสว่าง (ขณะปิดไฟ)	วัดระดับ 0.85 เมตรจากระดับพื้น	
	lx	DF %
จุดกึ่งกลางท่อนำแสง	2,580	4.23
ห่างจากท่อนำแสง 1 เมตร	1,380	2.26
ห่างจากท่อนำแสง 2 เมตร	698	1.14
ห่างจากท่อนำแสง 3 เมตร	222	0.36



ภาพที่ 52 แสดงระดับค่าความสว่างท่อนำแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

2.2.4 อาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร

2.2.4.1 สถานที่: อาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร กรมอุตสาหกรรมทหาร เขตบางนา กรุงเทพฯ 10300 (ดังภาพที่ 53)

2.2.4.2 สภาพท้องฟ้า: มีเมฆมากกว่า 70% แสงสว่างจากภายนอกอาคารที่วัดได้ 50,820 lx

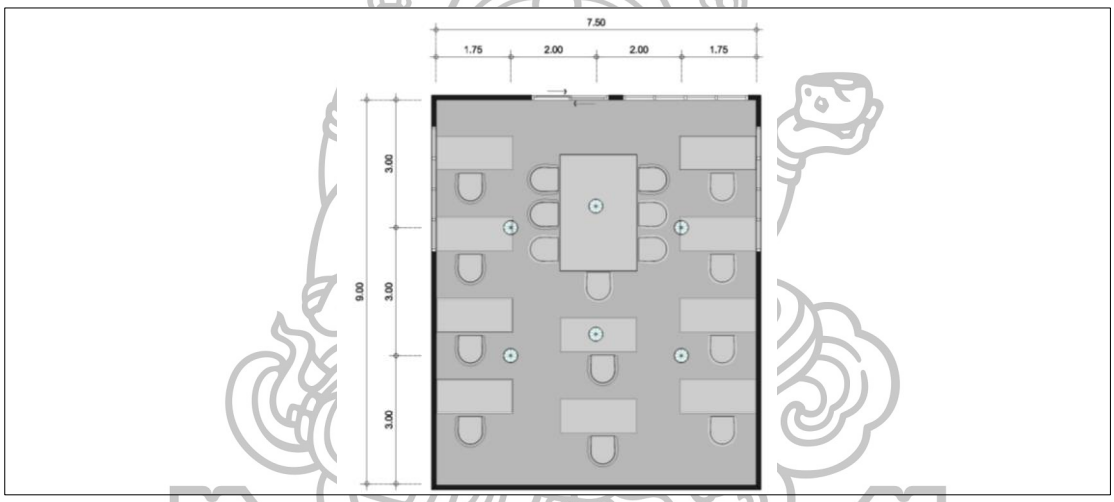
2.2.4.3 ความสูงของระยะการติดตั้งท่อนำแสง: 2.50 เมตร (ดังภาพที่ 55)

2.2.4.4 ขนาดพื้นที่: 4.50 x 6.00 เมตร รวม 27 ตารางเมตร(ดังภาพที่ 54)

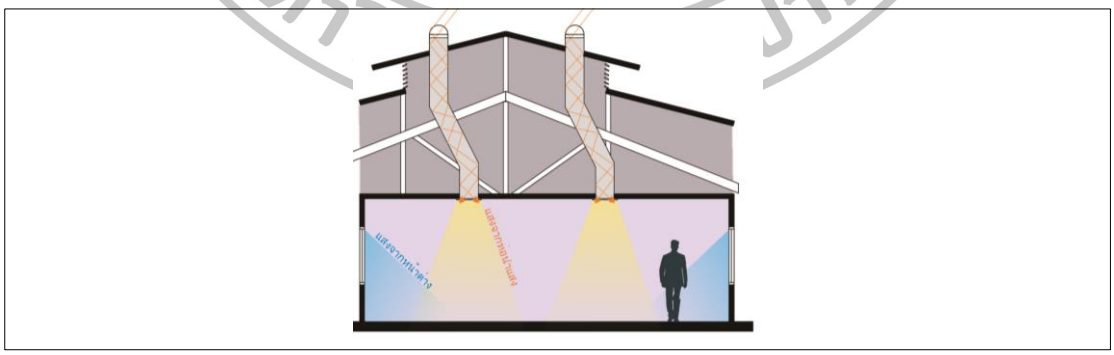
2.2.4.5 การให้แสงสว่างภายใน: ใช้ความสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และแสงสว่างจากภายนอกอาคารโดยภายในห้องมีการติดตั้งกระจกบานเลื่อนโดยรอบ

2.2.4.6 ตำแหน่งที่ติดตั้งท่อนำแสง: ท่อนำแสงบริเวณทั่วห้องจำนวน 6 จุด

ภาพที่ 53 แสดงภาพถ่ายลักษณะอาคารและ ท่อนำแสงภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร



ภาพที่ 54 แสดงแปลนภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร

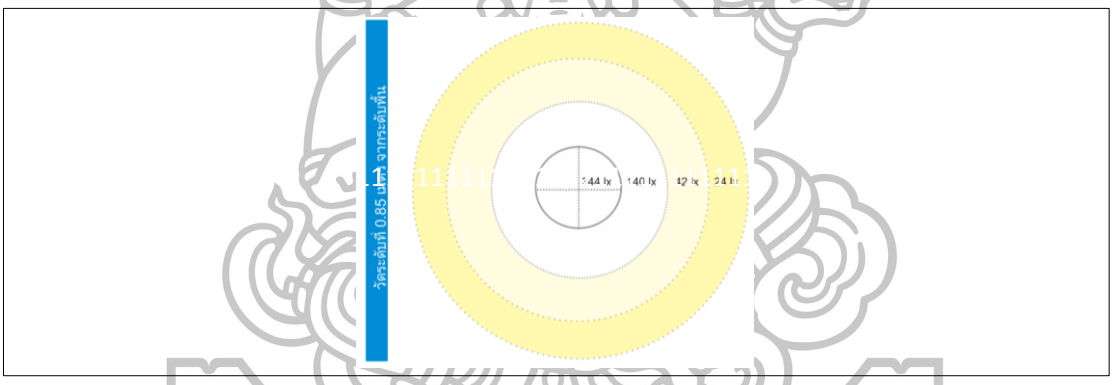


ภาพที่ 55 แสดงการให้แสงผ่านท่อนำแสงและหน้าต่างภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร

โดยผลที่ได้จากการวัดค่าความส่องสว่างภายในสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร มีผลดังตารางที่ 17 และเปรียบเทียบเป็นภาพที่ 56

ตารางที่ 17 แสดงการสำรวจค่าความสว่างท่อนำแสงภายในสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร

ระยะการวัดค่าความสว่าง	ระดับ 0.85 เมตรจากระดับพื้น	
	lx	DF%
จุดกึ่งกลางท่อนำแสง	344	0.68
ห่างจากท่อนำแสง 0.50 เมตร	265	0.52
ห่างจากท่อนำแสง 1.00 เมตร	140	0.28
ห่างจากท่อนำแสง 1.50 เมตร	72	0.14
ห่างจากท่อนำแสง 2.00 เมตร	42	0.08
ห่างจากท่อนำแสง 2.50 เมตร	26	0.05
ห่างจากท่อนำแสง 3.00 เมตร	24	0.05



ภาพที่ 56 แสดงระดับค่าความสว่างท่อนำแสงภายในส่วนสำนักงานอาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร

2.2.5 สรุปผลการวิเคราะห์เพื่อหาอาคารต้นแบบ

ตารางที่ 18 แสดงตารางการวิเคราะห์เพื่อสรุปหาอาคารต้นแบบ

ปัจจัยที่มีผลการวิเคราะห์	ห้องสมุดป๋วย อึ๊งภากรณ์ (มหาวิทยาธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต)	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ	อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ	อาคารโรงงานแบตเตอรี่ทหาร
1. ลักษณะของอาคารที่ติดตั้งท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่ง	เป็นอาคารที่มีช่วงกว้างที่มีการติดตั้งท่อนำแสงเป็นจำนวนมากทำให้ยากต่อการวิเคราะห์แสงสว่าง	ติดตั้งท่อนำแสงเดี่ยวภายในห้องซึ่งมีความเหมาะสมในการจำลอง	ติดตั้งท่อนำแสงเดี่ยวภายในห้องซึ่งมีความเหมาะสมในการจำลอง	เป็นอาคารที่มีช่วงกว้างที่มีการติดตั้งท่อนำแสงเป็นจำนวนมากทำให้ยากต่อการวิเคราะห์แสงสว่าง
2. ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการคำนวณหาความส่องสว่างของแสง	มีช่องเปิดในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาจึงไม่เหมาะในการนำมาเป็นอาคารต้นแบบ	มีการติดตั้งส่วนรับแสงของท่อนำแสงอยู่ภายใต้หลังคาของอาคารจึงทำให้ไม่สามารถใช้ประสิทธิภาพของท่อนำแสงได้อย่างเต็มที่	มีความเหมาะสมเนื่องจากไม่มีการรับแสงธรรมชาติจากภายนอก และลักษณะการติดตั้งมีความเหมาะสมสามารถใช้ประสิทธิภาพจากท่อนำแสงได้อย่างเต็มที่	มีช่องเปิดในการนำแสงธรรมชาติเข้ามา จึงไม่เหมาะในการนำมาเป็นอาคารต้นแบบ
3. ลักษณะท่อของท่อนำแสงธรรมชาติที่ใกล้เคียงกับรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยงานวิจัย	เป็นที่นำแสงที่เป็นท่อตรงมีความเหมาะสมและตรงตามรูปแบบที่ใช้ในการวิจัย	เป็นท่อนำแสงที่มีการหักโค้งให้เข้าสู่ตัวห้องทำให้ประสิทธิภาพของแสงที่ได้ลดลงและไม่ตรงตามรูปแบบในงานวิจัย	เป็นที่นำแสงที่เป็นท่อตรงมีความเหมาะสมและตรงตามรูปแบบที่ใช้ในการวิจัย	เป็นท่อนำแสงที่มีการหักโค้งให้เข้าสู่ตัวห้องทำให้ประสิทธิภาพของแสงที่ได้ลดลงและไม่ตรงตามรูปแบบในงานวิจัย

หมายเหตุ : มีความเหมาะสมในการเป็นอาคารต้นแบบ

ไม่มีความเหมาะสมในการเป็นอาคารต้นแบบ

2.3 ศึกษาวิธีการหาค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสง

เมื่อสรุปผลการวิเคราะห์อาคารต้นแบบ อาคารที่มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นอาคารต้นแบบที่จะใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประเมินความส่องสว่างเฉลี่ยจากท่อนำแสงคือ อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ ภายในบริเวณห้องน้ำที่ได้มีการติดตั้งท่อนำแสงแนวดิ่ง ซึ่งมีความเหมาะสมทั้งปัจจัยภายนอกและ ปัจจัยภายในทำให้สามารถคำนวณหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่ง ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

2.3.1 การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย

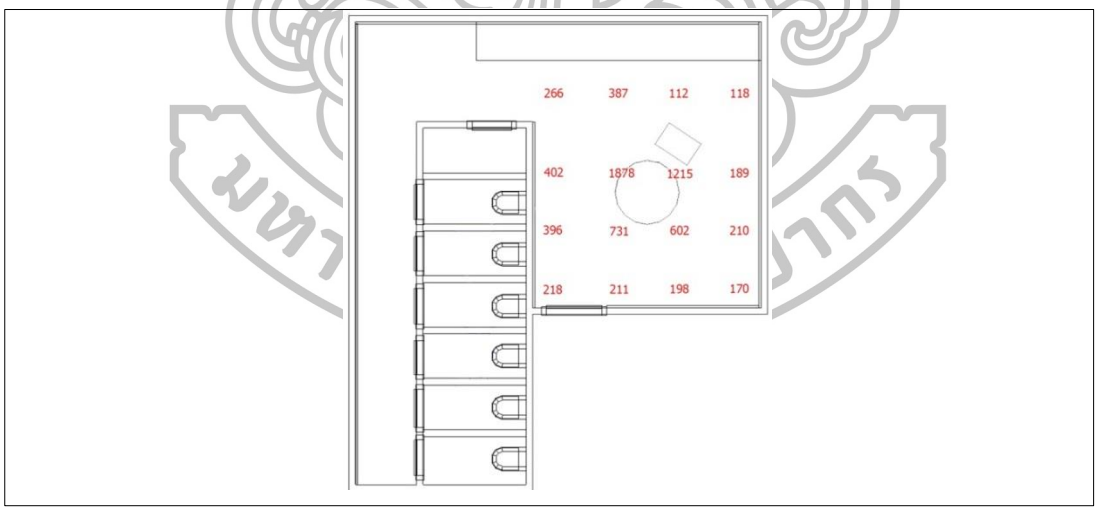
การหาความส่องสว่างเฉลี่ยด้วย Lux meter ภายในห้องน้ำที่มีการติดตั้งท่อนำแสงของอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 กำหนดจุดในการวัดค่าความส่องสว่างทั้งหมด 16 จุดเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ (General Lighting) ดังภาพที่ 57

2.3.1.2 วัดแสงในระดับที่สูงจากพื้น 0.85 เมตร (Work plane)

2.3.1.3 ทำการวัดในวันที่ 28 กรกฎาคม 2558 เวลา 16.30น.

2.3.1.4 สภาพท้องฟ้ามีเมฆประมาณ 30 - 70% แสงสว่างจากภายนอกอาคารที่วัดได้ 58,800 lx



ภาพที่ 57 แสดงจุดในการวัดค่าความส่องสว่างระดับสูงจากพื้น 0.85 เมตร

จากการวัดค่าทำให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย 456.44 lx

2.3.2 การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่เลือกใช้คือโปรแกรม DiaLUX evo 5.1 เนื่องจากเป็นโปรแกรมสากลที่มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในทั่วโลก ทั้งในการออกแบบแสงสว่างและการวิจัยด้านแสงสว่างโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.2.1 กำหนดสถานที่ตั้ง จังหวัดกรุงเทพฯ ตำแหน่งละติจูด 13.45 องศาเหนือและลองจิจูด 100.31 องศาตะวันออก

2.3.2.2 ขนาดห้องจำลองตามรูปแบบห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ โดยมีวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงดังตารางที่ 19 ห้องตัวอย่างห้องตัวอย่างจำลองที่ทำโดยโปรแกรม Dialux evo 5.1 แสดงไว้ในภาพที่ 58

2.3.2.3 กำหนดขนาดท่อนำแสงแนวดิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.10 เมตร และใช้ความยาวท่อขนาด 8.40 เมตร (ตามรูปแบบการติดตั้งจริงภายในอาคาร)

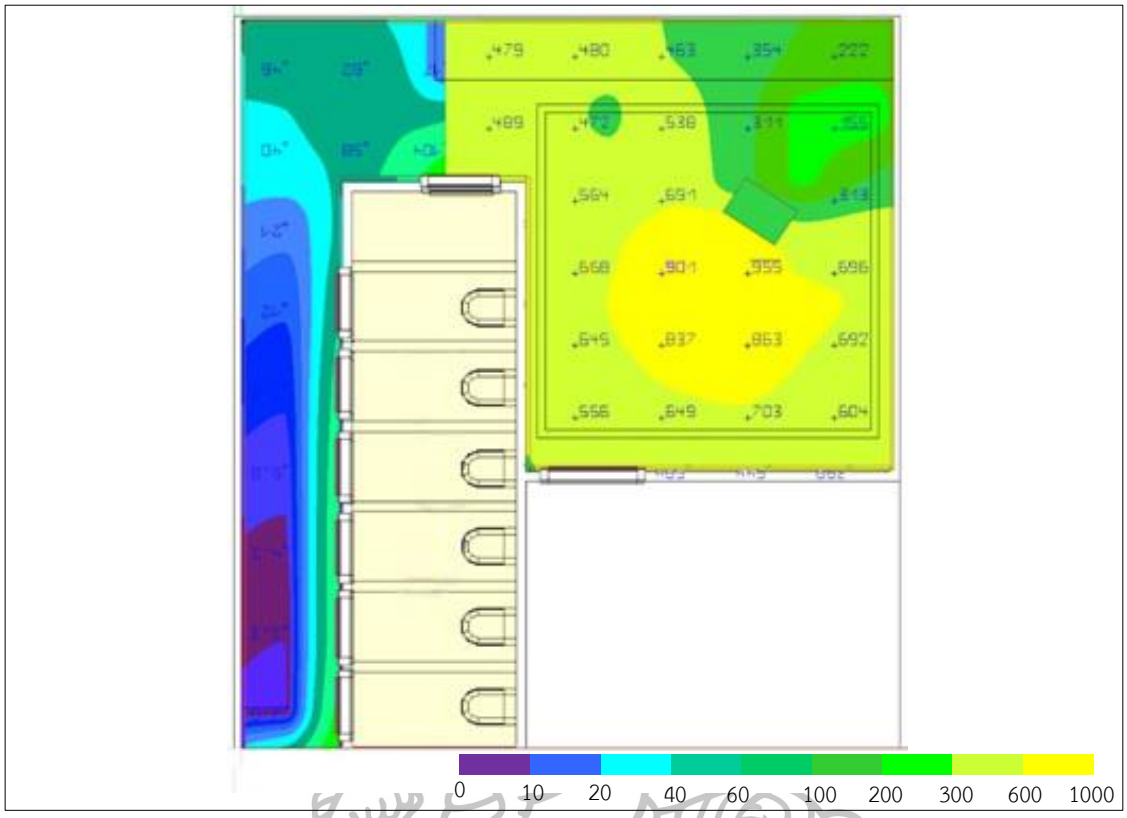
2.3.2.4 โดยวัดแสงในระดับที่สูงจากพื้น 0.85 เมตร (Work plane)

2.3.2.5 โดยทำการคำนวณแสงที่ได้ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2558 เวลา 16.30น. และ สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆประมาณ 30 - 70% (Average Sky)

ตารางที่ 19 แสดงวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux evo 5.1

พื้นผิว	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R)
พื้นผิวท่อนำแสง	95%
พื้นผิวเพดาน	70%
พื้นผิวผนังทั้ง 4 ด้าน	50%
พื้นผิวพื้นห้อง	20%

ภาพที่ 58 แสดงห้องจำลองตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในโปรแกรม DiaLUX evo 5.1



ภาพที่ 59 แสดงความส่องสว่างที่ได้จากห้องจำลองตัวอย่างในโปรแกรม DiaLUX evo 5.1

จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Dialux evo 5.1 ทำให้ได้ค่าความส่องสว่างดังภาพที่ 59 ซึ่งมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ย 572 lx

2.3.3 การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงด้วยการคำนวณสูตรทางคณิตศาสตร์

โดยขั้นตอนแรกนั้นจะทำการเปรียบเทียบสูตรที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) เพื่อ โดยจะแบ่งการคิดคำนวณออกเป็น 2 กรณีในตัวแปรเดียวกันโดยกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องและขั้นตอนการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งหมดภายในอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 วัดในระดับที่สูงจากพื้น 0.85 เมตร (Work plane)

2.3.3.2 คำนวณแสงในวันที่ 28 กรกฎาคม 2558 เวลา 16.30น.

2.3.3.3 แสงสว่างจากภายนอกวัดได้ 58,800 lx

2.3.3.4 ขนาดห้องตามรูปแบบห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

2.3.3.5 โดยขนาดท่อนำแสงแนวดิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.10 เมตร และความยาวท่อขนาด 8.40 เมตร (ตามรูปแบบการติดตั้งจริงภายในอาคาร)

2.3.3.6 โดยทำการคำนวณแสงที่ได้ในระดับที่สูงจากพื้น 0.85 เมตร

ตารางที่ 20 แสดงวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ใช้ในการคำนวณสูตรทางคณิตศาสตร์

พื้นผิว	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R)
พื้นผิวท่อนำแสง	95%
พื้นผิวเพดาน	70%
พื้นผิวผนังทั้ง 4 ด้าน	50%
พื้นผิวพื้นห้อง	20%

2.3.3.1 การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยโดยอ้างอิงสูตรของ Jenkins and Muneer (2005)

<u>กรณีที่ 1</u> นำข้อมูลสภาพอากาศมาคำนวณหาผลรวมการส่องผ่านของท่อนำแสงและ ฟลักซ์ส่องสว่างของท่อนำแสง เพื่อนำมาหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายหลัง โดยอ้างอิงสูตรของ Jenkins and Muneer (2005)

$$\tau = 0.82e^{-0.11A}$$ โดยมี luminous flux $$\emptyset = \tau E \pi r^2$$

$$\emptyset = 0.82E_{ex}e^{-0.11A}\pi r^2$$

$$E_{pr} = \frac{n.\emptyset.UF.MF}{A}$$

ภาพที่ 60 แสดงขั้นตอนการใช้สูตรกรณีที่ 1 เพื่อคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในอาคาร

คำนวณคำนวณหาผลรวมการส่องผ่านของแสงโดยใช้สูตร $\tau = 0.82e^{-0.11A}$

โดยค่า A = $\frac{l}{d}$ = $\frac{8.40}{1.10}$ = 7.64

$$\tau = \quad 0.82e^{-0.11(7.64)}$$
$$\tau = \quad \mathbf{0.354}$$

คำนวณหาค่าฟลักซ์ความส่องสว่างภายในท่อนำแสงโดยใช้สูตร $\emptyset = \tau E \pi r^2$

$$\emptyset = \quad \mathbf{(0.354)\ (58{,}800)\ (3.14)\ (0.3025)}$$

$$\emptyset = \quad \mathbf{19{,}781.49\ lumen}$$

คำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในอาคารโดยใช้สูตร

$$E_{pr} = \frac{n.\emptyset.UF.MF}{A}$$

ตารางที่ 21 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้คำนวณ
ความยาวของท่อนำแสง	(l)	8.40 m.
ขนาดหน้าตัดกว้าง	(d)	1.10 m.
จำนวนของท่อนำแสงที่ติดตั้งภายในอาคาร	(n)	1
ค่าฟลักซ์ความส่องสว่างภายในท่อนำแสง	(Ø)	19,781.49 lumen
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Utilization Factor)	(UF)	0.49
ค่าการบำรุงรักษาในระดับความสะอาดปานกลาง (maintenance factor)	(MF)	0.72
ขนาดของพื้นที่ห้องจำลอง	(A)	16.20

$$E_{pr} = \quad \frac{(1)(19{,}781.49)(0.49)(0.72)}{16.20}$$
$$E_{pr} = \quad \mathbf{430.79\ lx}$$

จากการคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยโดยอ้างอิงสูตรของ Jenkins and Muneer (2005) ทำให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย 430.79 lx

2.3.3.2 การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยโดยอ้างอิงสูตรของ Zastrow and Wittwer (1986)

กรณีที่ 2 คำนวณคำนวณหาผลรวมการส่องผ่านของแสงโดยใช้สูตร เพื่อนำตัวแปรที่ได้มาคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) โดยอ้างอิงสูตร Zastrow and Wittwer, 1986

$$\tau = \rho^{int\frac{l\tan\theta}{d}}$$

$$E_{pr} = \frac{n.E_{ex}.A_d.\tau.UF.MF}{A}$$

ภาพที่ 61 แสดงขั้นตอนการใช้สูตรกรณีที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในอาคาร

คำนวณคำนวณหาผลรวมการส่องผ่านของแสงโดยใช้สูตร $\tau = \rho^{int\frac{l\tan\theta}{d}}$

$$n_t = 0.95^{int\frac{8.4\tan 69.65}{1.10}}$$

$$n_t = 0.36$$

คำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) จากสูตร

$$E_{pr} = \frac{n.E_{ex}.A_d.\tau.UF.MF}{A}$$

ตารางที่ 22 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้คำนวณ
จำนวนของท่อนำแสงที่ติดตั้งภายในอาคาร	(n)	1
ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารที่วัดได้	(E_{ex})	58,800 lx
พื้นที่ของหน้าตัดท่อนำแสงขนาด 1.10 เมตร	(Ad)	0.95
ความยาวท่อนำแสง	(l)	8.40 m.
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Utilization Factor)	(UF)	0.49
ค่าการบำรุงรักษาในระดับความสะอาดปานกลาง (maintenance factor)	(MF)	0.72
ขนาดของพื้นที่ห้องจำลอง	(A)	16.20

$$E_{pr} = \frac{(1)(58{,}800)(0.95)(0.36)(0.49)(0.72)}{16.2}$$

$$E_{pr} = \mathbf{437.94\ lx}$$

จากการคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยโดยอ้างอิงสูตรของ Zastrow and Wittwer (1986) ทำให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย 437.94 lx

2.4 สรุปเปรียบเทียบถึงผลลัพธ์ที่ได้

เปรียบเทียบถึงผลลัพธ์ที่ออกมาถึง การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ด้วยวิธีใดมีความแม่นยำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการวัดความส่องสว่างในสถานที่จริง สรุปการเปรียบเทียบสูตรในการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ดังนี้

กรณีที่ 1 $E_{pr} = \frac{n.\emptyset.UF.MF}{A}$ = **430.79 lx**

กรณีที่ 2 $E_{pr} = \frac{n.E_{ex}.A_d.\tau.UF.MF}{A}$ = **437.94 lx**

ทำให้เห็นได้ว่าจากการใช้สูตรในการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ทั้ง 2 กรณีมีความใกล้เคียงกันมากต่างกันเพียงแค่ 1.6 % เท่านั้น

2.4.1 สรุปการเปรียบเทียบข้อมูล

ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของแสงภายในห้องน้ำอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ Lux meter, การคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DiaLUX evo 5.1 และการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยโดยใช้สูตร เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้โดยใช้วิธีการวัดค่าแสงจากสถานที่จริงด้วย Lux meter ดังตารางที่ 22 ปรากฏว่าวิธีการคำนวณหาค่าความส่องสว่างของแสงที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะนำมาใช้ในขั้นต่อไปของงานวิจัยคือ วิธีการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ของท่อนำแสงโดยใช้สูตรตามกรณีที่ 2 เนื่องจาก มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมือ Lux meter อยู่ในระดับที่น้อย และสูตรที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณนั้นเป็นสูตรที่ได้มีการยอมรับและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายและได้มีการพัฒนาสูตรดังกล่าวเข้ามาใช้ในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบทั้ง 2 สูตรโดยการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) เกิดจากการนำตัวแปรที่เกี่ยวข้องแทนค่าลงไปในสูตรเพื่อหา

ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่อพื้น ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วสูตรที่ใช้ทั้ง 2 กรณีมีความคล้ายคลึงกัน ต่างกันเพียงขั้นตอนและ การคำนวณหาผลรวมการส่องผ่านของแสง (Transmission) เพียงเท่านั้น ซึ่งในกรณีแรกใช้สูตรที่มีการพัฒนาโดย Zastrow and Wittwer (1986) ส่วนกรณีที่ 2 มีการพัฒนาโดย David Jenkins and Tariq Muneer (2003) ซึ่งทั้ง 2 สูตรได้มีข้อจำกัดที่ต่างกัน ในครั้งนี้จึงได้นำเอาสูตรที่มีข้อจำกัดที่ต่างกันทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบละเพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มีความแม่นยำที่สุด โดยใช้การเทียบจากการวัดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยจากสถานที่จริง จากอาคารตัวอย่างที่ได้มีการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวดิ่งต่อไป

ตารางที่ 23 แสดงตารางการเปรียบเทียบในวิธีการหาข้อมูล

วิธีการคำนวณข้อมูล	จากการวัดด้วย Lux meter	DiaLUX evo 5.1	การคำนวณด้วยสูตร	
			กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย	456.44 lx	550.00 lx	430.79 lx	437.94 lx
ค่าความต่างเมื่อเทียบกับการวัดด้วย Lux meter	-	20.49 %	5.62 %	4.05 %

3. การทดลองงานวิจัย

3.1 ลักษณะของอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ใช้ในการวิจัย

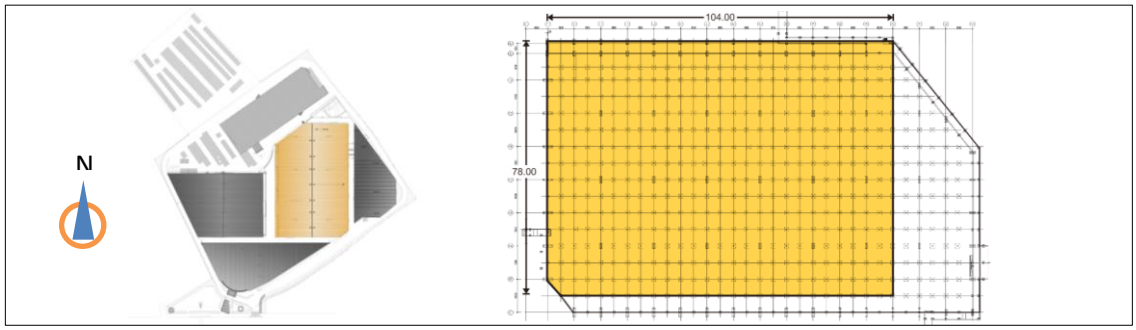
โดยการวิจัยได้มีการคัดเลือกอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ภายในกรุงเทพฯ เพื่อสำรวจถึงข้อจำกัด ของพื้นที่ ระดับความสูงของอาคารตัวอย่าง เพื่อใช้ในศึกษาถึงปริมาณแสงสว่างที่ใช้งานจริงของอาคารตัวอย่างห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ภายในกรุงเทพฯและเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมของรูปแบบการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารว่ามีความเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ โดยอาคารตัวอย่างมีลักษณะดังนี้

3.1.1 ลักษณะทางสถาปัตยกรรม

เป็นอาคารเดี่ยว ชั้นเดียว ที่มีช่วงเสา 8.00 – 10.00 เมตร ซึ่งงานวิจัยจะนำเฉพาะในส่วนค้าปลีก (Retail Stores) มาใช้ในการวิเคราะห์เท่านั้น

3.1.2 พื้นที่อาคาร

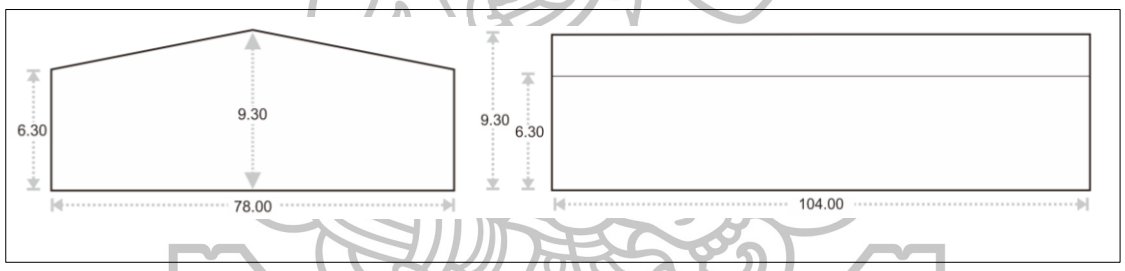
78 x 104 เมตร พื้นที่รวม 8,112 ตารางเมตร ดังภาพที่ 62



ภาพที่ 62 แสดงผังของอาคารและ แปลนของอาคารที่ใช้ในการวิจัย

3.1.3 ระดับความสูงอาคาร

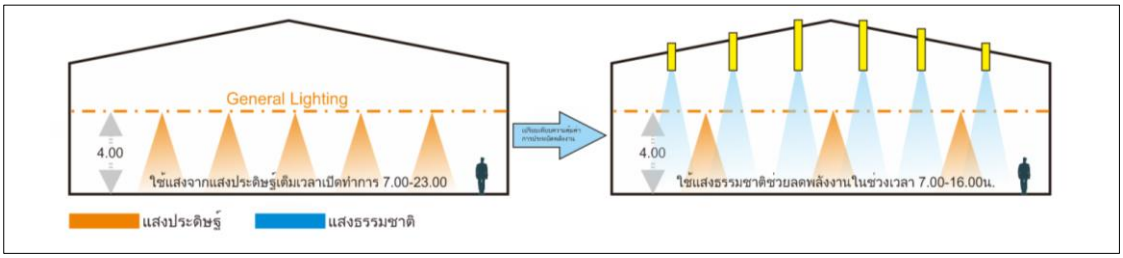
มีลักษณะเป็นหลังคาจั่ว โดยระดับสูงสุดอยู่ที่ 6.30 - 9.30 เมตร ดังภาพที่ 63 เมื่อวัดจากระดับพื้นภายในอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานรูปแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งมากที่สุดดังนั้นในการคำนวณค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงที่ได้จะเกิดจากการคิดระดับความยาวท่อที่เท่ากันทั่วทั้งอาคารตามรูปแบบการทดลองนั้นๆ



ภาพที่ 63 รูปตัดแสดงระดับความสูงของอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร

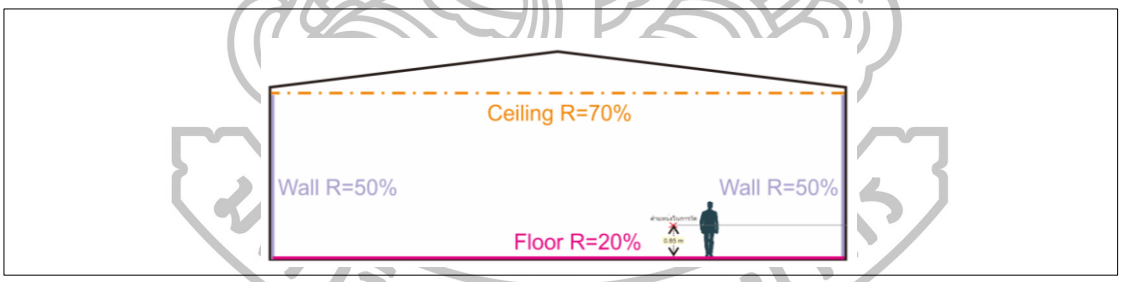
ภายในอาคารได้มีการใช้หลอด T5 Osram 28 W รางคู่ สำหรับเป็นไฟฟ้าส่องสว่างทั่วทั้งพื้นที่ (General Light) และได้มีการเปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 9.00 – 23.00 น. ของทุกวันแต่ช่วงก่อนระยะเวลาเปิดทำการได้มีการตรวจตราความเรียบร้อยของพนักงานจึงมีระยะเวลาในการเปิดระบบไฟฟ้าส่องสว่างตั้งแต่เวลา 7.00 – 23.30 น. ซึ่งในการวิจัยจะคิดระยะเวลาในการชดเชยแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟด้วยแสงธรรมชาติจากท่อนำแสงตั้งแต่เวลา 7.00 – 18.00 น. เพื่อใช้ในการคิดคำควณถึงพลังงานที่ประหยัดได้ ดังภาพที่ 64



ภาพที่ 64 ภาพลักษณะการติดตั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่างและท่อนำแสงในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

3.1.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor)

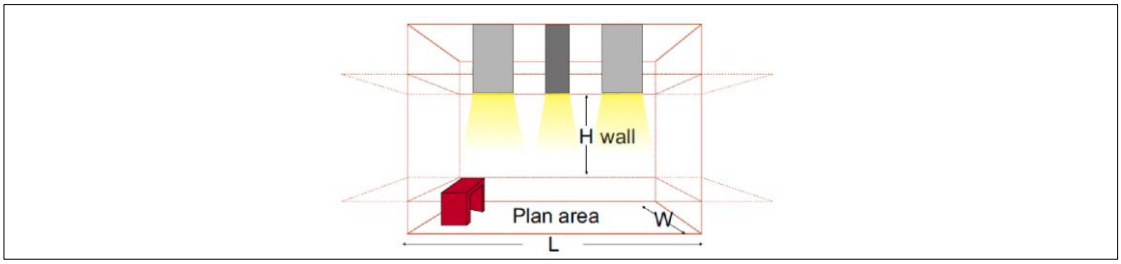
ในครั้งนี้จะคิดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร จาก 2 ส่วนที่มีผลโดยตรงคือ จากตำแหน่งการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติ (แหล่งกำเนิดแสง) โดยคิดจากส่วนปลายท่อนำแสง (ส่วนกระจายแสง) ถึงระดับที่ใช้วัดค่าความส่องสว่าง 0.85 เมตรจากระดับพื้นภายในอาคาร อีกส่วนคือ ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องห้องภายใน คิดจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงส่วน พื้น, ผนังและ ฝ้าภายในอาคารดังภาพที่ 65 โดยลักษณะพื้นภายในอาคารตัวอย่างนั้นได้มีการปูกระเบื้องสีครีม และส่วนผนังทาสีขาวโดยพื้นที่ผนังส่วนใหญ่จะถูกบดบังไปด้วยชั้นวางสินค้า และในส่วนของหลังคาไม่มีฝ้าเป็นลักษณะโชว์งานระบบต่างๆ มีวิธีการคำนวณดังนี้



ภาพที่ 65 แสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องห้องภายในอาคารและ ระยะในการวัดค่าความส่องสว่างที่ 0.85 เมตร

3.1.5.1 นำค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องห้องภายในอาคารมาคำนวณเพื่อหาค่า Room Index โดยการคิดจากสูตร และสามารถเปรียบเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor) ในตารางที่ 20

$$\text{Room Index} = \frac{\text{L x W}}{\text{H(L + W)}} \qquad [18]$$



ภาพที่ 66 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการคิดค่า Room Index

ตารางที่ 24 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้คำนวณ
ในกรณีนี้ความยาวของห้อง	L	104 m.
ในกรณีนี้ความกว้างของห้อง	W	78 m.
ในกรณีนี้คือระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับพื้นที่วัดแสง	H	$(l_{(pipe)} + 0.85) - 9.30$
ในกรณีนี้ความยาวท่อนำแสง	l	8.40 m.

ตารางที่ 25 ตารางค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor)

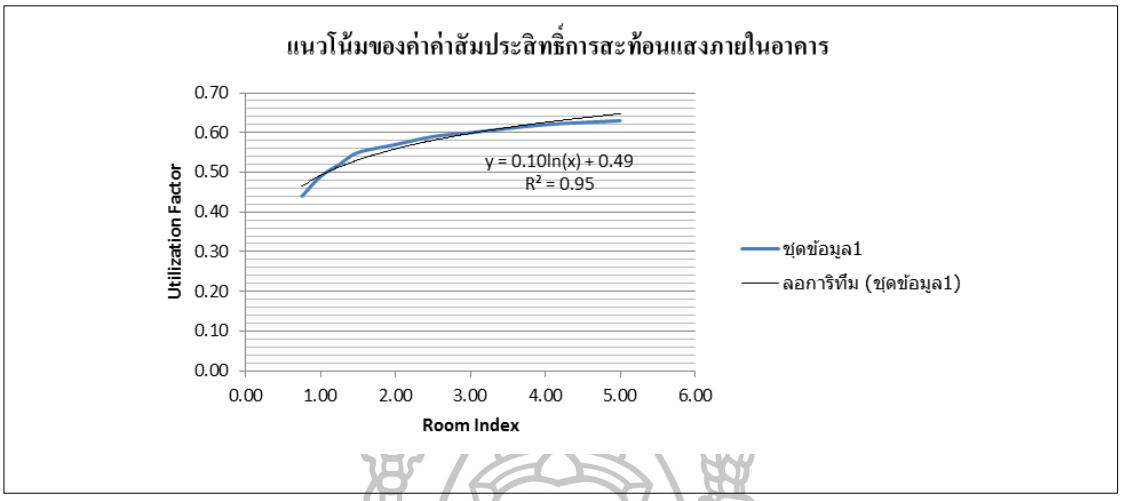
Utilization Factor Table											
Room Reflectance			Room Index								
Ceiling	Wall	Floor	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00
	0.50		0.44	0.49	0.52	0.55	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63
0.70	0.30	0.20	0.41	0.46	0.50	0.52	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62
	0.10		0.39	0.44	0.48	0.50	0.53	0.56	0.57	0.59	0.61

ที่มา: Future Designs, **Lighting Guide Design,** เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, เข้าถึงได้จาก www.futuredesigns.co.uk

เนื่องจากตารางค่า Room Index ที่คำนวณได้จะมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดให้ในตาราง งานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงแนวโน้มของอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Room Index ต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor) โดยวิธีการ Regression ทำให้ได้ความสัมพันธ์ของค่า Utilization Factor และค่า Room Index ดังสมการที่ 19

$$Y = 0.10\ln(x) + 0.49 \qquad [19]$$

ซึ่งดังสมการนี้สามารถอธิบายค่า Utilization Factor ได้ถึง 95% โดย R^2=0.95 ดังภาพที่ 67



ภาพที่ 67 แสดงแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor)

ตารางที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor) ที่ใช้ในการทดลอง

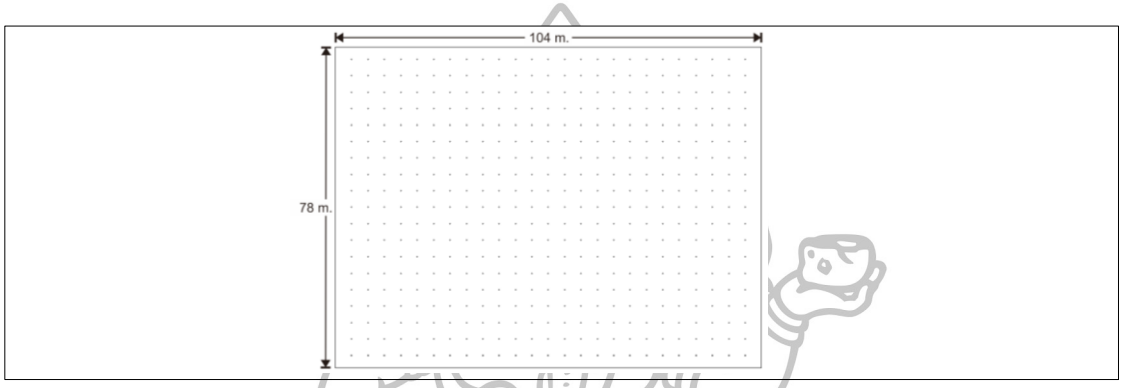
ความยาวท่อนำแสง	Room Index	Utilization Factor
1.00	5.98	0.66
1.50	6.41	0.67
2.00	6.91	0.68
2.50	7.49	0.69
3.00	8.18	0.69
3.50	9.00	0.70
4.00	10.02	0.71
4.50	11.28	0.73
5.00	12.92	0.74
5.50	15.11	0.75
6.00	18.19	0.77

3.2 รูปแบบการทดลอง

3.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดหน้าตัดท่อ และความยาวของท่อนำแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

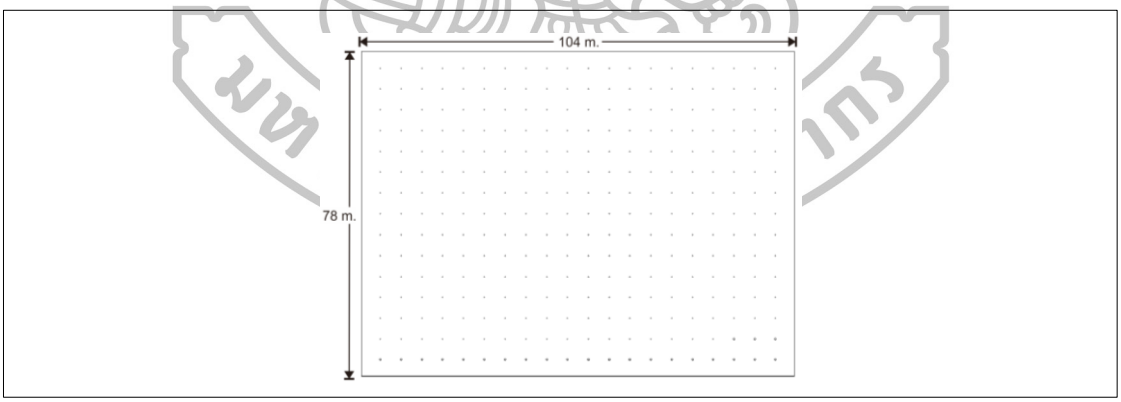
โดยกำหนดระยะห่างของท่อในการทดลอง ตามาตรฐานการติดตั้งของบริษัทผู้ผลิตโดยในการวิจัยจะคิดระยะเวลาเป็นรายปีเพื่อหารูปแบบการติดตั้งที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการลงทุน โดยหน้าตัดแต่ละขนาดจะทดสอบด้วยระยะการติดตั้งตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตได้แก่

3.1.5.1 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร ติดตั้งระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 473 ท่อ (ภาพที่ 68)



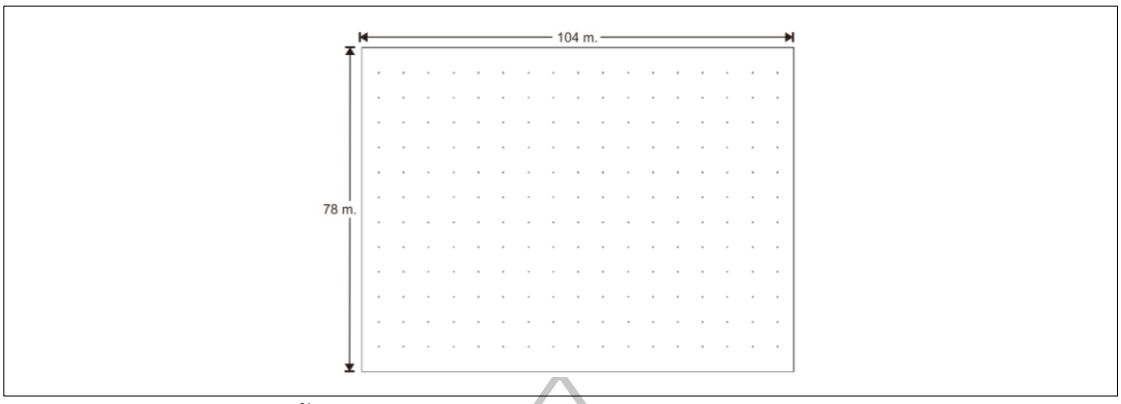
ภาพที่ 68 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร

3.1.5.2 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.46 เมตร ติดตั้งระยะ 5.00 x 5.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 300 ท่อ (ภาพที่ 69)



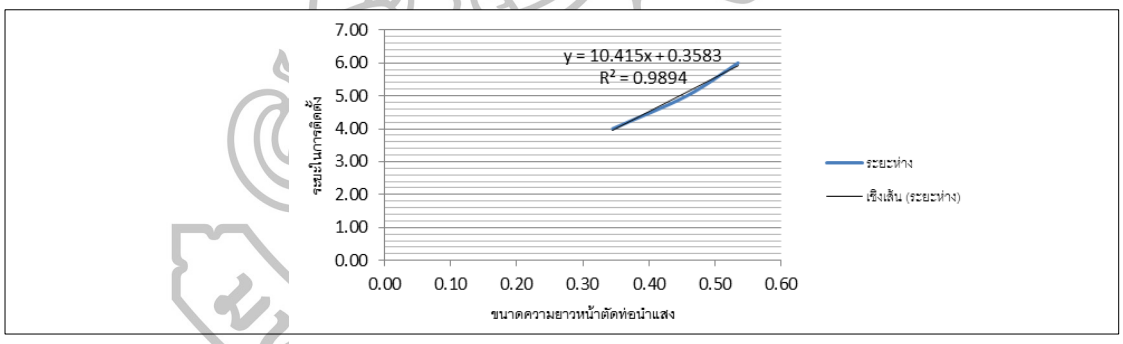
ภาพที่ 69 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร

3.1.5.3 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.54 เมตร ติดตั้งระยะ 6.00 x 6.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 204 ท่อ (ภาพที่ 70)



ภาพที่ 70 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร

3.1.5.4 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร ติดตั้งระยะ 10.80 x 10.80 เมตร เนื่องจากเป็นท่อขนาดพิเศษที่ต้องสั่งผลิต จึงไม่มีการกำหนดระยะห่างในการติดตั้งโดยบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหน้าตัดท่อกับระยะห่างในการติดตั้งที่แนะนำโดยพิจารณาจากระยะห่างในการติดตั้งของท่อหน้าตัด 0.35, 0.46, 0.54 และนำมาใช้วิธี Regression เพื่อหาความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 71



ภาพที่ 71 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะการติดตั้งท่อนำแสง 1.00 เมตร

จากกระบวนการ Regression ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าตัดท่อนำแสง (X) และระยะการติดตั้ง (Y) ดังสมการ

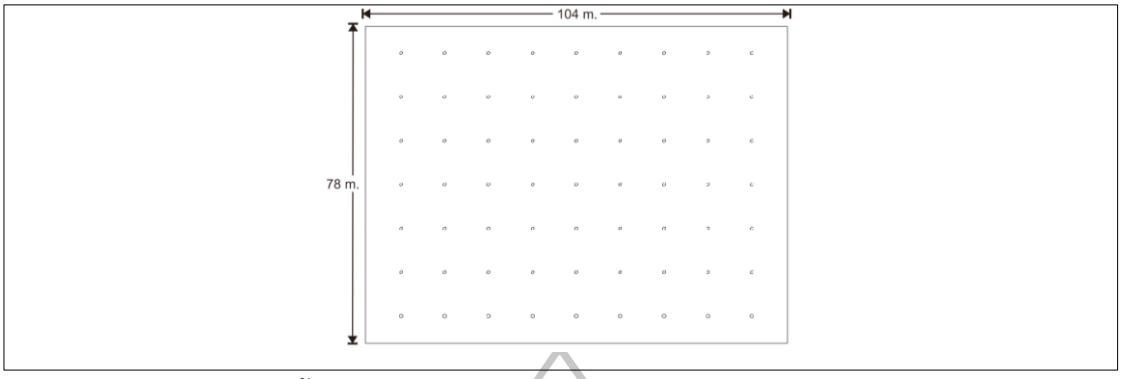
$$Y = 10.415 (x) + 0.3583$$

ดังนั้นสำหรับท่อหน้าตัด 1.00 เมตรจะได้ระยะในการติดตั้ง ดังนี้

$$Y = 10.415 (1.00) + 0.3583$$

$$Y = 10.77$$

ดังนั้นระยะในการติดตั้งคือ 10.80 เมตร จากเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 63 ท่อ (ภาพที่ 72)



ภาพที่ 72 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ใช้ในการทดลองท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 27 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะติดตั้งที่ต่างกันในการทดลอง (ตามตารางที่ 2)

ติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกัน									
ช่วงเวลาในทดลอง		เมษายน (7.00 – 18.00 น.)				มิถุนายน (7.00 – 18.00 น.)			
ขนาดหน้าตัดท่อ (เมตร)		0.35	0.46	0.54	1.00	0.35	0.46	0.54	1.00
ความยาวท่อนำแสง (เมตร)	1.00	การทดลอง 1	การทดลอง 12	การทดลอง 23	การทดลอง 34	การทดลอง 45	การทดลอง 56	การทดลอง 67	การทดลอง 78
	1.50	การทดลอง 2	การทดลอง 13	การทดลอง 24	การทดลอง 35	การทดลอง 46	การทดลอง 57	การทดลอง 68	การทดลอง 79
	2.00	การทดลอง 3	การทดลอง 14	การทดลอง 25	การทดลอง 36	การทดลอง 47	การทดลอง 58	การทดลอง 69	การทดลอง 80
	2.50	การทดลอง 4	การทดลอง 15	การทดลอง 26	การทดลอง 37	การทดลอง 48	การทดลอง 59	การทดลอง 70	การทดลอง 81
	3.00	การทดลอง 5	การทดลอง 16	การทดลอง 27	การทดลอง 38	การทดลอง 49	การทดลอง 60	การทดลอง 71	การทดลอง 82
	3.50	การทดลอง 6	การทดลอง 17	การทดลอง 28	การทดลอง 39	การทดลอง 50	การทดลอง 61	การทดลอง 72	การทดลอง 83
	4.00	การทดลอง 7	การทดลอง 18	การทดลอง 29	การทดลอง 40	การทดลอง 51	การทดลอง 62	การทดลอง 73	การทดลอง 84
	4.50	การทดลอง 8	การทดลอง 19	การทดลอง 30	การทดลอง 41	การทดลอง 52	การทดลอง 63	การทดลอง 74	การทดลอง 85
	5.00	การทดลอง 9	การทดลอง 20	การทดลอง 31	การทดลอง 42	การทดลอง 53	การทดลอง 64	การทดลอง 75	การทดลอง 86
	5.50	การทดลอง 10	การทดลอง 21	การทดลอง 32	การทดลอง 43	การทดลอง 54	การทดลอง 65	การทดลอง 76	การทดลอง 87
	6.00	การทดลอง 11	การทดลอง 22	การทดลอง 33	การทดลอง 44	การทดลอง 55	การทดลอง 66	การทดลอง 77	การทดลอง 88

หมายเหตุ การติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกันมีดังนี้คือ หน้าตัดท่อขนาด 0.35 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 4.00 x 4.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 1.00 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 10.80 x 10.80 เมตร

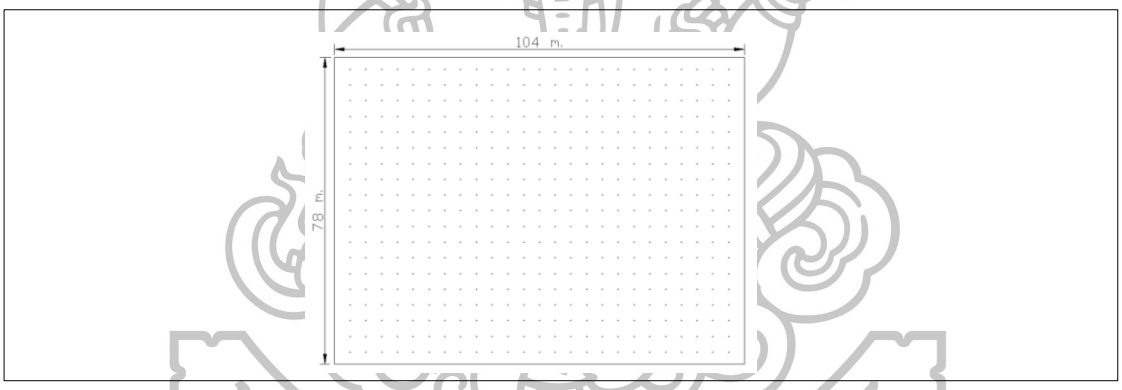
ตารางที่ 28 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงตามระยะติดตั้งที่ต่างกันในการทดลอง (ตามตารางที่ 3)

ติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกัน									
ช่วงเวลาในทดลอง		เมษายน (7.00 – 18.00 น.)				มิถุนายน (7.00 – 18.00 น.)			
ขนาดหน้าตัดท่อ (เมตร)		0.35	0.46	0.54	1.00	0.35	0.46	0.54	1.00
ความยาวท่อนำแสง (เมตร)	1.00	การทดลอง 89	การทดลอง 100	การทดลอง 111	การทดลอง 122	การทดลอง 133	การทดลอง 144	การทดลอง 155	การทดลอง 166
	1.50	การทดลอง 90	การทดลอง 101	การทดลอง 112	การทดลอง 123	การทดลอง 134	การทดลอง 145	การทดลอง 156	การทดลอง 167
	2.00	การทดลอง 91	การทดลอง 102	การทดลอง 113	การทดลอง 124	การทดลอง 135	การทดลอง 146	การทดลอง 157	การทดลอง 168
	2.50	การทดลอง 92	การทดลอง 103	การทดลอง 114	การทดลอง 125	การทดลอง 136	การทดลอง 147	การทดลอง 158	การทดลอง 169
	3.00	การทดลอง 93	การทดลอง 104	การทดลอง 115	การทดลอง 126	การทดลอง 137	การทดลอง 148	การทดลอง 159	การทดลอง 170
	3.50	การทดลอง 94	การทดลอง 105	การทดลอง 116	การทดลอง 127	การทดลอง 138	การทดลอง 149	การทดลอง 160	การทดลอง 171
	4.00	การทดลอง 95	การทดลอง 106	การทดลอง 117	การทดลอง 128	การทดลอง 139	การทดลอง 150	การทดลอง 161	การทดลอง 172
	4.50	การทดลอง 96	การทดลอง 107	การทดลอง 118	การทดลอง 129	การทดลอง 140	การทดลอง 151	การทดลอง 162	การทดลอง 173
	5.00	การทดลอง 97	การทดลอง 108	การทดลอง 119	การทดลอง 130	การทดลอง 141	การทดลอง 152	การทดลอง 163	การทดลอง 174
	5.50	การทดลอง 98	การทดลอง 109	การทดลอง 120	การทดลอง 131	การทดลอง 142	การทดลอง 153	การทดลอง 164	การทดลอง 175
	6.00	การทดลอง 99	การทดลอง 110	การทดลอง 121	การทดลอง 132	การทดลอง 143	การทดลอง 154	การทดลอง 165	การทดลอง 176

หมายเหตุ การติดตั้งท่อนำแสงตามระยะที่ต่างกันมีดังนี้คือ หน้าตัดท่อขนาด 0.35 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 4.00 x 4.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 0.46 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 5.00 x 5.00 เมตร, หน้าตัดท่อขนาด 1.00 เมตร ติดตั้งที่ระยะ 10.80 x 10.80 เมตร

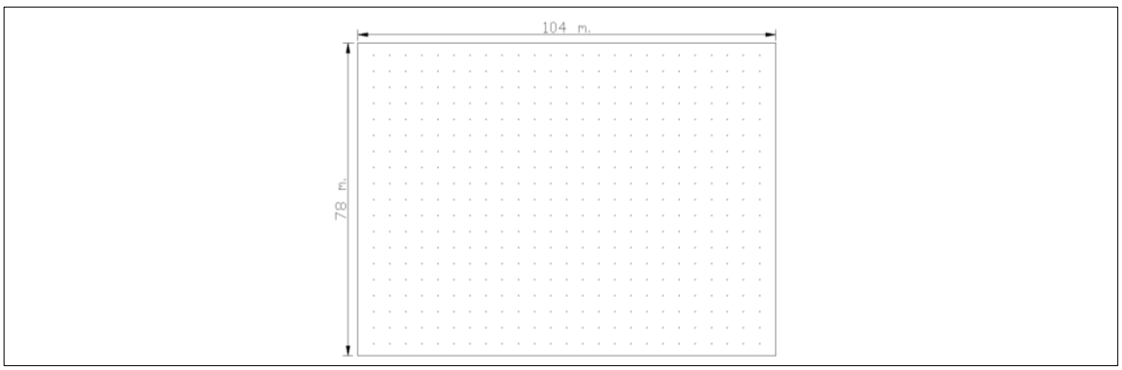
3.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดหน้าตัดท่อ และความยาวของท่อนำแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่กำหนดระยะห่างท่อเป็นระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทุกหน้าตัดท่อ ในช่วงเวลาการทดลองเดียวกัน (เพื่อกำหนดให้มีปริมาณของแสงสว่างภายนอกที่เท่ากัน) เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดหน้าตัดท่อที่เปลี่ยนไปและ ระดับความยาวท่อที่เปลี่ยนไปว่ามีผลต่อพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยหรือไม่อย่างไร โดยเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงขนาด 6 ขนาดทั่วทั้งพื้นที่คือ ขนาดหน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54 เมตร (ขนาดตามท้องตลาด) และขนาดหน้าตัดท่อ 0.65, 0.85, 1.00 เมตร (ขนาดหน้าตัดที่กำหนดมาเพื่อใช้ในการทดลองเพื่อให้เห็นถึงลักษณะพฤติกรรมของแสงที่เปลี่ยนไปในขนาดหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น)

3.2.2.1 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร ติดตั้งระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 473 ท่อ (ภาพที่ 73)



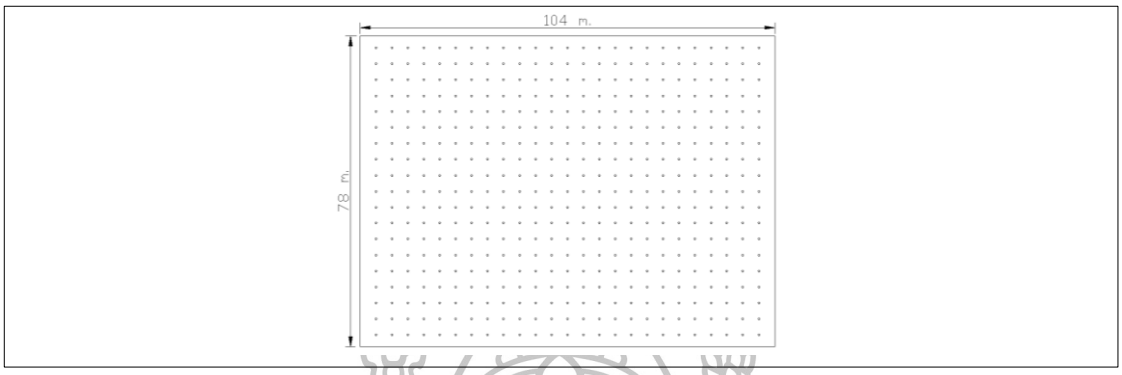
ภาพที่ 73 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

3.2.2.2 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.46 เมตร ติดตั้งระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 473 ท่อ (ภาพที่ 74)



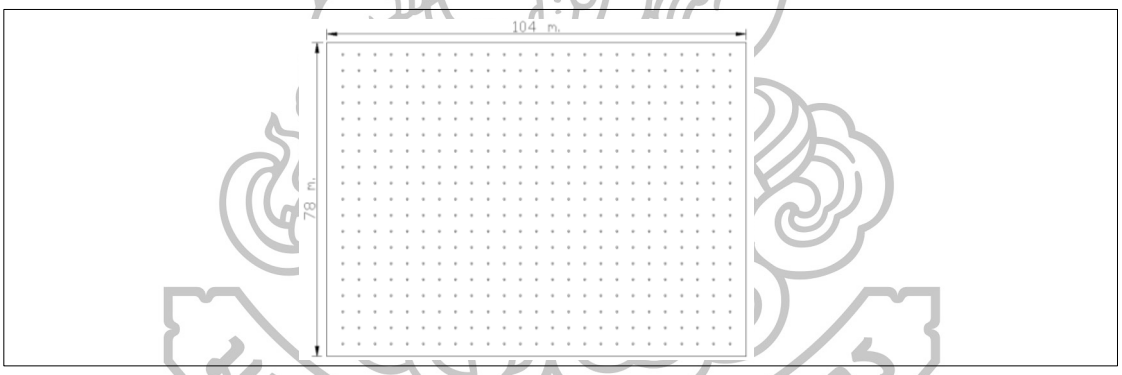
ภาพที่ 74 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

3.2.2.3 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.54 เมตร ติดตั้งระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 473 ท่อ (ภาพที่ 75)



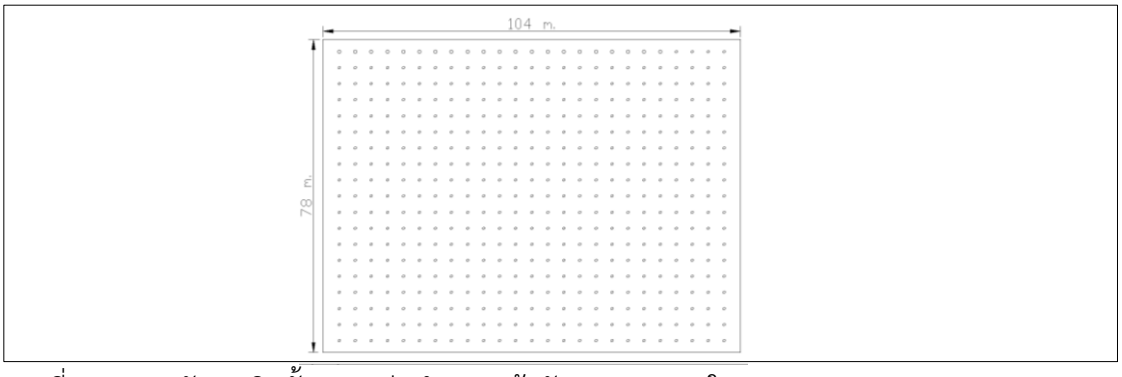
ภาพที่ 75 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

3.2.2.4 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 เมตร ติดตั้งระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 473 ท่อ (ภาพที่ 76)



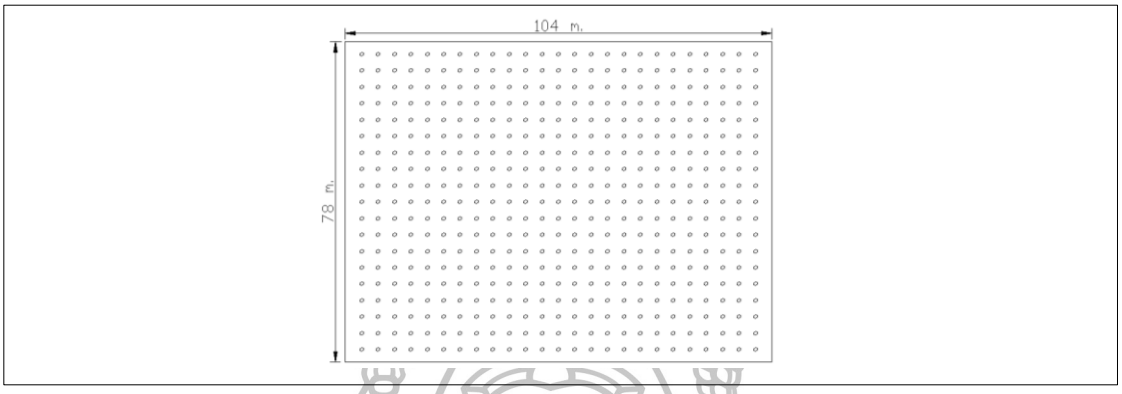
ภาพที่ 76 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

3.2.2.5 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เมตร ติดตั้งระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 473 ท่อ (ภาพที่ 77)



ภาพที่ 77 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

3.2.2.6 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร ติดตั้งระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ทำให้ต้องติดตั้งท่อนำแสงภายในทั้งหมดจำนวน 473 ท่อ (ภาพที่ 78)



ภาพที่ 78 แสดงผังการติดตั้งระบบท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 29 สรุปรูปแบบการทดลองโดยติดตั้งท่อนำแสงในระยะการติดตั้งที่เท่ากัน (ตามตารางที่ 4)

ติดตั้งระยะท่อที่เท่ากันที่ 4 x 4 เมตร							
ช่วงเวลาในทดลอง		เมษายน (12.00 น.)					
ขนาดหน้าตัดท่อ (เมตร)		0.35	0.46	0.54	0.65	0.85	1.00
ความยาวท่อนำแสง (เมตร)	1.00	การทดลอง 1	การทดลอง 12	การทดลอง 23	การทดลอง 34	การทดลอง 45	การทดลอง 56
	1.50	การทดลอง 2	การทดลอง 13	การทดลอง 24	การทดลอง 35	การทดลอง 46	การทดลอง 57
	2.00	การทดลอง 3	การทดลอง 14	การทดลอง 25	การทดลอง 36	การทดลอง 47	การทดลอง 58
	2.50	การทดลอง 4	การทดลอง 15	การทดลอง 26	การทดลอง 37	การทดลอง 48	การทดลอง 59
	3.00	การทดลอง 5	การทดลอง 16	การทดลอง 27	การทดลอง 38	การทดลอง 49	การทดลอง 60
	3.50	การทดลอง 6	การทดลอง 17	การทดลอง 28	การทดลอง 39	การทดลอง 50	การทดลอง 61
	4.00	การทดลอง 7	การทดลอง 18	การทดลอง 29	การทดลอง 40	การทดลอง 51	การทดลอง 62
	4.50	การทดลอง 8	การทดลอง 19	การทดลอง 30	การทดลอง 41	การทดลอง 52	การทดลอง 63
	5.00	การทดลอง 9	การทดลอง 20	การทดลอง 31	การทดลอง 42	การทดลอง 53	การทดลอง 64
	5.50	การทดลอง 10	การทดลอง 21	การทดลอง 32	การทดลอง 43	การทดลอง 54	การทดลอง 65
	6.00	การทดลอง 11	การทดลอง 22	การทดลอง 33	การทดลอง 44	การทดลอง 55	การทดลอง 66

3.3 ข้อมูลแสงสว่างที่วัดได้จากภายนอกอาคาร

โดยการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในที่นี้ จะใช้ค่าความส่องสว่างภายนอกอยู่ที่ค่าเฉลี่ย (Mean) ของแต่ละช่วงเดือนเป็นหลัก เพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มีความเป็นกลางที่สุด และค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารนั้นเป็นข้อมูลที่มีการวัดค่าจริงใน จังหวัดกรุงเทพฯ ในช่วงเวลา 7.00 – 18.00 นาฬิกา ภายในเดือนต่างๆดังนี้

3.3.1 เดือน เมษายน และ กันยายน (Equinox) ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนยาวใกล้เคียงกัน

3.3.2 เดือนมิถุนายน (Summer Solstice) ช่วงที่เวลากลางวันยาวกว่ากลางคืน

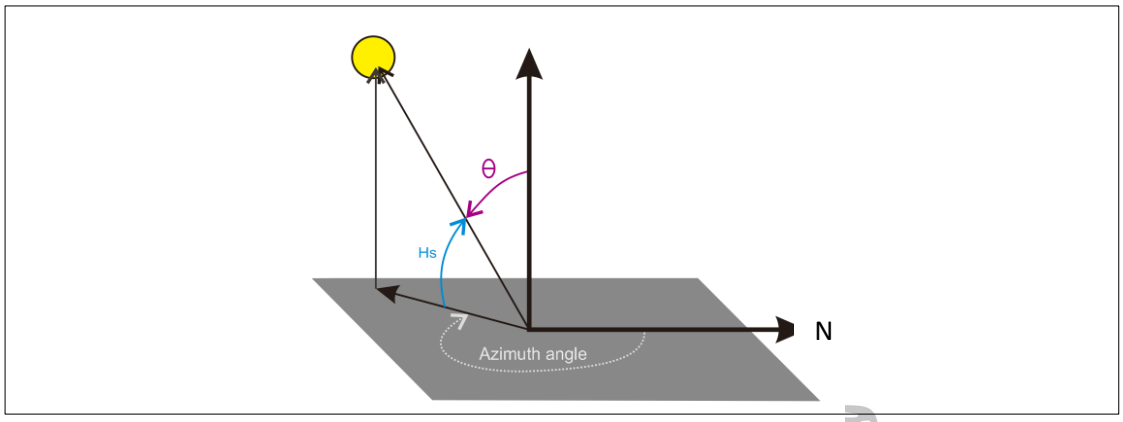
3.3.3 เดือน ธันวาคม (Winter Solstice) ช่วงที่มีเวลากลางคืนยาวกว่ากลางวัน

ตารางที่ 30 แสดงค่าความส่องสว่างภายในเดือนต่างๆที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ช่วงเวลา	เมษายน	มิถุนายน	กันยายน	ธันวาคม
(hr)	Mean (lx)	Mean (lx)	Mean (lx)	Mean (lx)
7.00	11,880	11,690	10,860	5,250
8.00	22,710	15,170	15,890	11,730
9.00	26,390	18,530	21,340	14,190
10.00	31,200	23,180	23,660	14,610
11.00	32,980	29,170	27,460	13,520
12.00	33,940	31,100	27,890	13,160
13.00	27,470	29,970	29,450	13,610
14.00	25,020	27,100	29,660	13,850
15.00	22,080	23,520	25,710	13,440
16.00	22,790	17,550	19,560	10,550
17.00	12,800	11,490	10,060	4,470
18.00	3,250	2,940	1,530	0

ที่มา: S. Chirarattananon, P. Chaiwiwatworakul, and S. Pattanasethanon “Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok.” **The National Energy Conservation Promotion Fund** 1, 1 (May 2002): A1-A55

3.4 ข้อมูลของตำแหน่งดวงอาทิตย์



ภาพที่ 79 ตำแหน่งมุมของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อท่อนำแสงธรรมชาติ

โดยในการวิจัยต้องอาศัยค่าของมุมเงยหรือมุมยกของดวงอาทิตย์ (Altitude angle, hs) และมุมตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่วัดจากแนวทิศเหนือ (Azimuth angle) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อแสงที่เข้ามายังส่วนรับแสงของท่อนำแสงและจะสะท้อนสู่ปลายท่อนำแสงเข้ามายังภายในอาคาร ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใดๆบนพื้นโลก (Incident angle, θ) สามารถระบุได้โดยการนำมุมยกของดวงอาทิตย์ (Altitude angle, hs) ลบด้วยมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อจุดใดๆบนพื้นโลก (Incident angle) โดยคำนวณจากสูตร

$$\theta = 90° - hs \qquad [20]$$

ตารางที่ 31 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ

สัญลักษณ์	ตัวแปร	ค่าที่ใช้คำนวณ
θ	มุมตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใดๆบนพื้นโลก (Incident angle)	-
hs	มุมยกของดวงอาทิตย์ (Altitude angle)	-

ตารางที่ 32 แสดงมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นโลก

ช่วงเวลา (hr)	เดือนเมษายน (April)	เดือนมิถุนายน (June)	เดือนกันยายน (September)	เดือนธันวาคม (December)
	θ (Angle)	θ (Angle)	θ (Angle)	θ (Angle)
7.00	76	76	78	86
8.00	62	62	63	73
9.00	47	48	49	60
10.00	33	35	34	50
11.00	18	22	22	41
12.00	4	11	13	37
13.00	11	13	18	39
14.00	25	25	30	45
15.00	40	39	44	55
16.00	54	52	58	66
17.00	68	66	73	79
18.00	83	80	86	92

ที่มา: Timeanddate [pseud], **Sunrise, Moontime - Bangkok Thailand.** accessed November 5, 2015, available from http://www.timeanddate.com

3.5 สรุปตัวแปรที่เกี่ยวข้องและตัวอย่างการคำนวณที่ใช้ในการทดลอง

ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆที่ได้กำหนดในวิธีการวิจัยนั้นสรุปจะต้องใช้สูตรและ ตัวแปรต่างๆในการคำนวณดังนี้

คำนวณคำนวณหาผลรวมการส่องผ่านของแสงโดยใช้สูตร (21)

$$\tau = \rho^{int\frac{l\tan\theta}{d}} \quad (21)$$

$$E_{pr} = \frac{n.E_{ex}.A_d.\tau.UF.MF}{A} \quad (22)$$

ภาพที่ 80 แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยผ่านท่อนำแสงธรรมชาติ

ตารางที่ 33 แสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ

สัญลักษณ์	ตัวแปร	ค่าที่ใช้คำนวณ
τ	ผลรวมการส่องผ่านของแสงโดยคำนวณจากสูตร (1)	-
ρ	ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในท่อนำแสง	0.98
l	ค่าความยาวของท่อนำแสงที่ใช้ ตั้งแต่ 1.00-6.00 เมตร	1.00 – 6.00 เมตร
θ	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใดๆ	ตามตารางที่ 32
d	ขนาดหน้าตัดของท่อนำแสงที่ติดตั้งภายในอาคาร	0.35, 0.46, 0.54 0.65, 0.85, 1.00 เมตร
n	จำนวนของท่อนำแสงที่ติดตั้งภายในอาคาร 0.35, 0.46, 0.54, 1.00 เมตร	743, 300, 204, 63 ท่อ (ตามลำดับ)
E_{ex}	ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารที่วัดได้ตั้งแต่ 7.00-18.00น.	ตามตารางที่ 30
Ad	พื้นที่ของหน้าตัดท่อนำแสงขนาด 0.35, 0.46, 0.54 , 0.65, 0.85, 1.00 เมตร คิดได้จาก πr^2	-
UF	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Utilization Factor) คิดจากค่า Room index = $\frac{L\ x\ W}{Hm(L+W)}$	ตามตารางที่ 25
L	ในกรณีนี้ค่าความยาวของห้อง	104
W	ในกรณีนี้ค่าความกว้างของห้อง	78
Hm	ในกรณีนี้ระยะจากจุดวัดแสงถึงส่วนกระจายแสงของท่อนำแสง (โดยวัดในระดับ 0.85 เมตร จากพื้น ถึงตัวกระจายแสงของท่อนำแสง 1.00-6.00 เมตร) และความสูงของอาคาร 9.30 เมตร	-
RI	เมื่อได้ค่า RI แล้วนำมาเทียบกับค่า UF โดยสูตร 0.0964 x ln(X) + 0.4919 เพื่อหาแนวโน้นของข้อมูล	ตามตารางที่ 26
MF	ค่าการบำรุงรักษาในระดับความสะอาดปานกลาง (maintenance factor)	0.72
A	ขนาดของพื้นที่ห้องจำลอง	8,112 ตร.ม.

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท่อนำแสงที่นำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ โดยกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้คือ 0.35 เมตร ความยาวท่อ 1.00 เมตร และระยะการติดตั้ง 4.00 x 4.00 เมตร (ตามมาตรฐานบริษัทผู้ผลิตกำหนด) เมื่อคำนวณแล้วในพื้นที่จะต้องติดตั้งท่อนำแสงจำนวน 473 ท่อ โดยกำหนดค่าระดับความสะอาดปานกลาง (Maintenance Factor) อยู่ที่ 0.72 ขนาดของห้างค้าปลีกขนาดใหญ่อยู่ที่ 104 x 78 เมตร พื้นที่รวมอยู่ที่ 8,112 ตารางเมตร ทำการทดลองในเดือนเมษายน เวลา 12.00 น. การคำนวณหาค่าผลรวมการส่องผ่านของแสงโดยคำนวณจากสูตรที่ 21

$$\tau = \rho^{int\frac{l\tan\theta}{d}}$$

$$\tau = 0.98^{int\frac{1\tan 4}{0.0934}}$$

$$\tau = 2.90$$

การคำนวณหาค่า Room Index โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{Room index} = \frac{L\ x\ W}{Hm(L+W)}$$

$$\text{Room index} = \frac{104\ x\ 78}{7.45(104+78)}$$

$$\text{Room index} = 5.98$$

เมื่อนำค่า Room index มาเทียบกับค่า Utilization Factor ด้วยสูตรหาแนวโน้ม Y = 0.10ln(x) + 0.49 จะได้ค่า Utilization Factor = 0.66 และการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) จากสูตรที่ 22

$$E_{pr} = \frac{n.E_{ex}.A_d.\tau.UF.MF}{A}$$

$$E_{pr} = \frac{473\ x\ 33{,}940\ x\ 0.0934\ x\ 2.90\ x\ 0.66\ x\ 0.72}{8{,}112} = 254.72\ lx$$

จากการคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยจากสูตรข้างต้น ทำให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 254.72 lx

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการการศึกษาถึงพฤติกรรมของแสงที่มีผลต่อตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองเพื่อหาปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) และคำนวณเพื่อหาปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งในรูปแบบการทดลองต่างๆ ที่ระนาบพื้นที่ใช้งานโดยสูงจากระดับพื้นภายใน 0.85 เมตร (Work plane) ด้วยการคำนวณจากสูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อนำข้อมูลค่าความส่องสว่างเฉลี่ยและ พฤติกรรมของแสงในการทดลองมาวิเคราะห์ถึงรูปแบบการใช้งานระบบท่อนำแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

1. การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ในท่อนำแสงแนวดิ่งรูปแบบต่างๆ

1.1 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

1.2 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 5.00 x 5.00 เมตร

1.3 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 6.00 x 6.00 เมตร

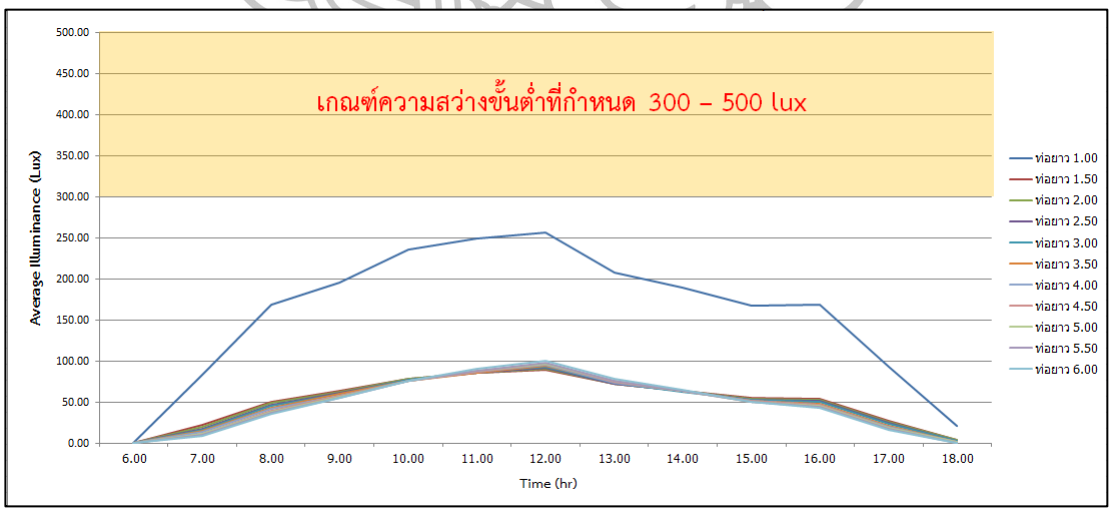
1.4 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 10.80 x 10.80 เมตร (จากการหาแนวโน้มของความสัมพันธ์ขนาดหน้าตัดท่อและระยะการติดตั้งตามที่กำหนด)

1.1 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 34 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11,880	83	22	20	18	16	15	13	12	11	10	9
8.00	62	22,710	168	51	49	47	45	43	42	40	38	37	36
9.00	47	26,390	195	64	62	62	60	60	58	58	56	55	56
10.00	33	31,200	236	79	78	77	77	76	76	76	75	75	76
11.00	18	32,980	249	85	86	85	86	86	87	87	88	88	90
12.00	4	33,940	256	89	90	91	92	94	95	97	96	98	101
13.00	11	27,470	207	72	72	72	73	74	74	75	76	76	78
14.00	25	25,020	189	63	64	63	63	64	63	63	64	64	64
15.00	40	22,080	167	55	54	53	52	52	52	51	50	50	50
16.00	54	22,790	169	54	53	51	50	48	47	46	45	44	43
17.00	68	12,800	93	28	26	24	23	21	20	19	18	17	16
18.00	83	3,250	21	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

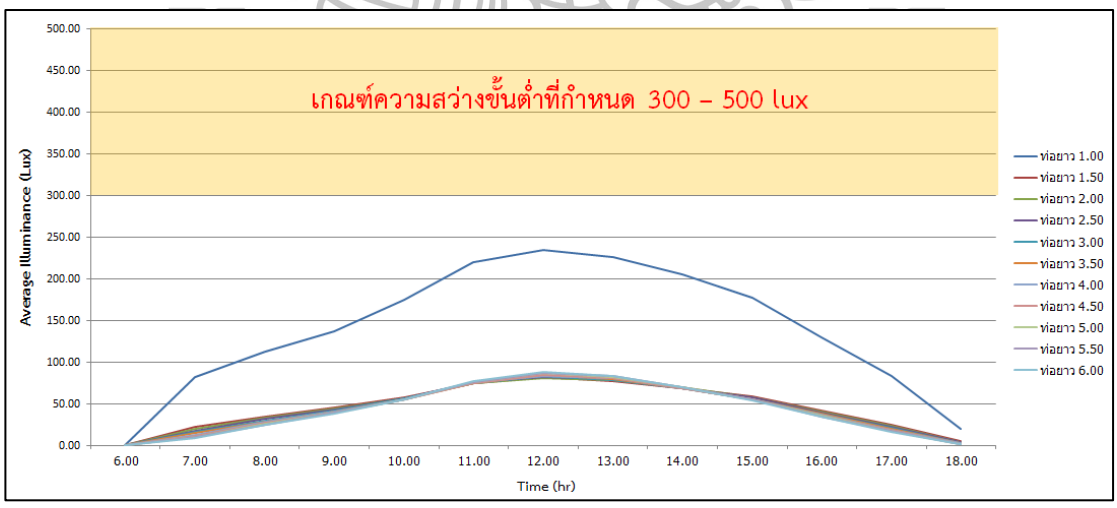


ภาพที่ 80 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 35 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11,690	81	22	20	18	16	14	13	12	10	10	9
8.00	62	15,170	112	34	33	31	30	29	28	27	25	25	24
9.00	48	18,530	137	45	44	42	42	41	41	40	39	39	38
10.00	35	23,180	175	57	57	56	56	56	55	55	55	55	55
11.00	22	29,170	220	75	75	75	75	74	75	75	76	76	77
12.00	11	31,100	235	82	81	82	83	84	84	85	87	87	89
13.00	13	29,970	226	77	78	79	78	79	81	80	82	83	84
14.00	25	27,100	205	69	69	69	68	69	69	68	70	70	70
15.00	39	23,520	178	58	58	57	56	55	55	55	55	55	54
16.00	52	17,550	130	42	41	39	38	38	37	36	35	35	34
17.00	66	11,490	83	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16
18.00	80	2,940	20	5	4	3	3	3	2	2	2	1	1

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

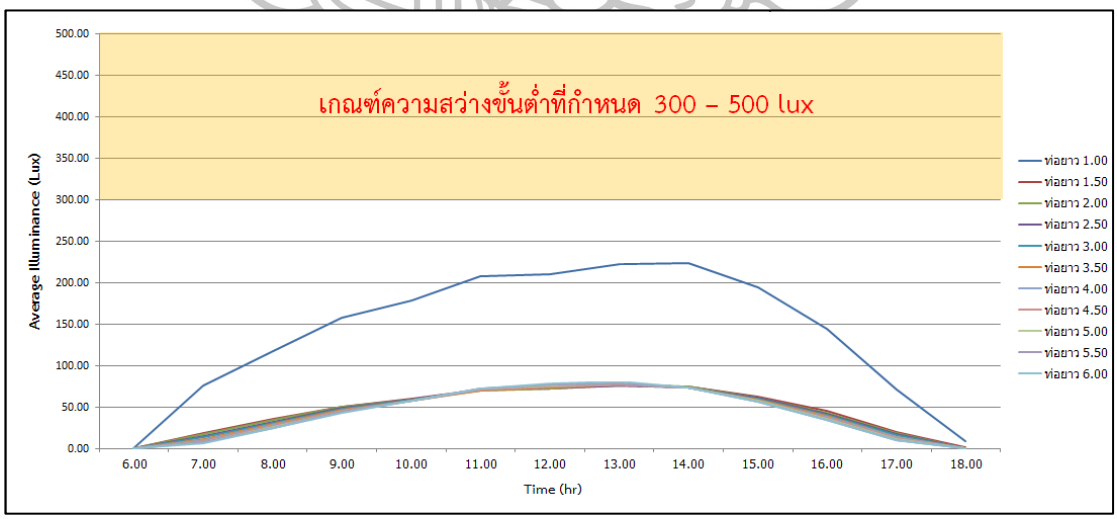


ภาพที่ 81 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 36 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10,860	76	19	17	15	13	12	10	9	8	7	6
8.00	63	15,890	118	36	34	32	31	30	29	27	26	25	24
9.00	49	21,340	158	51	50	49	47	47	46	45	45	44	43
10.00	34	23,660	179	60	59	59	58	58	58	57	57	57	57
11.00	22	27,460	207	71	70	71	70	70	71	71	72	72	72
12.00	13	27,890	211	72	73	74	73	74	75	75	76	78	78
13.00	18	29,450	222	76	77	76	77	77	78	77	79	79	81
14.00	30	29,660	224	75	74	74	73	74	74	73	73	73	73
15.00	44	25,710	194	62	62	61	60	59	58	57	57	56	56
16.00	58	19,560	145	46	43	42	41	39	38	37	36	35	34
17.00	73	10,060	72	20	19	17	16	14	13	12	11	10	10
18.00	86	1,530	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

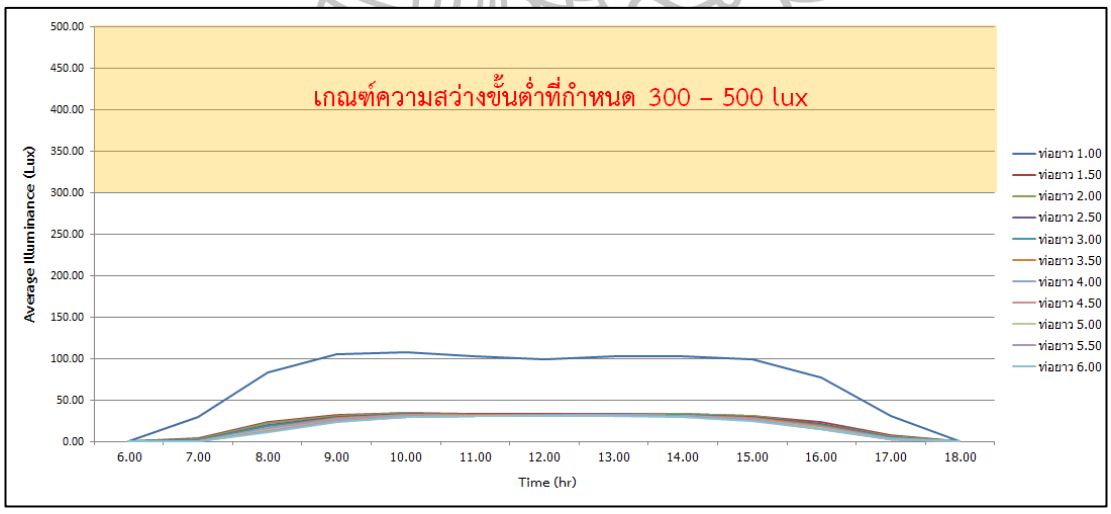


ภาพที่ 82 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 37 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5,250	30	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0
8.00	73	11,730	83	23	22	20	18	17	16	14	13	12	11
9.00	60	14,190	105	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23
10.00	50	14,610	108	35	34	33	33	32	31	31	30	30	30
11.00	41	13,520	102	33	33	32	32	32	31	31	31	31	30
12.00	37	13,160	99	33	32	32	32	32	31	31	31	31	31
13.00	39	13,610	103	34	33	33	32	32	32	32	32	32	31
14.00	45	13,850	103	34	33	32	32	31	31	30	30	30	30
15.00	55	13,440	99	31	30	30	29	28	27	27	26	25	25
16.00	66	10,550	77	23	22	21	20	19	17	17	16	15	15
17.00	79	4,470	31	8	7	6	5	4	4	3	3	3	2
18.00	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx



ภาพที่ 83 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

1.1.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร

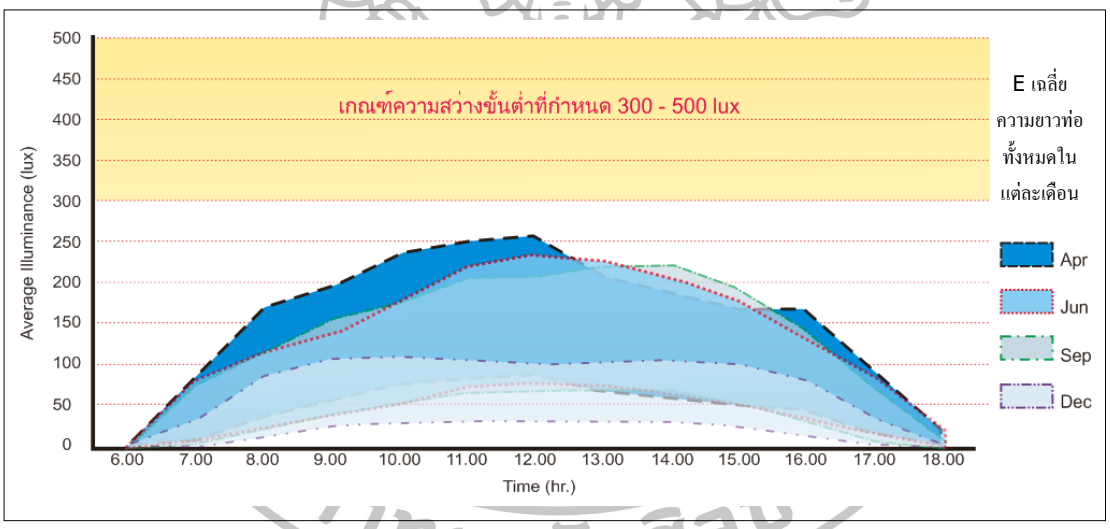
1.1.1.1 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

1.1.1.2 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

1.1.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

1.1.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

1.1.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 84 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

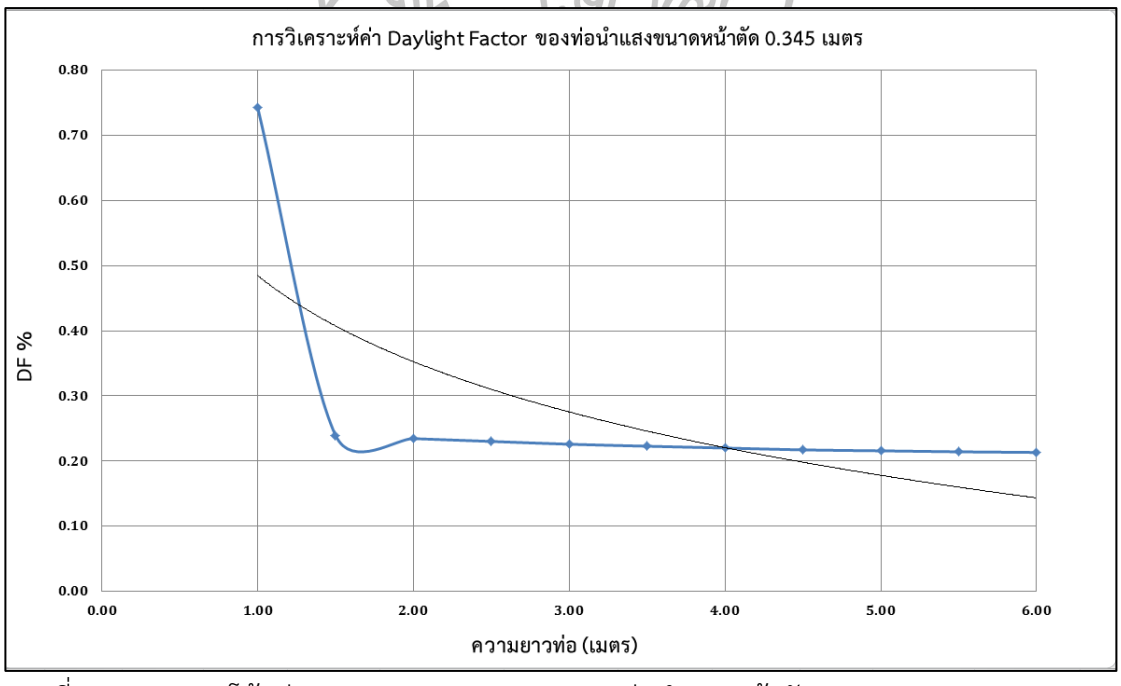
จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างภายนอกมีผลกับแสงสว่างภายในโดยตรงในช่วงเดือนที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคมมีค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงที่น้อยกว่าช่วงเดือนอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 50% ของช่วงเดือนอื่นๆ และเมื่อแบ่งเป็นช่วงเวลาในแต่ละวัน ค่าความส่องสว่างมากที่สุดในช่วงวันอยู่ที่เวลา 11.00น. – 13.00น. โดยปริมาณค่าความส่องสว่างที่มากที่สุดคือการติดตั้งท่อนำแสงด้วยความยาว 1.00 เมตร เมื่อความยาวท่อที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความส่องสว่างที่ได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จาก

ความยาวท่อ 1.00 เมตร สูงกว่าความยาวท่ออื่นๆ 3 – 9 เท่า ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และจากตารางที่ 39 – 42 ทำให้เห็นว่ามีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในการติดตั้งความยาวท่อ 5.50 – 6.00 เมตร ในช่วงเดือน เมษายน, มิถุนายน, กันยายน

คำนวณค่า Daylight Factor (DF) ปริมาณค่าความส่องสว่างในภาพรวม ของท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีหน้าตัด 0.35 เมตร โดยมีความยาวท่อที่ต่างกันตั้งแต่ 1.00 – 6.00 เมตร ผลที่ได้คือ ระยะความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นในขนาดหน้าตัดท่อที่เท่ากัน ทำให้แสงสว่างที่ได้ภายในอาคารลดลงไปตามลำดับดังตารางที่ 38 โดยเมื่อใช้ท่อยาว 1.00 เมตร จะมี Daylight Factor สูกกว่าหน้าตัดอื่นประมาณ 2 – 3 เท่า

ตารางที่ 38 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร

ความยาวท่อ (เมตร)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
DF (%)	0.74	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21



ภาพที่ 85 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร

จากนั้นเมื่อนำค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐาน ค่ามาตรฐานแสงสว่างที่ใช้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำอยู่ที่ 300 – 500 Lux (มาตรฐานความสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยปี, 2550) และวิเคราะห์ค่าการประหยัดพลังงานที่ได้จากการชดเชยค่าความส่องสว่างจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ ถึงปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้และค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละเดือน เมื่อนำสรุปภายในช่วงเดือนต่างๆจะได้ดังนี้

ตารางที่ 39 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	473	500	169	7,188.89	32,997
1.50	473	500	56	2,659.59	12,207
2.00	473	500	55	2,622.06	12,035
2.50	473	500	54	2,581.83	11,851
3.00	473	500	53	2,552.18	11,715
3.50	473	500	53	2,528.89	11,608
4.00	473	500	52	2,506.78	11,506
4.50	473	500	52	2,488.76	11,423
5.00	473	500	52	2,474.11	11,356
5.50	473	500	51	2,462.67	11,304
6.00	473	500	52	2,474.36	11,357

ตารางที่ 40 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	473	500	150	7,188.89	32,997
1.50	473	500	49	2,358.84	10,827
2.00	473	500	49	2,322.10	10,658
2.50	473	500	48	2,295.31	10,535
3.00	473	500	47	2,260.56	10,376
3.50	473	500	47	2,244.50	10,302
4.00	473	500	47	2,227.31	10,223
4.50	473	500	46	2,205.06	10,121
5.00	473	500	46	2,206.20	10,126
5.50	473	500	46	2,201.21	10,104
6.00	473	500	46	2,192.89	10,065

ตารางที่ 41 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	473	500	151	7,230.50	33,188
1.50	473	500	49	2,346.78	10,771
2.00	473	500	48	2,309.09	10,599
2.50	473	500	48	2,273.44	10,435
3.00	473	500	47	2,233.05	10,250
3.50	473	500	46	2,209.40	10,141
4.00	473	500	46	2,189.56	10,050
4.50	473	500	45	2,160.22	9,915
5.00	473	500	45	2,155.01	9,891
5.50	473	500	45	2,138.96	9,818
6.00	473	500	45	2,136.90	9,808

ตารางที่ 42 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

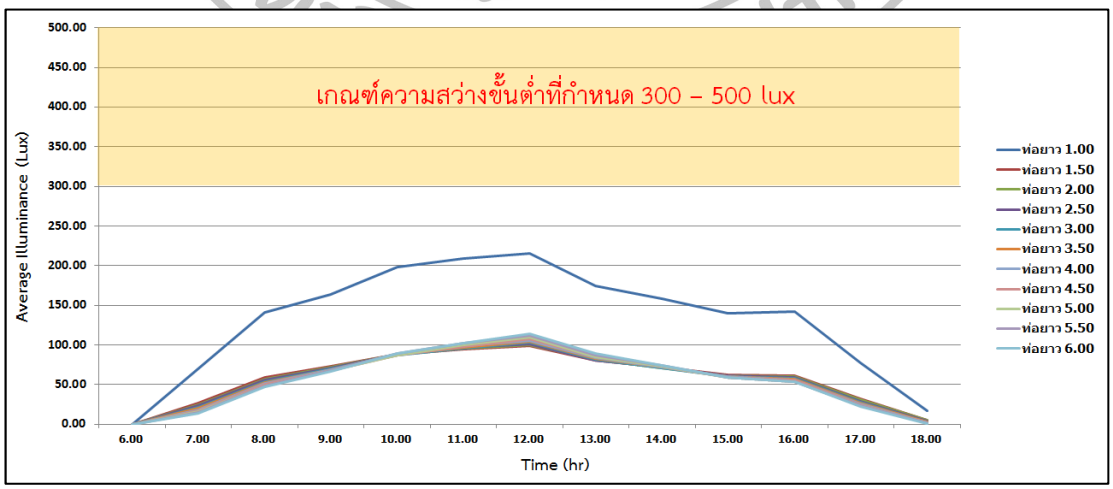
ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	473	500	78	3,748.34	17,778
1.50	473	500	24	1,158.42	5,494
2.00	473	500	23	1,118.13	5,303
2.50	473	500	23	1,081.20	5,128
3.00	473	500	22	1,046.19	4,962
3.50	473	500	21	1,016.54	4,821
4.00	473	500	21	990.52	4,698
4.50	473	500	20	966.89	4,586
5.00	473	500	20	946.98	4,492
5.50	473	500	19	932.06	4,421
6.00	473	500	19	911.59	4,324

2.2 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 5.00 x 5.00 เมตร

ตารางที่ 43 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	70	27	25	23	21	20	18	17	16	15	14
8.00	62	22710.00	141	59	57	56	54	53	51	50	49	48	47
9.00	47	26390.00	164	73	72	71	69	69	69	68	68	68	67
10.00	33	31200.00	198	88	89	88	87	88	88	88	87	89	89
11.00	18	32980.00	209	95	96	97	96	97	99	98	100	102	102
12.00	4	33940.00	215	99	100	102	103	104	106	107	109	112	114
13.00	11	27470.00	174	80	81	81	82	83	84	85	85	87	89
14.00	25	25020.00	159	72	71	72	71	72	72	73	73	74	75
15.00	40	22080.00	140	62	62	61	61	60	60	59	59	59	60
16.00	54	22790.00	142	62	60	59	58	57	56	56	54	54	53
17.00	68	12800.00	78	32	31	29	28	27	26	25	24	23	23
18.00	83	3250.00	18	6	5	4	3	3	2	2	2	1	1

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

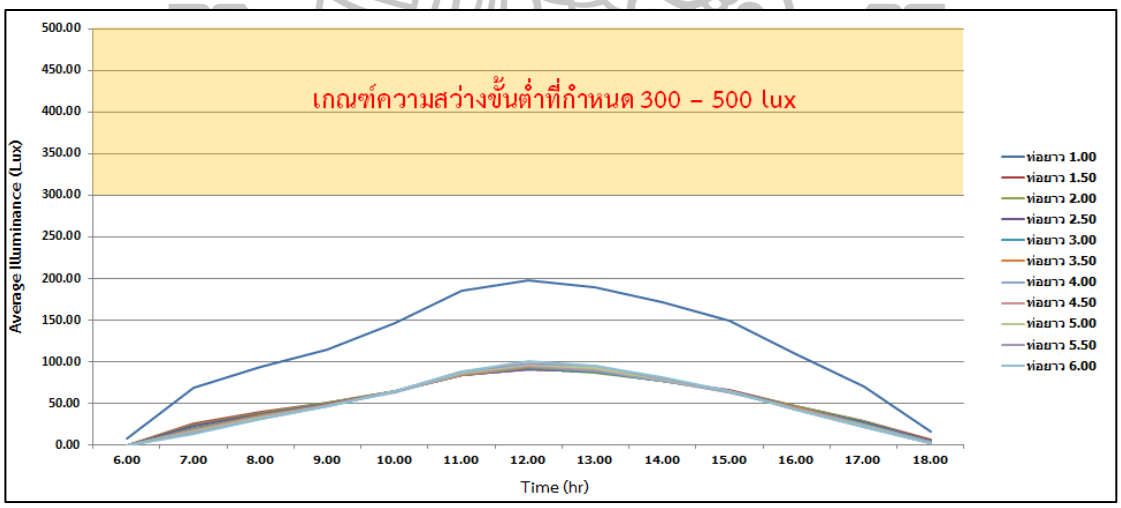


ภาพที่ 86 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 44 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illumination (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	68	26	25	23	21	20	18	17	16	15	14
8.00	62	15170.00	94	39	38	37	36	35	34	33	33	32	31
9.00	48	18530.00	115	51	51	49	49	48	48	48	47	47	47
10.00	35	23180.00	147	65	65	65	65	64	64	65	65	65	65
11.00	22	29170.00	185	84	85	84	85	84	86	87	87	89	89
12.00	11	31100.00	197	91	92	91	92	94	95	97	96	98	101
13.00	13	29970.00	190	88	87	88	89	90	90	91	93	95	95
14.00	25	27100.00	172	78	77	78	77	78	78	79	79	81	81
15.00	39	23520.00	149	66	66	65	64	64	64	65	65	65	65
16.00	52	17550.00	109	47	47	46	45	45	44	44	43	43	43
17.00	66	11490.00	70	29	28	27	26	25	24	23	23	22	22
8.00	80	2940.00	17	6	5	5	4	4	3	3	3	2	2

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

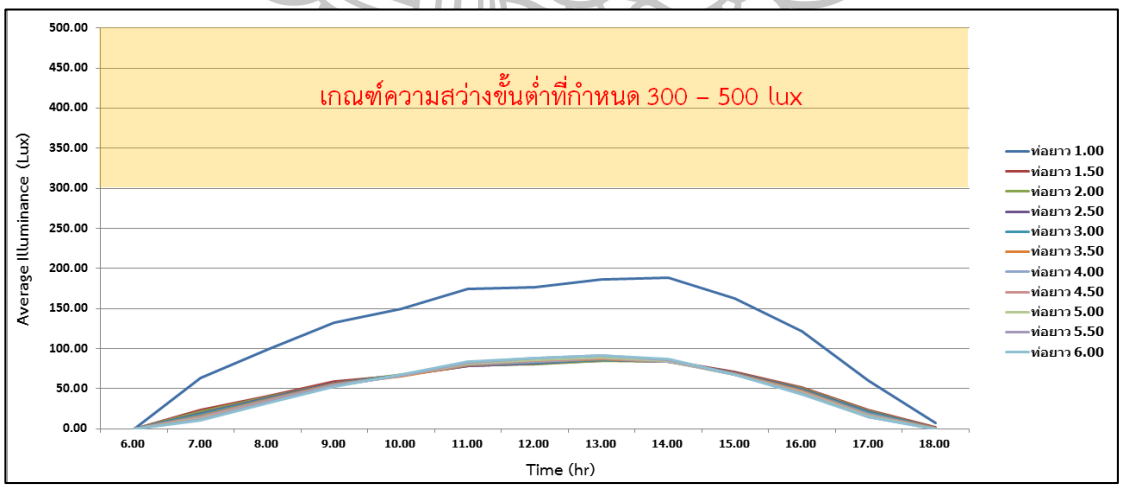


ภาพที่ 87 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 45 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	64	23	21	20	18	16	15	14	12	12	11
8.00	63	15890.00	99	41	40	39	38	36	35	34	34	33	32
9.00	49	21340.00	133	59	57	57	56	56	54	54	54	54	53
10.00	34	23660.00	150	67	67	67	66	66	67	66	66	66	68
11.00	22	27460.00	174	79	80	79	80	79	81	82	82	83	84
12.00	13	27890.00	177	82	81	82	83	84	83	85	86	88	88
13.00	18	29450.00	187	85	85	86	86	87	88	88	89	91	91
14.00	30	29660.00	188	85	84	84	85	84	84	85	85	86	87
15.00	44	25710.00	163	71	70	70	69	69	68	68	68	68	68
16.00	58	19560.00	122	52	50	50	48	47	46	46	45	44	43
17.00	73	10060.00	60	24	22	21	20	19	18	17	16	15	15
18.00	86	1530.00	7	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

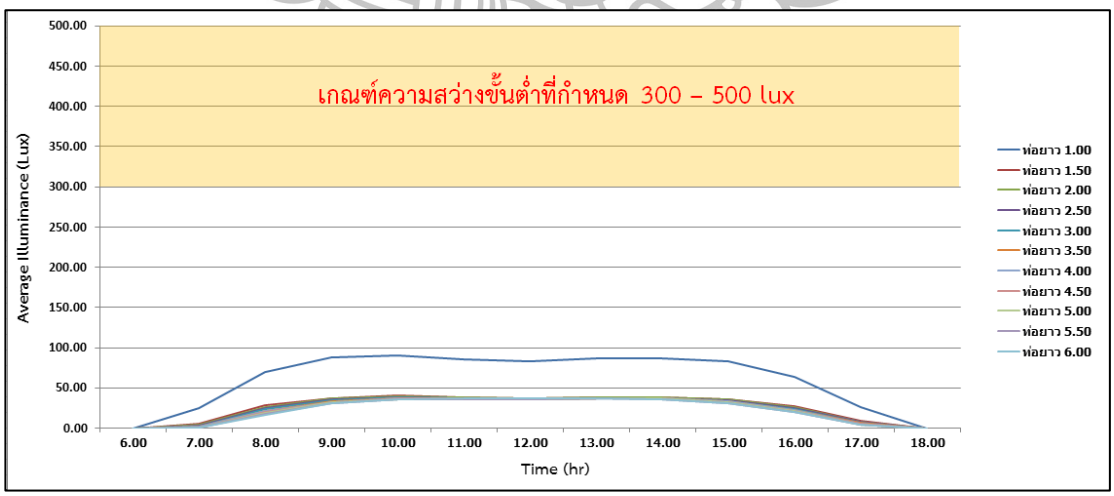


ภาพที่ 88 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 46 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	25	6	4	3	2	2	1	1	1	1	0
8.00	73	11730.00	70	28	26	25	23	22	21	19	19	18	17
9.00	60	14190.00	88	38	36	35	34	34	33	32	32	31	31
10.00	50	14610.00	91	40	39	39	38	37	37	37	36	36	36
11.00	41	13520.00	86	38	38	37	37	37	37	36	36	36	36
12.00	37	13160.00	84	37	37	36	37	37	36	36	36	36	37
13.00	39	13610.00	86	38	38	38	37	37	37	37	37	37	37
14.00	45	13850.00	86	38	38	37	37	37	37	37	36	36	36
15.00	55	13440.00	84	36	35	35	34	34	33	32	32	31	31
16.00	66	10550.00	64	27	26	25	24	23	22	21	21	20	20
17.00	79	4470.00	26	9	8	8	7	6	6	5	5	4	4
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx



ภาพที่ 89 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.2.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร

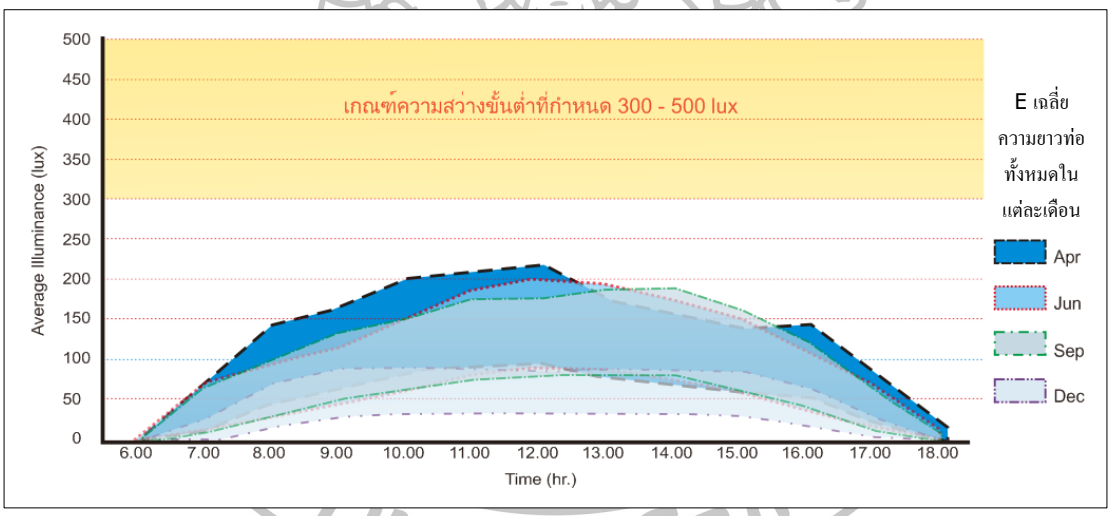
2.2.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.2.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 300 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 5.00 x 5.00 เมตร

2.2.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.2.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.2.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 6.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 90 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร วัดจากค่าเฉลี่ย (Mean) ของความส่องสว่างภายนอก

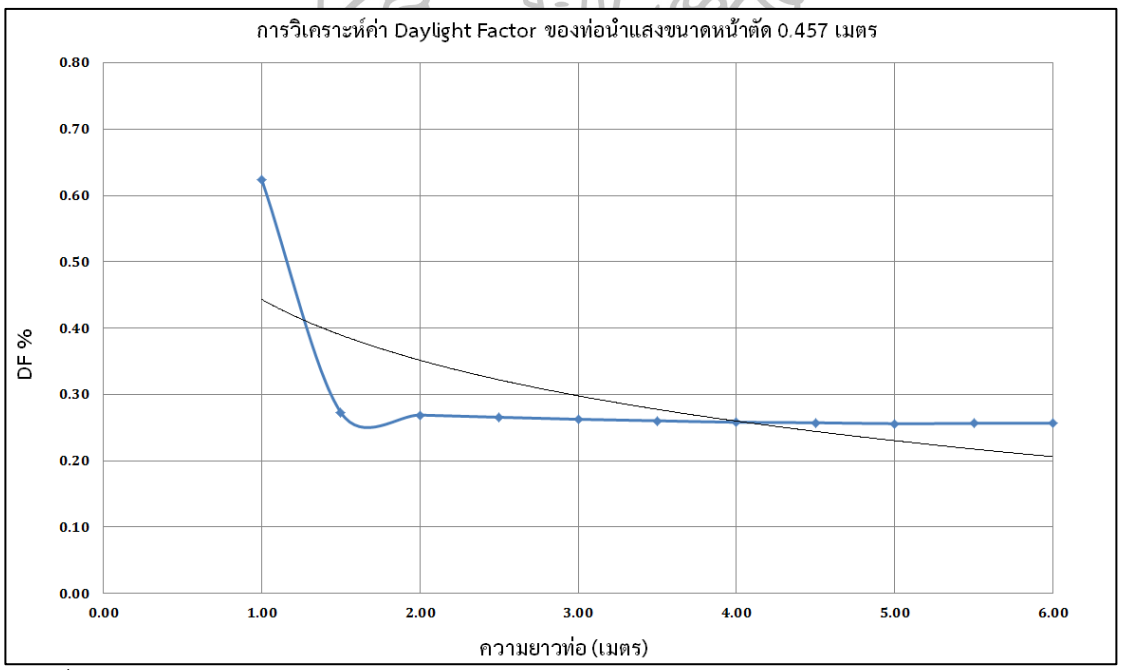
จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างภายนอกมีผลกับแสงสว่างภายในโดยตรงในช่วงเดือนที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคมมีค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงที่น้อยกว่าช่วงเดือนอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 50% ของช่วงเดือนอื่นๆ และเมื่อแบ่งเป็นช่วงเวลาในแต่ละวัน ค่าความส่องสว่างมากที่สุดในช่วงวันอยู่ที่เวลา 11.00น. – 13.00น. โดยปริมาณค่าความส่องสว่างที่มากที่สุดคือการติดตั้งท่อนำแสงด้วยความยาว 1.00 เมตร เมื่อความยาวท่อที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความส่องสว่างที่ได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จาก

ความยาวท่อ 1.00 เมตร สูงกว่าความยาวท่ออื่นๆ 2 – 3 เท่า ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และจากตารางที่ 48 – 51 ทำให้เห็นว่ามีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในการติดตั้งความยาวท่อ 5.50 – 6.00 เมตร ในช่วงเดือน เมษายน, มิถุนายน, กันยายน

คำนวณค่า Daylight Factor (DF) ปริมาณค่าความส่องสว่างในภาพรวม ของท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีหน้าตัด 0.46 เมตร โดยมีความยาวท่อที่ต่างกันตั้งแต่ 1.00 – 6.00 เมตร ผลที่ได้คือระยะความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นในขนาดหน้าตัดท่อที่เท่ากัน ทำให้แสงสว่างที่ได้ภายในอาคารลดลงเล็กน้อยดังตารางที่ 47 เมื่อใช้ท่อยาว 1.00 เมตร จะมี Daylight Factor สูกกว่าหน้าตัดอื่นประมาณ 1 – 2 เท่า

ตารางที่ 47 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร

ความยาวท่อ (เมตร)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
DF (%)	0.62	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26



ภาพที่ 91 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร

จากนั้นเมื่อนำค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐาน ค่ามาตรฐานแสงสว่างที่ใช้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำอยู่ที่ 300 – 500 Lux (ตามมาตรฐานความสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยปี 2550) และวิเคราะห์ค่าการประหยัดพลังงานที่ได้จากการชดเชยค่าความส่องสว่างจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ ถึงปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้และค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละเดือน เมื่อนำสรุปภายในช่วงเดือนต่างๆจะได้ดังนี้

ตารางที่ 48 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	300	500	142	6,809.46	31,255
1.50	300	500	63	3,007.19	13,803
2.00	300	500	62	2,986.32	13,707
2.50	300	500	62	2,963.78	13,604
3.00	300	500	61	2,926.21	13,431
3.50	300	500	61	2,928.03	13,440
4.00	300	500	61	2,913.53	13,373
4.50	300	500	61	2,908.55	13,350
5.00	300	500	61	2,900.81	13,315
5.50	300	500	61	2,926.07	13,431
6.00	300	500	61	2,930.26	13,450

ตารางที่ 49 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	300	500	126	6,040.29	27,725
1.50	300	500	56	2,677.98	12,292
2.00	300	500	55	2,652.88	12,177
2.50	300	500	55	2,624.82	12,048
3.00	300	500	55	2,611.42	11,986
3.50	300	500	54	2,600.84	11,938
4.00	300	500	54	2,584.61	11,863
4.50	300	500	54	2,600.19	11,935
5.00	300	500	54	2,584.29	11,862
5.50	300	500	54	2,601.09	11,939
6.00	300	500	55	2,608.95	11,975

ตารางที่ 50 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	300	500	127	6,075.25	27,885
1.50	300	500	56	2,668.60	12,249
2.00	300	500	55	2,635.23	12,096
2.50	300	500	55	2,610.99	11,984
3.00	300	500	54	2,591.15	11,893
3.50	300	500	54	2,564.92	11,773
4.00	300	500	53	2,549.63	11,703
4.50	300	500	53	2,547.03	11,691
5.00	300	500	53	2,541.51	11,666
5.50	300	500	53	2,555.33	11,729
6.00	300	500	53	2,552.54	11,716

ตารางที่ 51 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

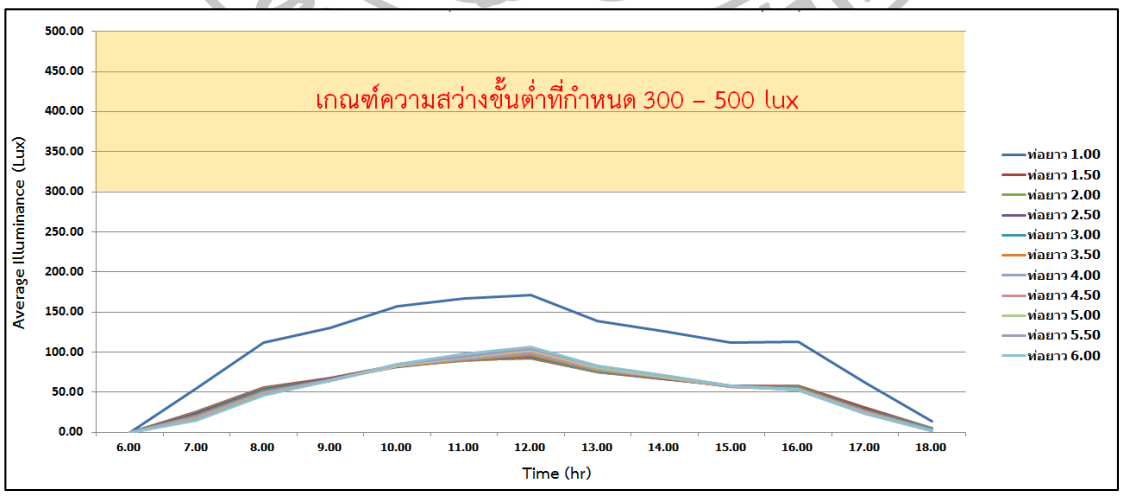
ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	300	500	66	3,149.71	14,939
1.50	300	500	28	1,342.82	6,369
2.00	300	500	27	1,302.61	6,178
2.50	300	500	27	1,272.37	6,035
3.00	300	500	26	1,246.44	5,912
3.50	300	500	25	1,217.73	5,776
4.00	300	500	25	1,196.02	5,673
4.50	300	500	25	1,177.38	5,584
5.00	300	500	24	1,163.88	5,520
5.50	300	500	24	1,146.05	5,436
6.00	300	500	24	1,143.69	5,425

2.3 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 6.00 x 6.00 เมตร

ตารางที่ 52 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	55	26	25	23	22	20	19	18	17	16	15
8.00	62	22710.00	112	56	54	54	52	51	50	50	48	47	47
9.00	47	26390.00	131	68	67	67	66	66	65	65	65	65	65
10.00	33	31200.00	158	83	83	82	83	82	84	83	83	85	85
11.00	18	32980.00	167	90	89	90	91	91	92	93	93	95	97
12.00	4	33940.00	171	93	94	95	96	97	99	100	102	104	107
13.00	11	27470.00	139	75	76	77	76	77	78	79	81	83	83
14.00	25	25020.00	126	67	68	67	68	67	68	70	69	71	71
15.00	40	22080.00	112	58	57	58	58	57	57	57	58	58	58
16.00	54	22790.00	113	59	57	56	56	54	54	54	54	53	53
17.00	68	12800.00	62	31	29	29	28	27	26	25	24	24	23
18.00	83	3250.00	14	6	5	4	4	3	3	2	2	2	2

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

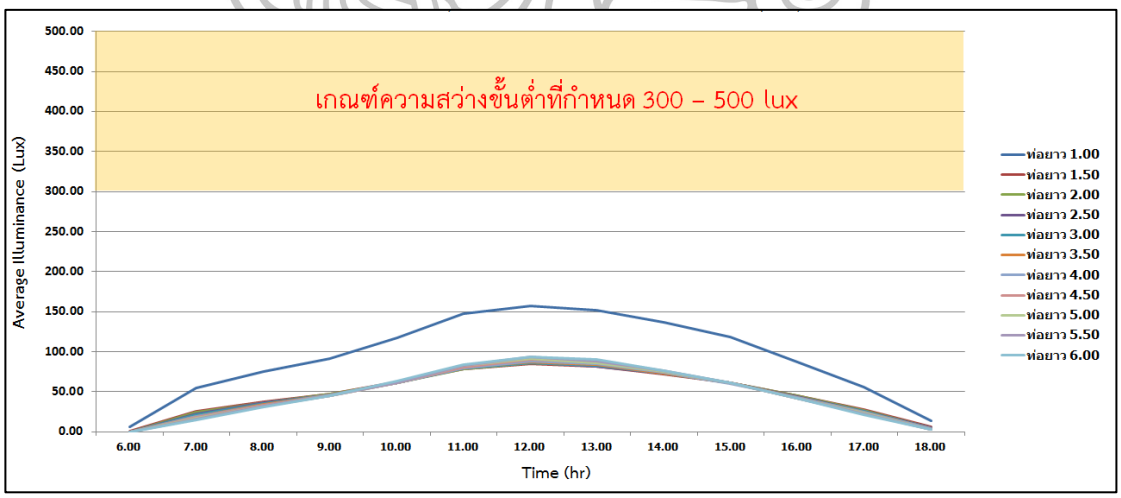


ภาพที่ 92 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 53 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
			ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
Time (hr)	θ	Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	54	26	24	23	21	20	19	18	17	16	15
8.00	62	15170.00	75	37	36	36	35	34	33	33	32	32	31
9.00	48	18530.00	92	48	47	47	46	46	46	46	45	45	46
10.00	35	23180.00	117	62	61	61	62	61	61	62	62	62	63
11.00	22	29170.00	147	78	79	80	79	80	80	81	82	82	84
12.00	11	31100.00	157	85	86	87	86	87	89	90	92	93	94
13.00	13	29970.00	151	82	83	82	83	84	85	87	86	88	90
14.00	25	27100.00	137	73	73	73	74	73	74	75	75	77	77
15.00	39	23520.00	119	62	61	62	61	61	61	61	61	61	62
16.00	52	17550.00	87	45	45	44	43	43	43	42	42	41	42
17.00	66	11490.00	56	28	27	26	25	25	24	24	23	22	22
18.00	80	2940.00	13	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

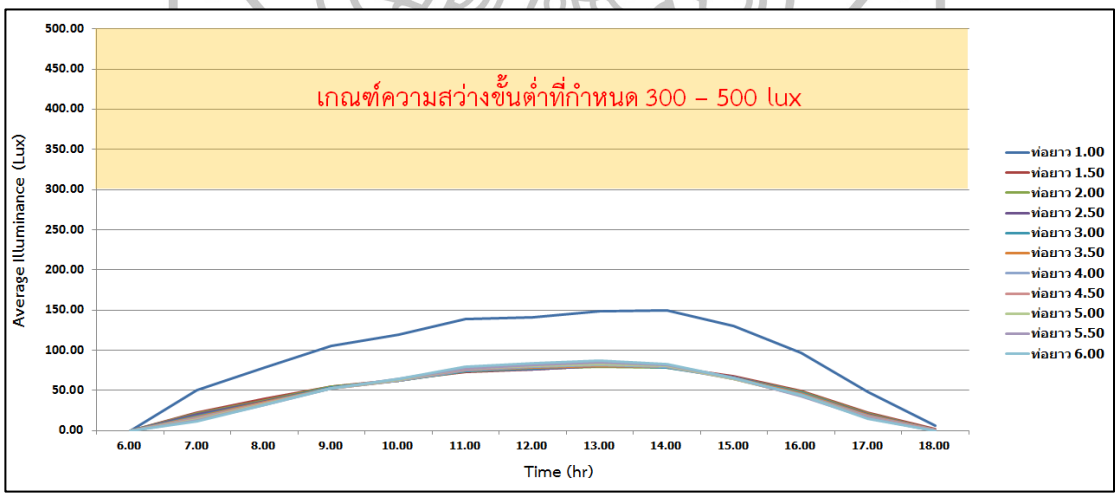


ภาพที่ 93 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 54 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	51	23	21	20	18	17	16	15	14	13	12
8.00	63	15890.00	79	39	38	37	36	36	35	34	33	33	32
9.00	49	21340.00	106	55	54	54	53	53	53	53	52	52	53
10.00	34	23660.00	120	63	63	62	63	62	62	63	63	64	64
11.00	22	27460.00	139	73	74	75	75	76	75	76	78	78	80
12.00	13	27890.00	141	76	77	76	77	78	79	81	80	82	84
13.00	18	29450.00	149	80	80	81	82	81	82	83	83	85	87
14.00	30	29660.00	150	79	79	80	79	80	79	81	81	82	82
15.00	44	25710.00	130	67	67	66	66	65	65	65	64	66	66
16.00	58	19560.00	97	49	49	47	47	46	45	44	44	43	44
17.00	73	10060.00	48	23	22	21	20	19	18	17	16	16	15
18.00	86	1530.00	6	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

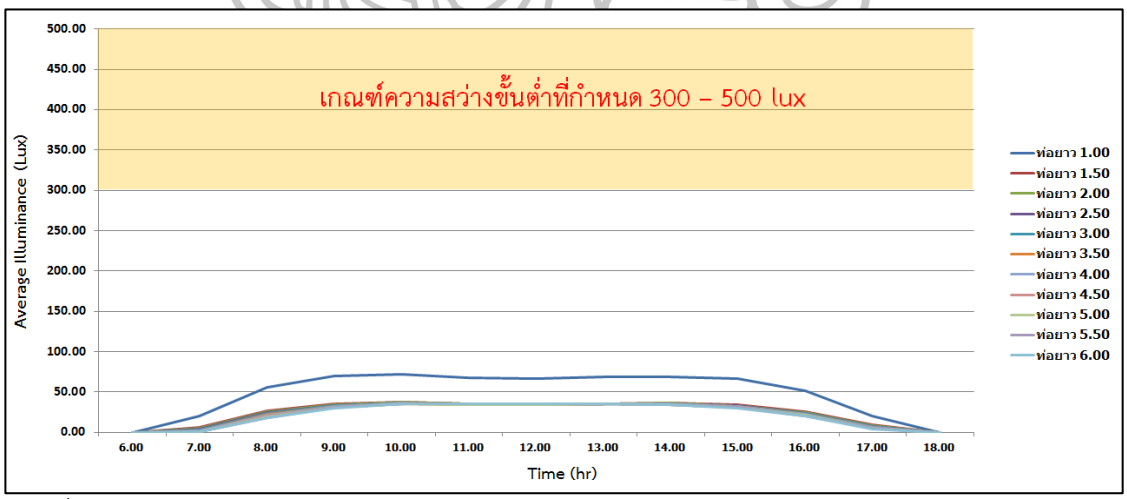


ภาพที่ 94 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 55 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
Time (hr)	θ	Mean	ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
			1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	20	6	5	4	3	2	2	1	1	1	1
8.00	73	11730.00	56	27	25	24	23	22	21	20	19	18	18
9.00	60	14190.00	70	36	35	34	33	33	32	32	31	31	30
10.00	50	14610.00	72	38	37	37	37	36	36	35	35	35	35
11.00	41	13520.00	68	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
12.00	37	13160.00	66	35	35	35	34	35	35	34	34	35	35
13.00	39	13610.00	69	36	35	36	35	35	35	36	36	36	36
14.00	45	13850.00	69	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35
15.00	55	13440.00	67	34	34	33	32	32	32	31	31	31	31
16.00	66	10550.00	51	26	25	24	23	23	22	22	21	20	20
17.00	79	4470.00	20	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx



ภาพที่ 95 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.3.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร

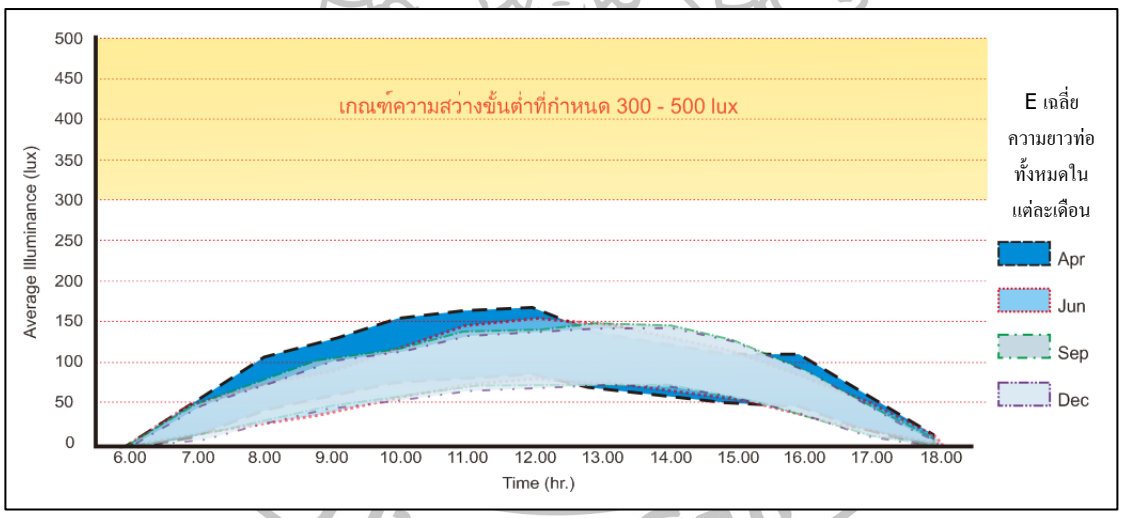
2.3.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.3.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 204 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 6.00 x 6.00 เมตร)

2.3.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.3.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.3.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 6.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 96 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

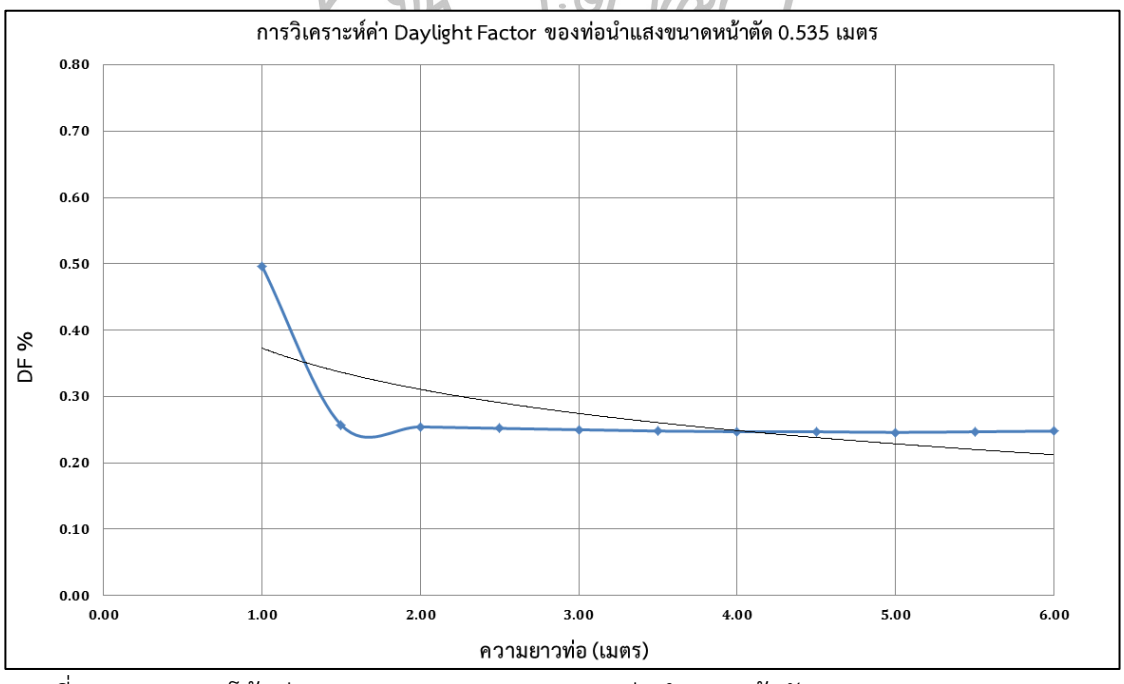
จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างภายนอกมีผลกับแสงสว่างภายในโดยตรงในช่วงเดือนที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคมมีค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงที่น้อยกว่าช่วงเดือนอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 50% ของช่วงเดือนอื่นๆ และเมื่อแบ่งเป็นช่วงเวลาในแต่ละวัน ค่าความส่องสว่างมากที่สุดในช่วงวันอยู่ที่เวลา 11.00น. – 13.00น. โดยปริมาณค่าความส่องสว่างที่มากที่สุดคือการติดตั้งท่อนำแสงด้วยความยาว 1.00 เมตร เมื่อความยาวท่อที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความส่องสว่างที่ได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จาก

ความยาวท่อ 1.00 เมตร สูงกว่าความยาวท่ออื่นๆ 1 เท่า ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และจากตารางที่ 57 – 60 ทำให้เห็นว่ามีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในการติดตั้งความยาวท่อ 5.00 – 6.00 เมตร ในช่วงเดือน เมษายน, มิถุนายน, กันยายน

คำนวณค่า Daylight Factor (DF) ปริมาณค่าความส่องสว่างในภาพรวม ของท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีหน้าตัด 0.54 เมตร โดยมีความยาวท่อที่ต่างกันตั้งแต่ 1.00 – 6.00 เมตร ผลที่ได้คือระยะความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นในขนาดหน้าตัดท่อที่เท่ากัน ทำให้แสงสว่างที่ได้ภายในอาคารลดลงเล็กน้อยดังตารางที่ 56 เมื่อใช้ท่อยาว 1.00 เมตร จะมี Daylight Factor สูกกว่าหน้าตัดอื่นประมาณ 1 เท่า

ตารางที่ 56 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร

ความยาวท่อ (เมตร)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
DF (%)	0.50	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25



ภาพที่ 97 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร

จากนั้นเมื่อนำค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐาน ค่ามาตรฐานแสงสว่างที่ใช้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำอยู่ที่ 300 – 500 Lux (ตามมาตรฐานความสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยปี 2550) และวิเคราะห์ค่าการประหยัดพลังงานที่ได้จากการชดเชยค่าความส่องสว่างจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ ถึงปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้และค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละเดือน เมื่อนำสรุปภายในช่วงเดือนต่างๆจะได้ดังนี้

ตารางที่ 57 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	204	500	113	5,421.43	24,884
1.50	204	500	59	2,836.43	13,019
2.00	204	500	59	2,807.54	12,887
2.50	204	500	58	2,797.83	12,842
3.00	204	500	58	2,788.87	12,801
3.50	204	500	58	2,763.64	12,685
4.00	204	500	58	2,770.69	12,717
4.50	204	500	58	2,778.28	12,752
5.00	204	500	58	2,777.46	12,749
5.50	204	500	58	2,797.40	12,840
6.00	204	500	59	2,813.63	12,915

ตารางที่ 58 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	204	500	101	4,809.12	22,074
1.50	204	500	53	2,515.07	11,544
2.00	204	500	52	2,505.40	11,500
2.50	204	500	52	2,492.28	11,440
3.00	204	500	52	2,474.79	11,359
3.50	204	500	52	2,466.35	11,321
4.00	204	500	51	2,463.06	11,305
4.50	204	500	52	2,481.57	11,390
5.00	204	500	52	2,479.62	11,381
5.50	204	500	52	2,485.87	11,410
6.00	204	500	52	2,505.33	11,499

ตารางที่ 59 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	204	500	101	4,836.95	22,202
1.50	204	500	53	2,517.32	11,555
2.00	204	500	52	2,491.97	11,438
2.50	204	500	52	2,472.47	11,349
3.00	204	500	51	2,457.32	11,279
3.50	204	500	51	2,447.21	11,233
4.00	204	500	51	2,434.57	11,175
4.50	204	500	51	2,441.61	11,207
5.00	204	500	51	2,432.84	11,167
5.50	204	500	51	2,449.84	11,245
6.00	204	500	52	2,469.55	11,335

ตารางที่ 60 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

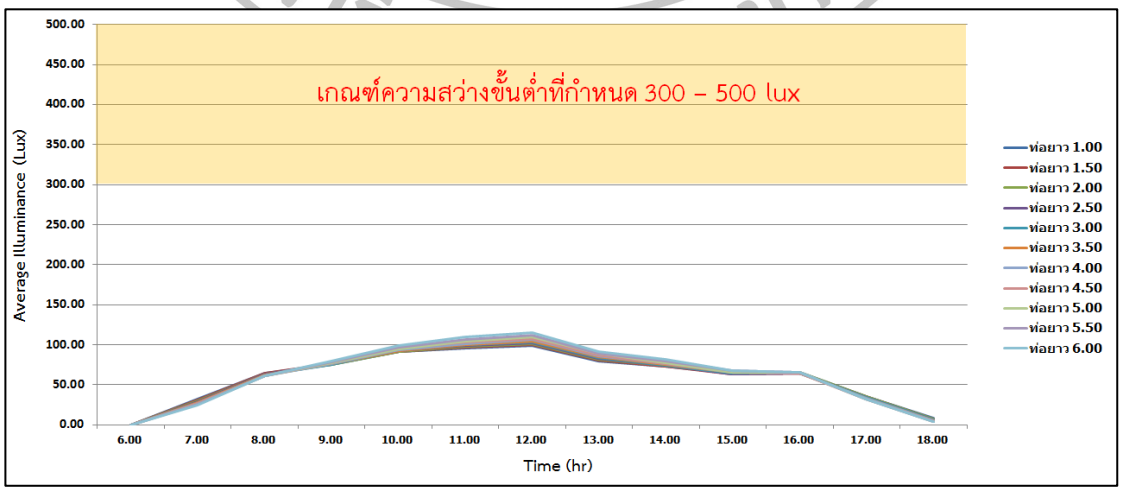
ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	204	500	52	2,508.04	11,896
1.50	204	500	26	1,265.91	6,004
2.00	204	500	26	1,239.45	5,879
2.50	204	500	25	1,216.00	5,768
3.00	204	500	25	1,195.59	5,671
3.50	204	500	25	1,177.30	5,584
4.00	204	500	24	1,161.37	5,508
4.50	204	500	24	1,142.79	5,420
5.00	204	500	23	1,129.81	5,359
5.50	204	500	23	1,126.89	5,345
6.00	204	500	23	1,118.88	5,307

2.4 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 10.80 x 10.80 เมตร

ตารางที่ 61 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11,880.00	32	31	30	29	28	28	27	26	26	25	25
8.00	62	22,710.00	65	64	64	63	63	62	62	62	61	61	62
9.00	47	26,390.00	75	76	75	76	76	77	76	78	77	79	79
10.00	33	31,200.00	91	92	91	92	93	93	94	95	95	97	99
11.00	18	32,980.00	96	97	98	99	101	100	101	103	105	107	109
12.00	4	33,940.00	99	100	101	102	103	105	106	108	110	112	115
13.00	11	27,470.00	80	81	82	83	84	85	86	87	89	89	91
14.00	25	25,020.00	73	74	74	74	75	76	77	77	78	79	81
15.00	40	22,080.00	64	64	64	64	65	66	65	66	66	67	68
16.00	54	22,790.00	65	64	65	65	64	65	65	64	65	65	66
17.00	68	12,800.00	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33
18.00	83	3,250.00	8	8	7	7	6	6	5	5	5	4	4

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

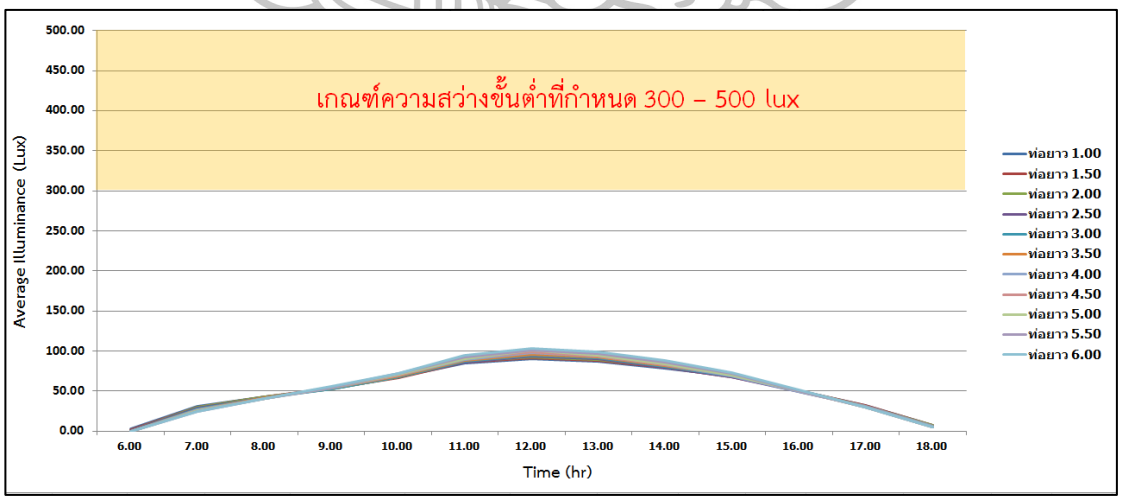


ภาพที่ 98 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 62 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	31	31	30	29	28	27	27	26	25	25	24
8.00	62	15170.00	43	43	43	42	42	42	41	41	41	41	41
9.00	48	18530.00	53	53	53	54	53	54	54	54	54	54	56
10.00	35	23180.00	68	67	68	68	68	69	70	69	71	72	72
11.00	22	29170.00	85	86	87	86	87	88	90	91	91	93	95
12.00	11	31100.00	91	92	93	94	95	96	97	99	101	101	103
13.00	13	29970.00	87	88	89	90	91	93	94	94	95	97	99
14.00	25	27100.00	79	80	81	80	81	82	83	83	84	86	88
15.00	39	23520.00	69	68	69	68	69	70	69	70	70	72	73
16.00	52	17550.00	50	51	50	50	50	50	50	51	50	50	52
17.00	66	11490.00	32	32	32	31	31	31	31	30	30	30	30
18.00	80	2940.00	8	7	7	7	6	6	6	6	5	5	5

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

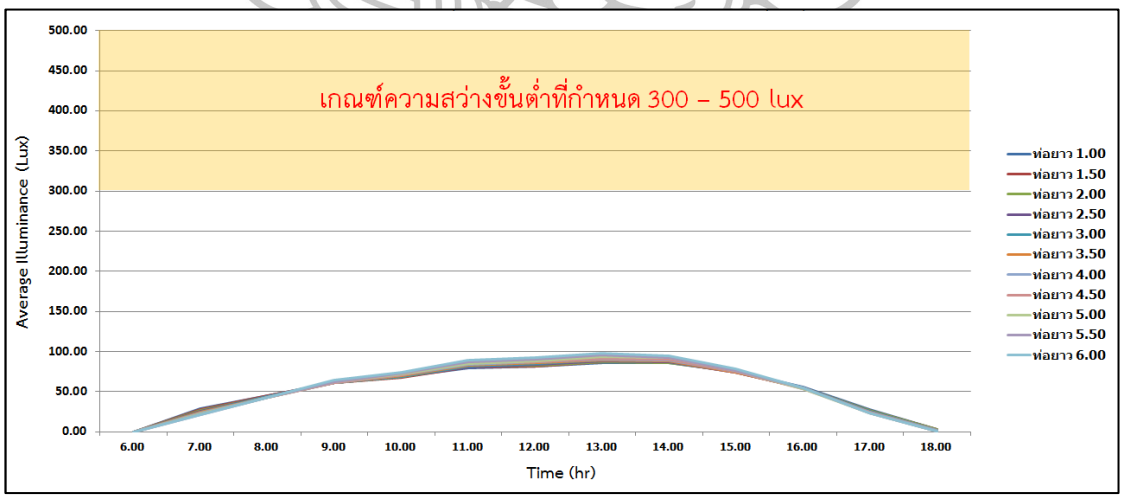


ภาพที่ 99 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 63 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	29	28	27	26	25	24	24	23	22	22	21
8.00	63	15890.00	45	45	45	44	44	43	43	43	43	43	43
9.00	49	21340.00	61	62	61	62	61	61	62	61	63	63	64
10.00	34	23660.00	69	68	69	70	69	70	71	71	72	74	74
11.00	22	27460.00	80	81	82	81	82	83	84	86	85	87	89
12.00	13	27890.00	81	82	83	84	85	86	87	87	89	90	93
13.00	18	29450.00	86	87	88	89	90	89	90	92	94	95	98
14.00	30	29660.00	86	87	87	88	89	88	89	91	92	92	95
15.00	44	25710.00	75	74	75	74	75	75	76	76	77	77	79
16.00	58	19560.00	56	55	55	54	55	55	54	54	54	55	55
17.00	73	10060.00	28	27	27	26	26	25	24	24	24	24	23
18.00	86	1530.00	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx

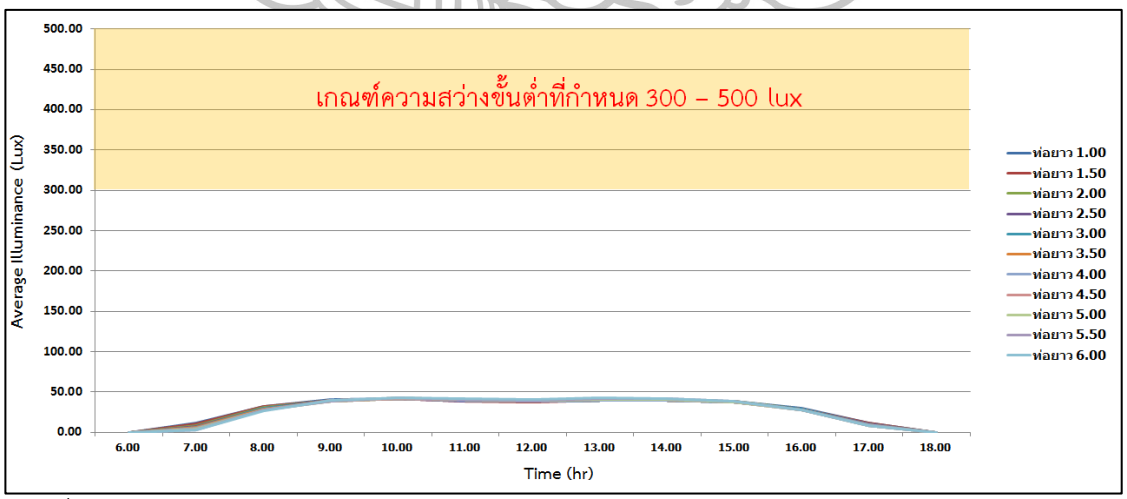


ภาพที่ 100 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 64 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	12	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3
8.00	73	11730.00	32	32	31	30	30	29	28	28	28	28	27
9.00	60	14190.00	41	40	40	39	39	39	39	39	39	39	39
10.00	50	14610.00	42	42	42	42	42	42	42	42	43	43	43
11.00	41	13520.00	39	39	39	39	40	39	40	41	40	41	41
12.00	37	13160.00	38	38	38	39	39	39	39	39	40	40	41
13.00	39	13610.00	40	39	40	39	40	40	40	41	41	42	43
14.00	45	13850.00	40	40	40	40	40	40	40	41	41	41	42
15.00	55	13440.00	38	38	38	38	38	38	38	38	38	39	39
16.00	66	10550.00	30	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
17.00	79	4470.00	12	11	11	11	10	10	9	9	9	8	8
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้ 0 - 99 lx | 100 – 199 lx | 200 – 299 lx | 300 – 399 lx



ภาพที่ 101 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.4.1 สรุปการเปรียบเทียบค่าความสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่โดยท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร

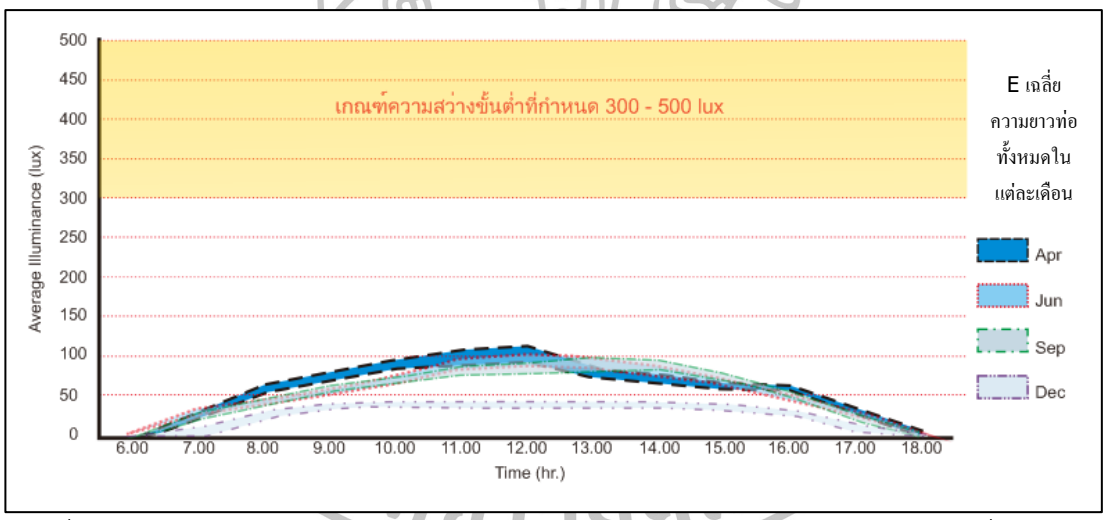
2.4.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.4.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 63 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 10.80 x 10.80 เมตร)

2.4.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.4.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.4.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 6.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 102 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร วัดจากค่าเฉลี่ย (Mean) ของความส่องสว่างภายนอก

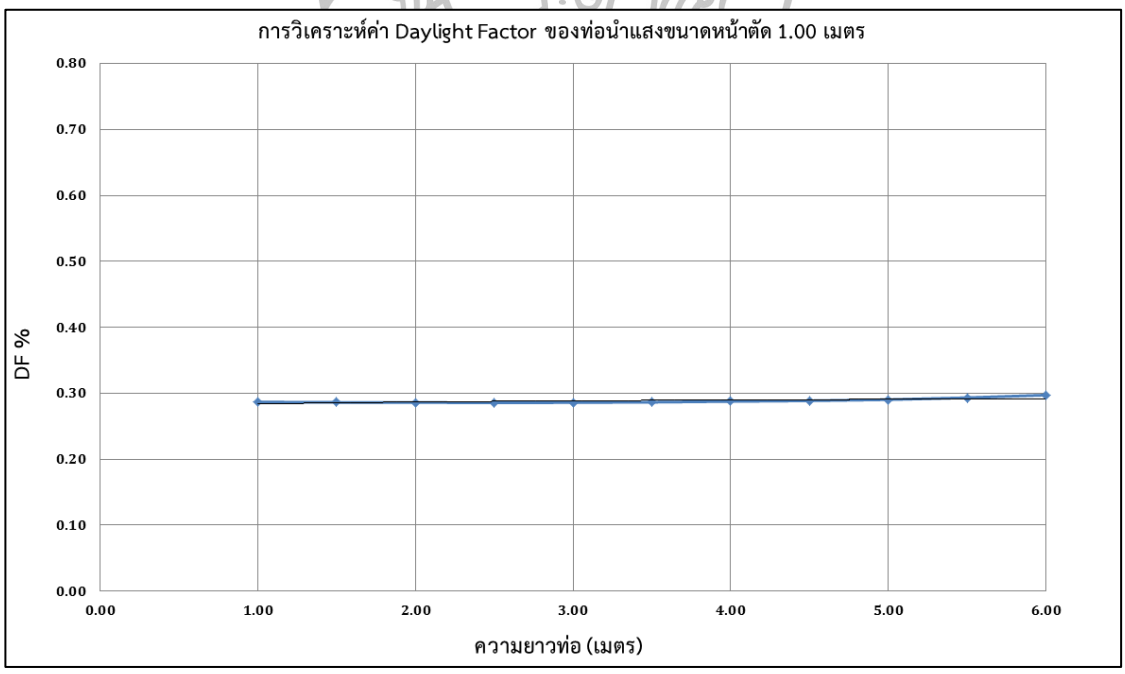
จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างภายนอกมีผลกับแสงสว่างภายในโดยตรงในช่วงเดือนที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคมมีค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงที่น้อยกว่าช่วงเดือนอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 50% ของช่วงเดือนอื่นๆ และเมื่อแบ่งเป็นช่วงเวลาในแต่ละวัน ค่าความส่องสว่างมากที่สุดในช่วงวันอยู่ที่เวลา 11.00น. – 13.00น. โดยปริมาณค่าความส่องสว่างที่มากที่สุดคือการติดตั้งท่อนำแสงด้วยความยาว 1.00 เมตร เมื่อความยาวท่อที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความส่องสว่างที่ได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จาก

ความยาวท่อค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยการติดตั้งด้วยความยาวท่อ 6.00 เมตร สูงกว่าความยาวท่ออื่นๆ เพียงเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาดังตารางที่ 61 – 64

คำนวณค่า Daylight Factor (DF) ปริมาณค่าความส่องสว่างในภาพรวม ของท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีหน้าตัด 1.00 เมตร โดยมีความยาวท่อที่ต่างกันตั้งแต่ 1.00 – 6.00 เมตร ผลที่ได้คือระยะความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นในขนาดหน้าตัดท่อที่เท่ากัน ทำให้แสงสว่างที่ได้ภายในอาคารเพิ่มขึ้นไปตามลำดับดังตารางที่ 65 เมื่อใช้ท่อยาว 6.00 เมตร จะมี Daylight Factor สูกกว่าหน้าตัดอื่นๆ ซึ่งมีแนวโน้มของผลการทดลองที่ต่างจากหน้าตัดท่อขนาด 0.35, 0.46, 0.54 ที่มีค่า Daylight Factor สูงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อติดตั้งโดยใช้ท่อยาว 1.00 เมตร

ตารางที่ 65 แสดงค่าจากการคำนวณค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร

ความยาวท่อ (เมตร)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
DF (%)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30



ภาพที่ 103 แสดงแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร

จากนั้นเมื่อนำค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐาน ค่ามาตรฐานแสงสว่างที่ใช้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำอยู่ที่ 300 – 500 Lux (ตามมาตรฐานความสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยปี 2550) และวิเคราะห์ค่าการประหยัดพลังงานที่ได้จากการชดเชยค่าความส่องสว่างจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ ถึงปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้และค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละเดือน เมื่อนำสรุปภายในช่วงเดือนต่างๆจะได้ดังนี้

ตารางที่ 66 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	63	300 - 500	65	3,130.88	14,371
1.50	63	300 - 500	66	3,136.26	14,395
2.00	63	300 - 500	66	3,141.00	14,417
2.50	63	300 - 500	66	3,142.80	14,425
3.00	63	300 - 500	66	3,155.60	14,484
3.50	63	300 - 500	66	3,167.81	14,540
4.00	63	300 - 500	67	3,183.25	14,611
4.50	63	300 - 500	67	3,206.61	14,718
5.00	63	300 - 500	68	3,231.37	14,832
5.50	63	300 - 500	68	3,271.52	15,016
6.00	63	300 - 500	69	3,318.74	15,233

ตารางที่ 67 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	63	300 - 500	58	2,777.43	12,748
1.50	63	300 - 500	58	2,781.51	12,767
2.00	63	300 - 500	58	2,790.28	12,807
2.50	63	300 - 500	58	2,786.81	12,791
3.00	63	300 - 500	58	2,799.20	12,848
3.50	63	300 - 500	59	2,821.11	12,949
4.00	63	300 - 500	59	2,836.49	13,019
4.50	63	300 - 500	60	2,848.17	13,073
5.00	63	300 - 500	60	2,866.45	13,157
5.50	63	300 - 500	61	2,897.12	13,298
6.00	63	300 - 500	62	2,948.94	13,536

ตารางที่ 68 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	63	300 - 500	58	2,793.49	12,822
1.50	63	300 - 500	58	2,790.96	12,810
2.00	63	300 - 500	58	2,790.42	12,808
2.50	63	300 - 500	58	2,791.83	12,815
3.00	63	300 - 500	59	2,802.56	12,864
3.50	63	300 - 500	58	2,797.26	12,839
4.00	63	300 - 500	59	2,821.29	12,950
4.50	63	300 - 500	59	2,826.35	12,973
5.00	63	300 - 500	60	2,854.05	13,100
5.50	63	300 - 500	60	2,883.86	13,237
6.00	63	300 - 500	61	2,928.70	13,443

ตารางที่ 69 สรุปค่าความส่องสว่างและอัตราการประหยัดพลังงานท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงภายในห้าง (Lux)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/เดือน (kWh)	ค่าใช้จ่าย/เดือน (บาท)
1.00	63	300 - 500	30	1,449.15	6,873
1.50	63	300 - 500	30	1,434.94	6,806
2.00	63	300 - 500	30	1,424.93	6,758
2.50	63	300 - 500	30	1,414.82	6,711
3.00	63	300 - 500	29	1,404.81	6,663
3.50	63	300 - 500	29	1,400.21	6,641
4.00	63	300 - 500	29	1,396.19	6,622
4.50	63	300 - 500	29	1,397.11	6,626
5.00	63	300 - 500	29	1,395.37	6,618
5.50	63	300 - 500	29	1,405.16	6,665
6.00	63	300 - 500	30	1,411.91	6,697

สรุปเมื่อเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานของท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ เป็นรายปี รายละเอียดในการวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

การคำนวณคิดเฉพาะค่าแสงสว่างเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ (General Lighting) ในพื้นที่ส่วน Super Store

การลดใช้กำลังไฟฟ้าทุกๆ 1 หน่วย (kWh) จะช่วยลดการปล่อย Co_2 ไปได้ถึง 0.5610 กิโลกรัม

ในส่วนของราคาท่อนำแสงเป็นราคาจากการประมาณการโดยเฉลี่ยของทางบริษัทผู้ผลิต ในวันที่ 20 ตุลาคม 2558

ท่อนำแสงขนาด 1.00 เมตร เป็นขนาดที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้เปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพเท่านั้นยังไม่มีการผลิตเพื่อจำหน่อยอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

ชุดท่อนำแสงขนาดหน้าตัด 0.35, 0.46, 0.54 ราคาอยู่ที่ 20,000, 30,000, 40,000 บาท ตามลำดับ โดยเริ่มต้นที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร พร้อมอุปกรณ์ทั้งหมดสำหรับท่อนำแสง 1 ชุด หากมีการเพิ่มความยาวท่อคิดในราคา 1.00 เมตร ราคาจะเพิ่มขึ้นชนิดของหน้าตัดท่อ 3,000, 4,000, 5,000 บาท ตามลำดับ ส่วนอัตราค่าติดตั้งอยู่ที่ 5,000 บาท ต่อท่อนำแสง 1 ชุด ดังตารางที่ 70

ตารางที่ 70 แสดงราคาต่อท่อนำแสงประเภทต่างๆ

ความยาวท่อ (m)	ขนาดหน้าตัดท่อ/ราคารวมค่าติดตั้ง			
	0.35	0.46	0.54	1.00
1.00	25,000	35,000	45,000	-
2.00	28,000	39,000	50,000	-
3.00	31,000	43,000	55,000	-
4.00	34,000	47,000	60,000	-
5.00	37,000	51,000	65,000	-
6.00	40,000	55,000	70,000	-

ตารางที่ 71 สรุปประสิทธิภาพของท่อนำแสงในการนำมาใช้กับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

หน้าตัดท่อนำแสง (m)	ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสง (lux)	งบประมาณในการลงทุน (บาท)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/ปี (kWh)	ประหยัด/ปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	ช่วยลด Co_2 (kg)
0.35	1.00	473	21 – 256	11,825,000	76,069.86	350,880	34	42,675
	1.50	473	4 – 89	13,244,000	25,570.89	117,897	112	14,345
	2.00	473	3 – 90	13,244,000	25,114.14	115,785	114	14,089
	2.50	473	3 – 91	14,663,000	24,695.34	113,847	129	13,854
	3.00	473	2 – 93	14,663,000	24,275.94	111,909	131	13,618
	3.50	473	2 – 94	16,082,000	23,997.99	110,616	145	13,462
	4.00	473	1 – 95	16,082,000	23,742.51	109,431	147	13,320
	4.50	473	1 – 97	17,501,000	23,462.79	108,135	162	13,163
	5.00	473	1 – 96	17,501,000	23,346.90	107,595	163	13,098
	5.50	473	1 – 98	18,920,000	23,204.70	106,941	177	13,018
	6.00	473	1 – 101	18,920,000	23,147.22	106,662	177	12,986
0.46	1.00	300	18 – 215	10,500,000	66,224.13	305,412	34	37,152
	1.50	300	6 – 99	11,700,000	29,089.77	134,139	87	16,319
	2.00	300	5 – 101	11,700,000	28,731.12	132,474	88	16,118
	2.50	300	4 – 102	12,900,000	28,415.88	131,013	98	15,941
	3.00	300	3 – 103	12,900,000	28,125.66	129,666	99	15,779
	3.50	300	3 – 104	14,100,000	27,934.56	128,781	109	15,671
	4.00	300	2 – 106	14,100,000	27,731.37	127,836	110	15,557
	4.50	300	2 – 108	15,300,000	27,699.45	127,680	120	15,539
	5.00	300	2 – 109	15,300,000	27,571.47	127,089	120	15,468
	5.50	300	2 – 112	16,500,000	27,685.62	127,605	129	15,532
	6.00	300	1 – 114	16,500,000	27,706.32	127,698	129	15,543
0.54	1.00	204	14 – 172	9,180,000	52,726.62	243,168	38	29,580
	1.50	204	6 – 93	10,200,000	27,404.19	126,366	81	15,374
	2.00	204	5 – 94	10,200,000	27,133.08	125,112	82	15,222
	2.50	204	4 – 95	11,220,000	26,935.74	124,197	90	15,111
	3.00	204	4 – 96	11,220,000	26,749.71	123,330	91	15,007
	3.50	204	3 – 97	12,240,000	26,563.50	122,469	100	14,902
	4.00	204	3 – 99	12,240,000	26,489.07	122,115	100	14,860.
	4.50	204	2 – 100	13,260,000	26,532.75	122,307	108	14,885
	5.00	204	2 – 102	13,260,000	26,459.19	121,968	109	14,844
	5.50	204	2 – 104	14,280,000	26,580.00	122,520	117	14,911
	6.00	204	2 – 107	14,280,000	26,722.17	123,168	116	14,991

ตารางที่ 71 สรุปประสิทธิภาพของท่อนำแสงในการนำมาใช้กับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ (ต่อ)

หน้าตัดท่อนำแสง (m)	ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสง (lux)	งบประมาณในการลงทุน (บาท)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/ปี (kWh)	ประหยัด/ปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	ช่วยลด Co_2 (kg)
1.00	1.00	63	8 – 99	-	30,452.85	140,442	-	17,084
	1.50	63	8 – 100	-	30,431.01	140,334	-	17,072
	2.00	63	7 – 101	-	30,439.89	140,370	-	17,077
	2.50	63	7 – 102	-	30,408.78	140,226	-	17,059
	3.00	63	6 – 104	-	30,486.51	140,577	-	17,103
	3.50	63	6 – 105	-	30,559.17	140,907	-	17,144
	4.00	63	5 – 106	-	30,711.66	141,606	-	17,229
	4.50	63	5 – 108	-	30,834.72	142,170	-	17,298
	5.00	63	5 – 110	-	31,041.72	143,121	-	17,414
	5.50	63	4 – 112	-	31,372.98	144,648	-	17,600
	6.00	63	4 – 115	-	31,824.87	146,727	-	17,854

สรุปจากตารางที่ 71 ท่อนำแสงที่ขนาดหน้าตัดที่กว้าง จะสามารถนำแสงเข้ามาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าท่อนำแสงที่มีหน้าตัดแคบ และยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและจำนวนที่ ที่ต้องใช้ภายในพื้นที่ได้เป็นอย่างมาก ซึ่งจากการทดลองนั้นท่อนำแสงที่มีความยาวท่อ 1.00 เมตร จะสามารถให้แสงสว่างภายในได้มากที่สุดเนื่องจากลดระยะการสะท้อนและดูดกลืนแสงไปได้เป็นอย่างมาก ทำให้เมื่อท่อนำแสงมีขนาดความยาวท่อที่มากขึ้น ส่งผลให้แสงที่ได้นั้นลดลงไปด้วยเมื่อทำการติดตั้งตามรูปแบบและระยะการติดตั้งตามที่กำหนด

2. การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ในท่อนำแสงแนวดิ่งกำหนดรูปแบบระยะห่างของท่อเป็นระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดหน้าตัดท่อที่เปลี่ยนไปและ ระดับความยาวท่อที่เปลี่ยนไปที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของค่าความส่องสว่างเฉลี่ย โดยทำการทดลองในเดือนเมษายน ดังนี้

2.1 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

2.2 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

2.3 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

2.4 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.65 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

2.5 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.85 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

2.6 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

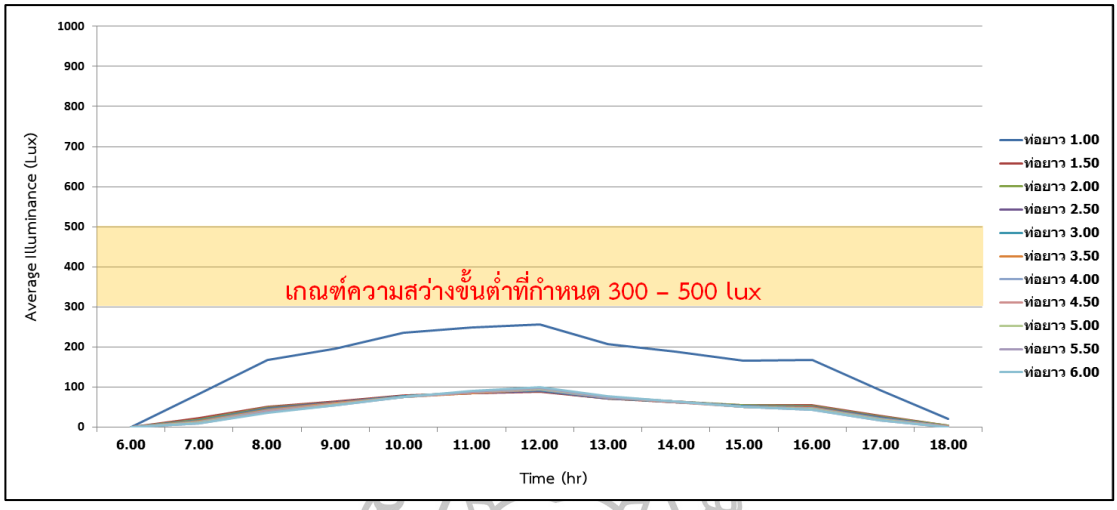
2.1 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนเมษายน) มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 72 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	83	22	20	18	16	15	13	12	11	10	9
8.00	62	22710.00	168	51	49	47	45	43	42	40	38	37	36
9.00	47	26390.00	195	64	62	62	60	60	58	58	56	55	56
10.00	33	31200.00	236	79	78	77	77	76	76	76	75	75	76
11.00	18	32980.00	249	85	86	85	86	86	87	87	88	88	90
12.00	4	33940.00	256	89	90	91	92	94	95	97	96	98	101
13.00	11	27470.00	207	72	72	72	73	74	74	75	76	76	78
14.00	25	25020.00	189	63	64	63	63	64	63	63	64	64	64
15.00	40	22080.00	167	55	54	53	52	52	52	51	50	50	50
16.00	54	22790.00	169	54	53	51	50	48	47	46	45	44	43
17.00	68	12800.00	93	28	26	24	23	21	20	19	18	17	16
18.00	83	3250.00	21	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



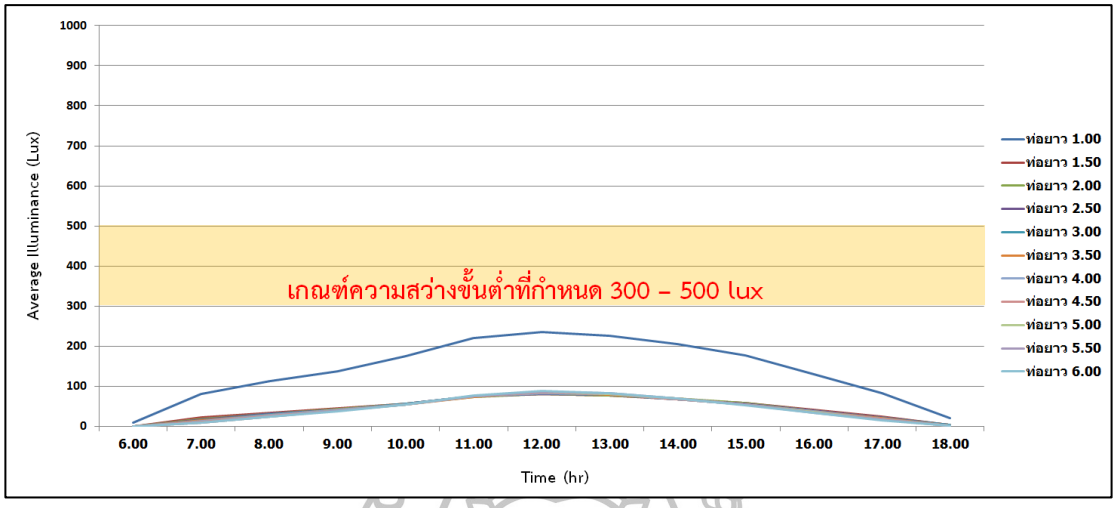
ภาพที่ 104 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 73 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	81	22	20	18	16	14	13	12	10	10	9
8.00	62	15170.00	112	34	33	31	30	29	28	27	25	25	24
9.00	48	18530.00	137	45	44	42	42	41	41	40	39	39	38
10.00	35	23180.00	175	57	57	56	56	56	55	55	55	55	55
11.00	22	29170.00	220	75	75	75	75	74	75	75	76	76	77
12.00	11	31100.00	235	82	81	82	83	84	84	85	87	87	89
13.00	13	29970.00	226	77	78	79	78	79	81	80	82	83	84
14.00	25	27100.00	205	69	69	69	68	69	69	68	70	70	70
15.00	39	23520.00	178	58	58	57	56	55	55	55	55	55	54
16.00	52	17550.00	130	42	41	39	38	38	37	36	35	35	34
17.00	66	11490.00	83	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16
18.00	80	2940.00	20	5	4	3	3	3	2	2	2	1	1

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



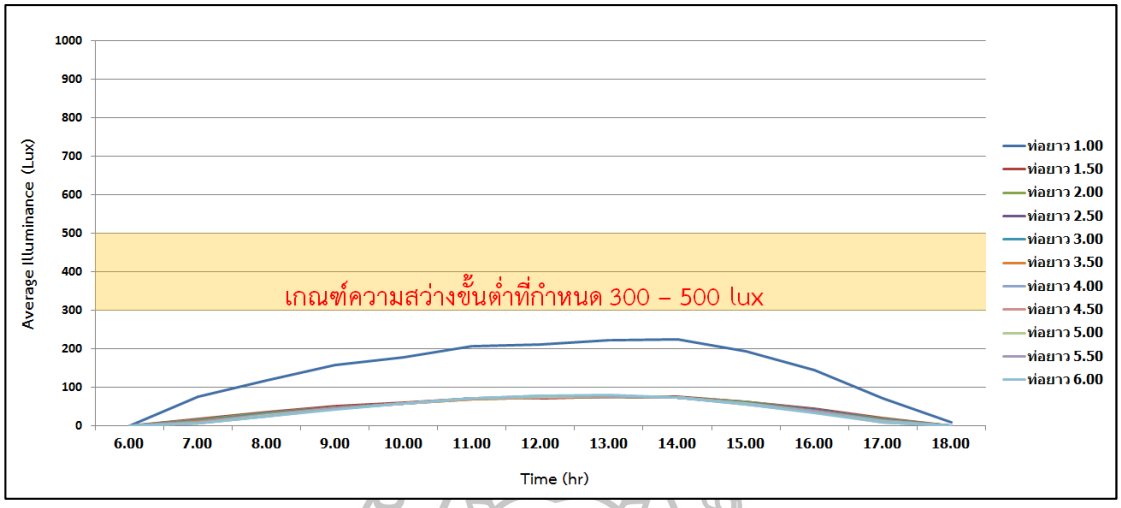
ภาพที่ 105 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 74 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	76	19	17	15	13	12	10	9	8	7	6
8.00	63	15890.00	118	36	34	32	31	30	29	27	26	25	24
9.00	49	21340.00	158	51	50	49	47	47	46	45	45	44	43
10.00	34	23660.00	179	60	59	59	58	58	58	57	57	57	57
11.00	22	27460.00	207	71	70	71	70	70	71	71	72	72	72
12.00	13	27890.00	211	72	73	74	73	74	75	75	76	78	78
13.00	18	29450.00	222	76	77	76	77	77	78	77	79	79	81
14.00	30	29660.00	224	75	74	74	73	74	74	73	73	73	73
15.00	44	25710.00	194	62	62	61	60	59	58	57	57	56	56
16.00	58	19560.00	145	46	43	42	41	39	38	37	36	35	34
17.00	73	10060.00	72	20	19	17	16	14	13	12	11	10	10
18.00	86	1530.00	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



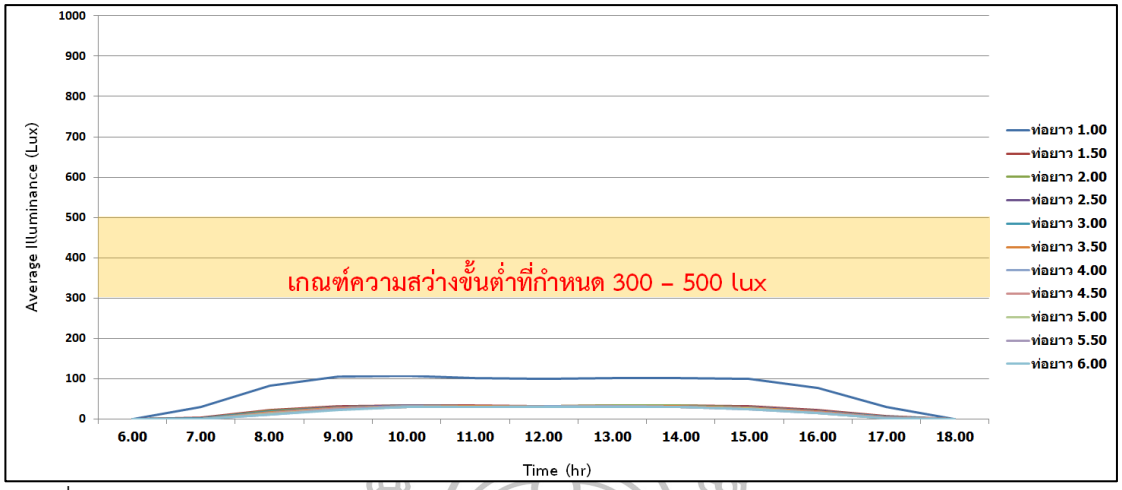
ภาพที่ 106 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 75 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	30	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0
8.00	73	11730.00	83	23	22	20	18	17	16	14	13	12	11
9.00	60	14190.00	105	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23
10.00	50	14610.00	108	35	34	33	33	32	31	31	30	30	30
11.00	41	13520.00	102	33	33	32	32	32	31	31	31	31	30
12.00	37	13160.00	99	33	32	32	32	32	31	31	31	31	31
13.00	39	13610.00	103	34	33	33	32	32	32	32	32	32	31
14.00	45	13850.00	103	34	33	32	32	31	31	30	30	30	30
15.00	55	13440.00	99	31	30	30	29	28	27	27	26	25	25
16.00	66	10550.00	77	23	22	21	20	19	17	17	16	15	15
17.00	79	4470.00	31	8	7	6	5	4	4	3	3	3	2
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



ภาพที่ 107 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.1.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร

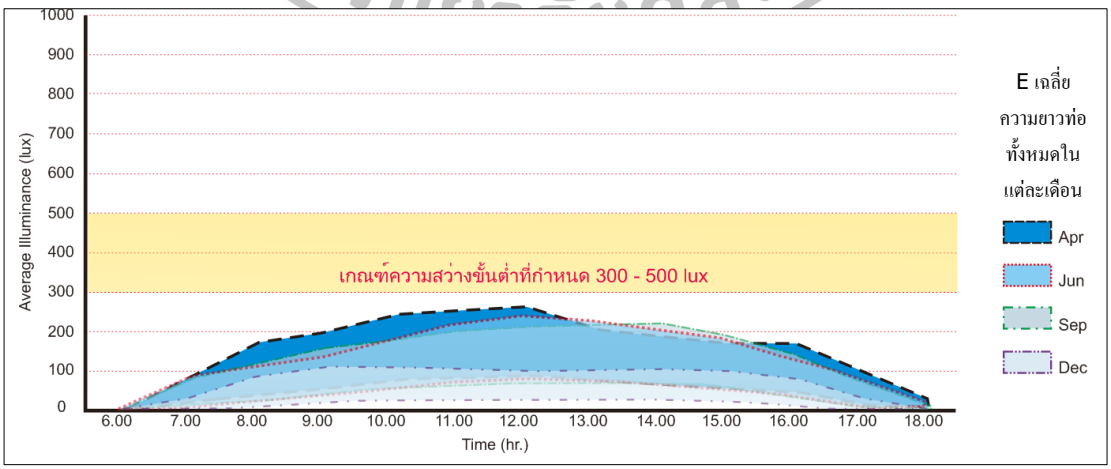
2.1.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.1.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

2.1.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.1.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.1.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 108 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร ติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.35 เมตร เห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างภายนอกมีผลกับแสงสว่างภายในโดยตรงในช่วงเดือนที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับและเมื่อแบ่งเป็นช่วงเวลาในแต่ละวันค่าความส่องสว่างมากที่สุดในช่วงวันจะอยู่ที่เวลา 11.00น. – 13.00น. และผลที่ได้คือระยะความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นในขนาดหน้าตัดท่อที่เท่ากัน ทำให้แสงสว่างที่ได้ภายในอาคารลดลงแต่ในกรณีที่ความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นทำให้ใกล้จุดวัดแสงมากขึ้น จึงทำให้มีค่าของแสงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

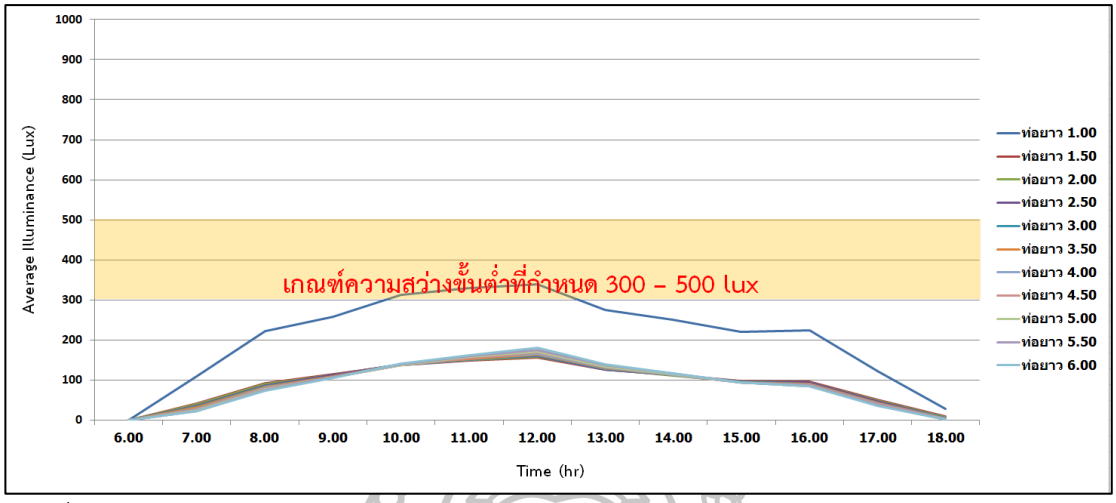
2.2 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนเมษายน) มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 76 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	110	42	39	37	34	31	29	27	25	23	22
8.00	62	22710.00	223	93	90	88	85	83	81	79	77	76	74
9.00	47	26390.00	259	115	114	113	110	109	108	108	107	107	106
10.00	33	31200.00	312	138	140	139	138	139	139	138	138	141	141
11.00	18	32980.00	330	149	151	153	151	153	156	155	158	161	162
12.00	4	33940.00	340	157	158	160	162	164	167	169	173	176	180
13.00	11	27470.00	275	127	128	127	129	130	132	134	134	137	140
14.00	25	25020.00	250	113	112	113	113	114	113	115	115	117	118
15.00	40	22080.00	221	98	97	96	95	95	94	94	94	94	94
16.00	54	22790.00	223	97	94	93	91	90	88	88	86	86	84
17.00	68	12800.00	123	50	49	46	44	43	41	39	38	37	36
18.00	83	3250.00	28	9	7	6	5	4	4	3	3	2	2

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



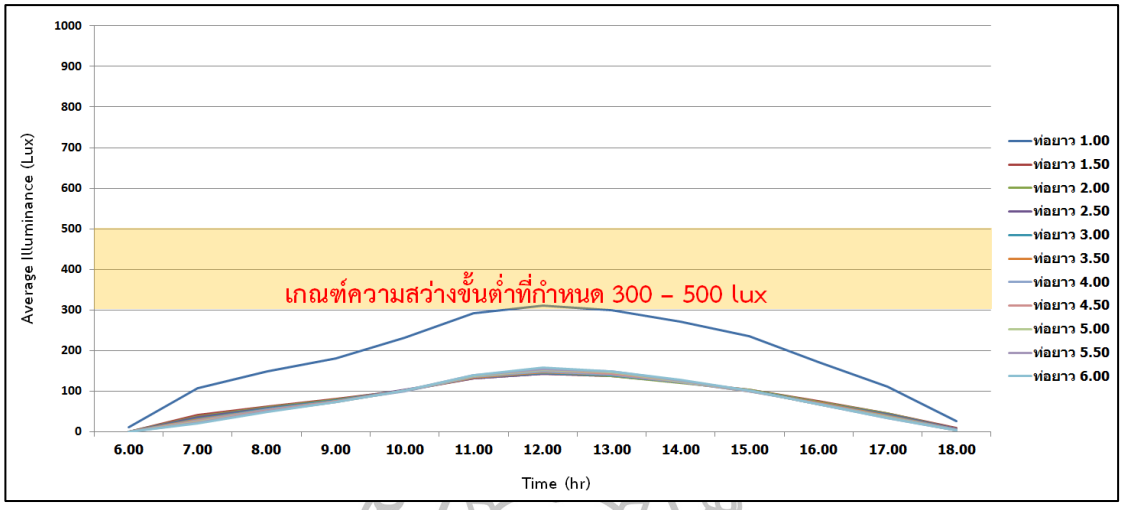
ภาพที่ 109 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 77 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	108	42	39	36	33	31	28	27	25	23	22
8.00	62	15170.00	149	62	60	59	57	55	54	53	51	50	50
9.00	48	18530.00	182	81	80	78	77	76	76	76	74	74	74
10.00	35	23180.00	232	103	102	103	102	101	101	103	102	102	103
11.00	22	29170.00	292	132	133	132	134	133	135	137	137	140	140
12.00	11	31100.00	311	144	145	144	146	148	150	152	152	155	159
13.00	13	29970.00	300	138	137	139	140	142	141	144	146	149	150
14.00	25	27100.00	271	123	121	123	122	124	123	125	125	127	127
15.00	39	23520.00	235	104	103	102	102	101	100	102	102	102	102
16.00	52	17550.00	172	75	74	72	71	71	69	69	67	67	67
17.00	66	11490.00	110	46	45	43	41	39	38	37	36	35	34
18.00	80	2940.00	27	9	8	7	7	6	5	5	4	4	4

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



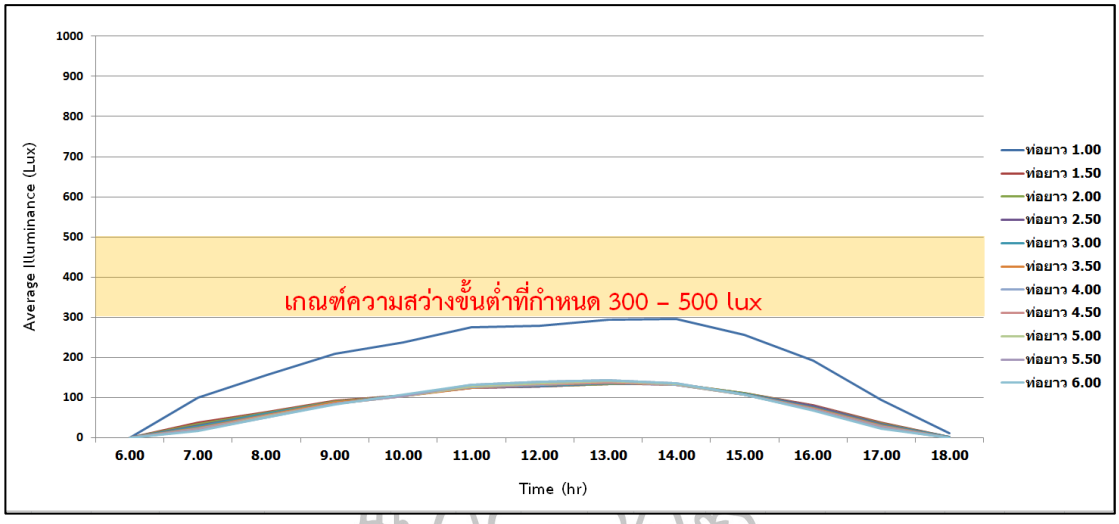
ภาพที่ 110 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 78 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	100	37	34	31	28	25	23	21	20	18	17
8.00	63	15890.00	156	65	63	61	60	57	55	54	53	52	51
9.00	49	21340.00	209	93	90	89	89	88	86	85	85	85	84
10.00	34	23660.00	237	105	106	105	104	104	105	105	104	104	107
11.00	22	27460.00	275	124	126	125	126	125	127	129	129	131	132
12.00	13	27890.00	279	129	128	129	131	132	132	134	136	139	139
13.00	18	29450.00	295	133	135	136	135	137	139	138	141	144	144
14.00	30	29660.00	297	134	133	132	133	133	132	134	134	136	137
15.00	44	25710.00	257	112	111	110	109	108	107	107	107	107	107
16.00	58	19560.00	192	82	79	79	76	74	72	72	71	69	68
17.00	73	10060.00	95	38	35	34	31	29	28	26	25	24	23
18.00	86	1530.00	12	3	2	1	1	1	1	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



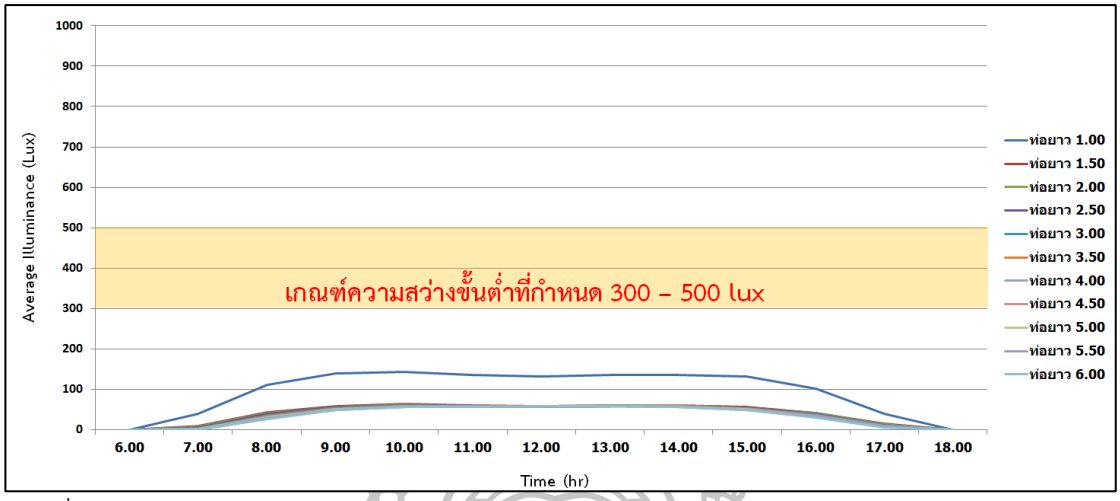
ภาพที่ 111 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 79 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	40	10	7	5	4	3	2	2	1	1	1
8.00	73	11730.00	110	44	41	39	37	34	33	31	29	28	27
9.00	60	14190.00	139	59	58	56	54	53	52	50	50	49	48
10.00	50	14610.00	143	64	62	61	61	59	59	58	57	57	57
11.00	41	13520.00	135	60	59	59	58	58	58	57	57	57	57
12.00	37	13160.00	132	58	58	57	58	58	57	57	57	57	58
13.00	39	13610.00	136	60	60	59	59	58	58	59	59	59	59
14.00	45	13850.00	136	60	60	59	59	58	58	58	58	56	57
15.00	55	13440.00	132	57	56	55	54	53	52	51	50	49	50
16.00	66	10550.00	101	42	41	39	38	36	35	34	33	32	31
17.00	79	4470.00	40	15	13	12	11	10	9	8	7	7	6
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



ภาพที่ 112 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.2.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.46 เมตร

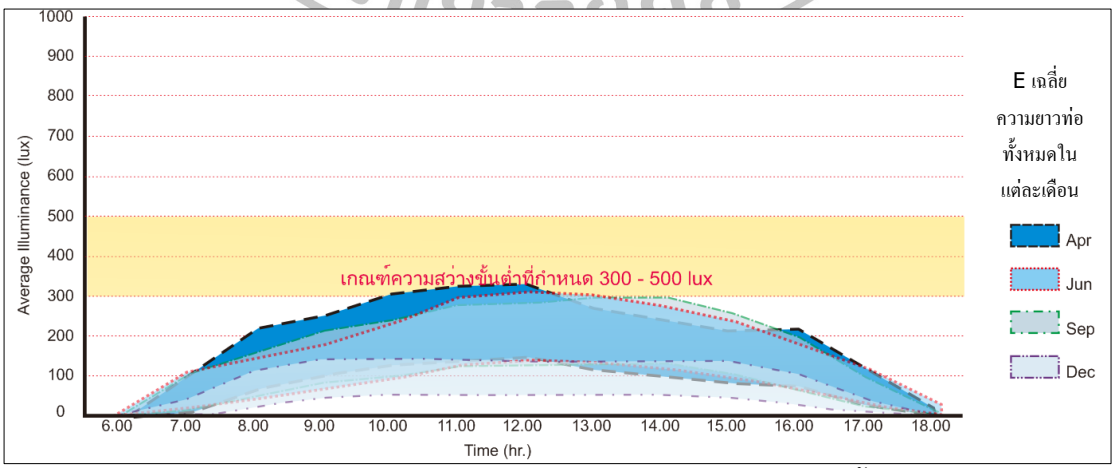
2.2.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.2.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

2.2.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.2.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.2.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 113 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร ติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.46 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร และจากกราฟทำให้เห็นได้ว่าในแต่ละช่วงเดือนจะมีระยะห่างของกราฟความยาวท่อที่แคบลงซึ่งหมายความว่า ความยาวท่อเริ่มมีผลต่อค่าความส่องสว่างน้อยลงเมื่อท่อที่ใช้มีขนาดหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงเดือนที่มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ และด้วยจำนวนท่อที่มากขึ้นทำให้มีปริมาณแสงสว่างที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับการติดตั้งระยะท่อตามมาตรฐานที่บริษัทกำหนด

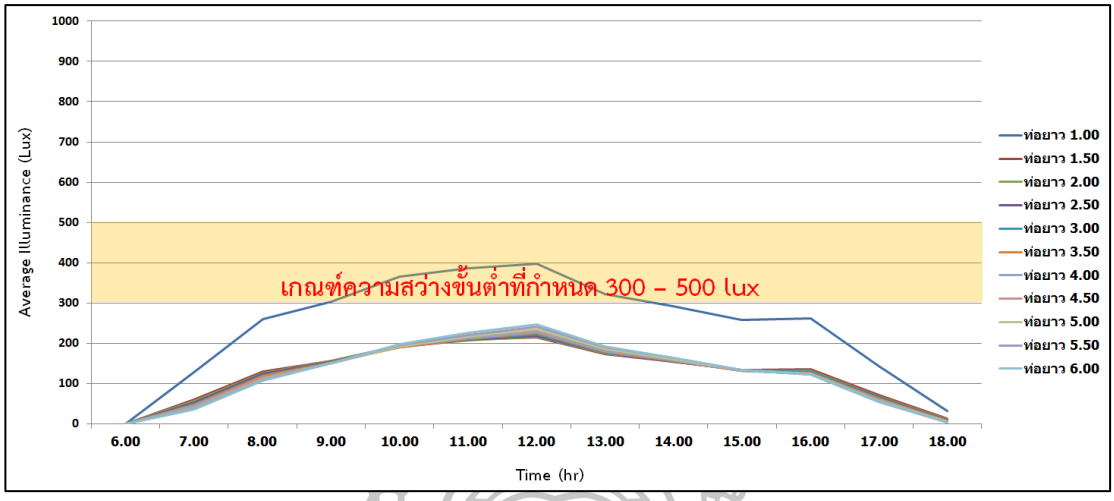
2.3 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนเมษายน) มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 80 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	128	60	57	53	50	47	45	42	39	37	36
8.00	62	22710.00	261	130	126	125	122	118	115	115	112	110	108
9.00	47	26390.00	303	157	156	154	153	152	151	151	150	150	151
10.00	33	31200.00	365	194	192	190	192	191	194	193	193	196	197
11.00	18	32980.00	386	209	207	209	212	210	213	217	216	221	226
12.00	4	33940.00	398	215	217	220	222	225	229	232	236	241	247
13.00	11	27470.00	322	174	176	178	176	179	181	184	188	191	192
14.00	25	25020.00	293	155	157	155	157	156	159	161	161	164	165
15.00	40	22080.00	259	134	133	134	133	132	132	131	134	134	134
16.00	54	22790.00	262	136	132	131	130	126	125	125	125	122	123
17.00	68	12800.00	144	72	68	66	64	62	60	58	56	55	54
18.00	83	3250.00	32	13	11	10	9	7	7	6	5	4	4

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



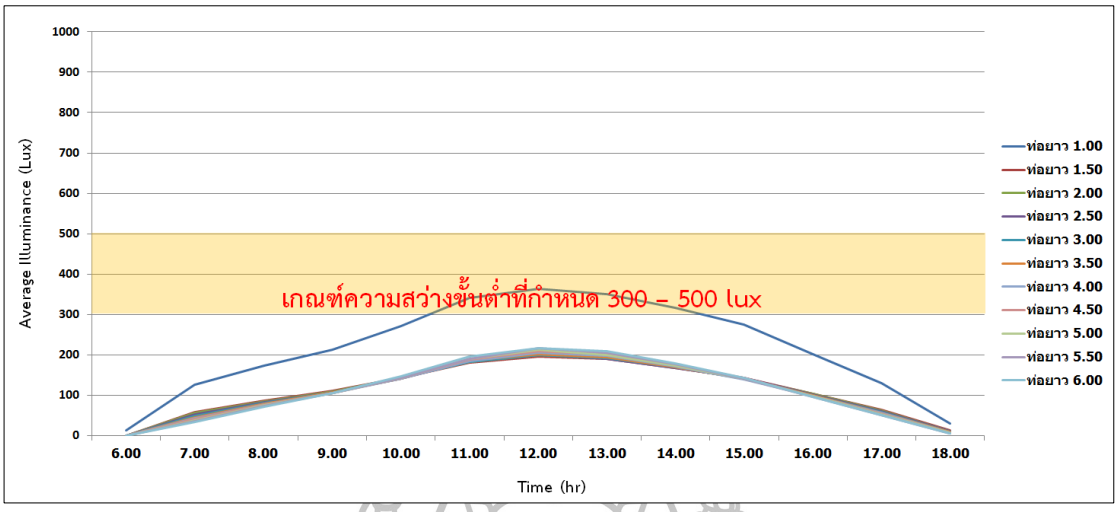
ภาพที่ 114 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 81 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	126	59	56	53	49	46	44	41	39	36	35
8.00	62	15170.00	174	87	84	84	81	79	77	77	75	73	72
9.00	48	18530.00	213	110	109	108	108	107	106	106	105	105	106
10.00	35	23180.00	272	144	142	141	143	142	141	143	143	143	146
11.00	22	29170.00	342	181	183	185	184	186	185	188	191	191	196
12.00	11	31100.00	364	197	199	201	200	202	205	209	212	217	217
13.00	13	29970.00	351	190	192	190	192	195	198	201	201	205	209
14.00	25	27100.00	317	168	170	168	171	169	172	175	174	178	178
15.00	39	23520.00	276	143	142	143	142	141	140	143	142	142	143
16.00	52	17550.00	201	105	104	103	100	99	99	98	98	96	96
17.00	66	11490.00	129	64	63	61	59	57	56	55	53	51	50
18.00	80	2940.00	31	14	12	11	10	9	8	8	7	6	6

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



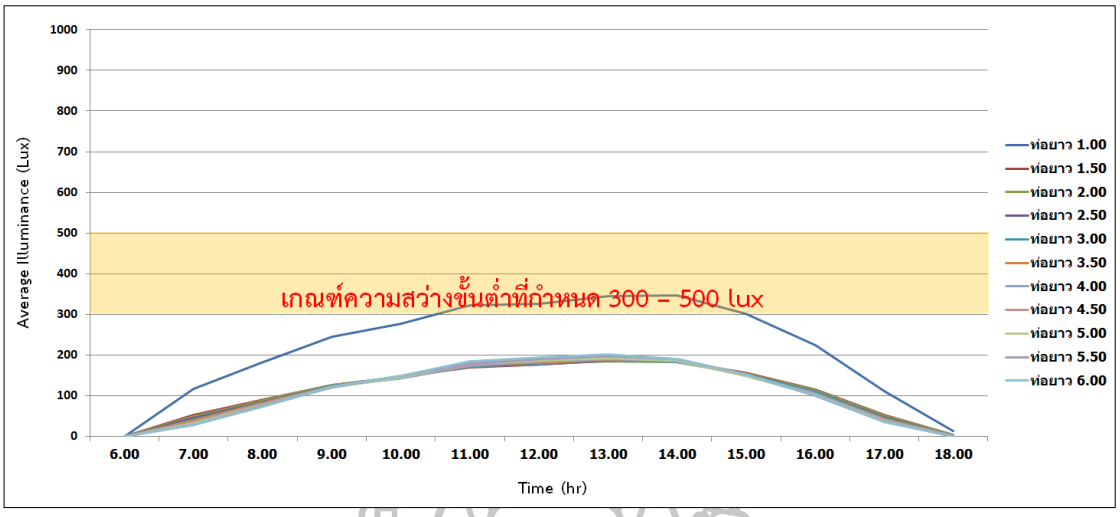
ภาพที่ 115 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 82 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	117	53	49	46	42	39	36	34	32	29	28
8.00	63	15890.00	182	91	88	86	83	83	81	79	77	75	74
9.00	49	21340.00	245	127	126	125	124	123	122	122	121	121	122
10.00	34	23660.00	277	147	145	144	146	145	144	146	146	149	149
11.00	22	27460.00	322	170	172	174	173	175	174	177	180	180	184
12.00	13	27890.00	327	177	178	177	179	181	184	187	187	190	195
13.00	18	29450.00	345	186	185	187	189	188	190	194	193	197	202
14.00	30	29660.00	347	184	182	184	183	185	184	187	187	191	191
15.00	44	25710.00	301	156	155	153	152	151	150	150	149	152	153
16.00	58	19560.00	225	114	113	110	109	106	105	103	103	101	101
17.00	73	10060.00	111	53	51	48	46	44	42	40	38	37	35
18.00	86	1530.00	14	4	3	3	2	2	1	1	1	1	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



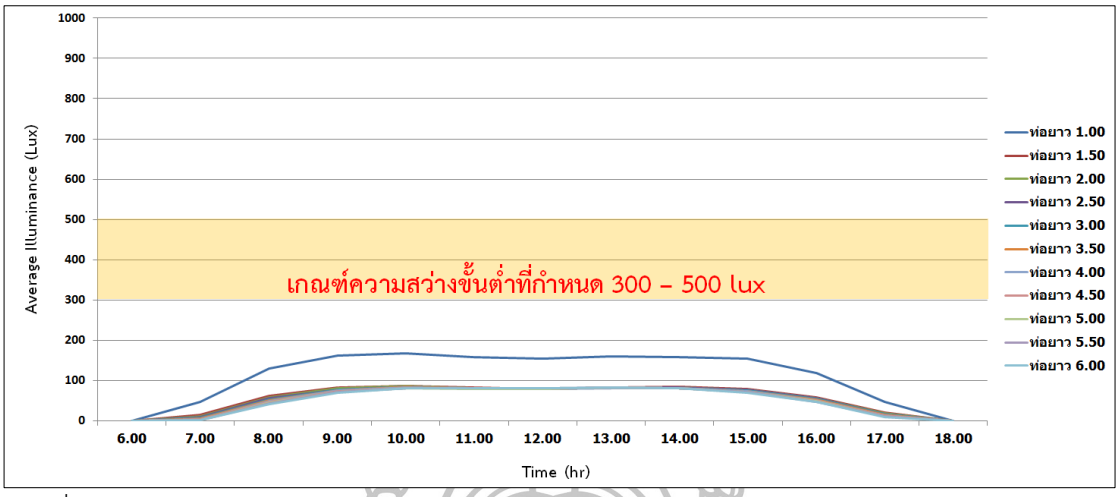
ภาพที่ 116 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 83 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	46	15	12	9	7	5	4	3	2	2	2
8.00	73	11730.00	129	62	59	56	53	51	49	47	45	43	41
9.00	60	14190.00	163	83	80	78	78	75	75	73	72	72	70
10.00	50	14610.00	168	87	86	85	85	84	84	82	82	82	82
11.00	41	13520.00	158	82	81	81	82	81	81	80	80	82	82
12.00	37	13160.00	154	80	81	80	80	81	80	80	80	81	81
13.00	39	13610.00	159	83	82	83	82	82	81	83	82	82	83
14.00	45	13850.00	159	84	83	83	82	81	81	81	80	80	81
15.00	55	13440.00	154	78	78	77	75	74	74	72	72	72	71
16.00	66	10550.00	119	59	57	56	54	53	51	50	49	47	46
17.00	79	4470.00	47	21	19	18	17	15	14	13	12	11	10
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



ภาพที่ 117 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.3.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.54 เมตร

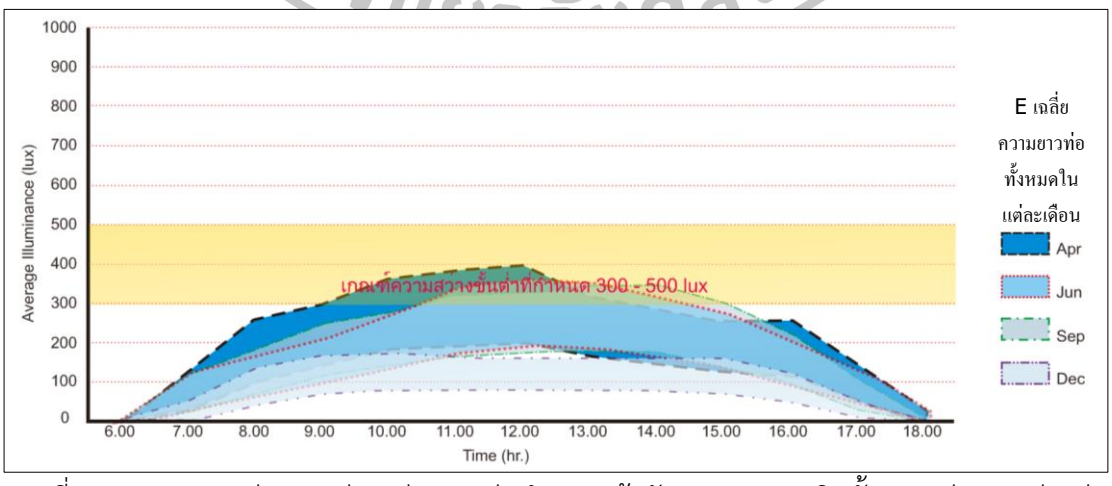
2.3.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.3.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

2.3.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.3.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.3.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 118 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร ติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

จากภาพที่ 120 สรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.54 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 และ 0.46 เมตร และจากกราฟเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงเดือนจะมีระยะห่างของกราฟความยาวท่อที่แคบลงซึ่งหมายความว่า ความยาวท่อเริ่มมีผลต่อค่าความสว่างน้อยลงเมื่อท่อที่ใช้มีขนาดหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น และด้วยจำนวนท่อที่มากขึ้นทำให้มีปริมาณแสงสว่างที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับการติดตั้งระยะท่อตามมาตรฐานที่บริษัทกำหนด

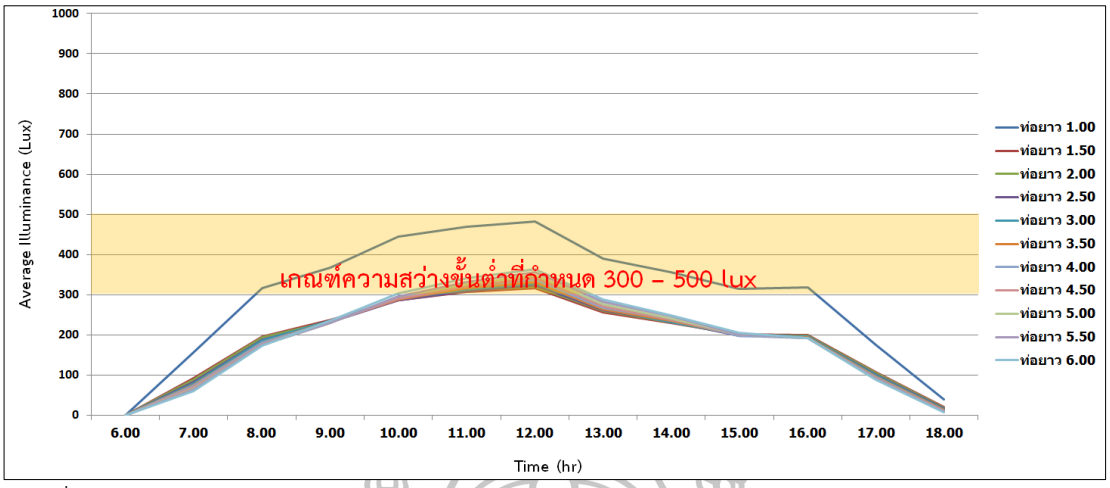
2.4 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.65 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนเมษายน) มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 84 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.65 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	156	93	88	84	80	76	73	70	67	64	60
8.00	62	22710.00	317	196	194	188	187	182	181	176	176	176	173
9.00	47	26390.00	368	237	235	233	235	234	232	231	231	231	236
10.00	33	31200.00	444	286	289	286	290	288	292	291	296	296	303
11.00	18	32980.00	469	308	311	309	313	317	321	320	326	332	340
12.00	4	33940.00	483	317	321	324	328	333	337	343	349	356	365
13.00	11	27470.00	391	257	259	262	266	264	268	272	277	283	289
14.00	25	25020.00	356	229	232	234	232	235	239	238	242	247	248
15.00	40	22080.00	314	202	200	199	201	200	198	202	201	201	206
16.00	54	22790.00	318	200	199	197	195	194	193	192	191	191	192
17.00	68	12800.00	175	108	105	102	99	96	94	92	90	90	88
18.00	83	3250.00	39	21	19	17	15	13	12	11	10	9	8

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



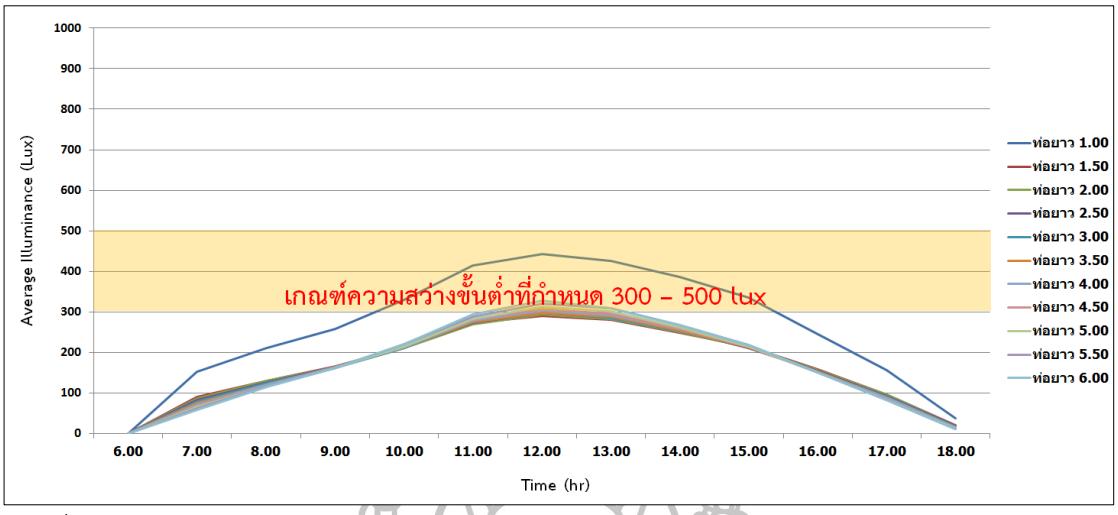
ภาพที่ 119 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 85 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.65 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	153	91	87	82	79	75	72	68	66	63	59
8.00	62	15170.00	212	131	129	126	125	121	121	118	118	118	116
9.00	48	18530.00	258	166	165	163	162	164	163	163	162	162	163
10.00	35	23180.00	330	212	210	213	211	214	213	216	215	220	221
11.00	22	29170.00	415	273	270	273	276	275	279	283	282	288	295
12.00	11	31100.00	443	291	294	297	301	299	303	308	313	320	327
13.00	13	29970.00	427	280	283	286	284	288	292	297	302	308	309
14.00	25	27100.00	386	248	251	254	252	255	259	258	262	268	269
15.00	39	23520.00	335	215	213	211	214	213	216	215	214	219	219
16.00	52	17550.00	245	157	156	155	153	152	151	151	150	150	151
17.00	66	11490.00	157	97	96	93	91	88	88	86	84	82	82
18.00	80	2940.00	38	21	20	18	17	16	15	14	13	12	11

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



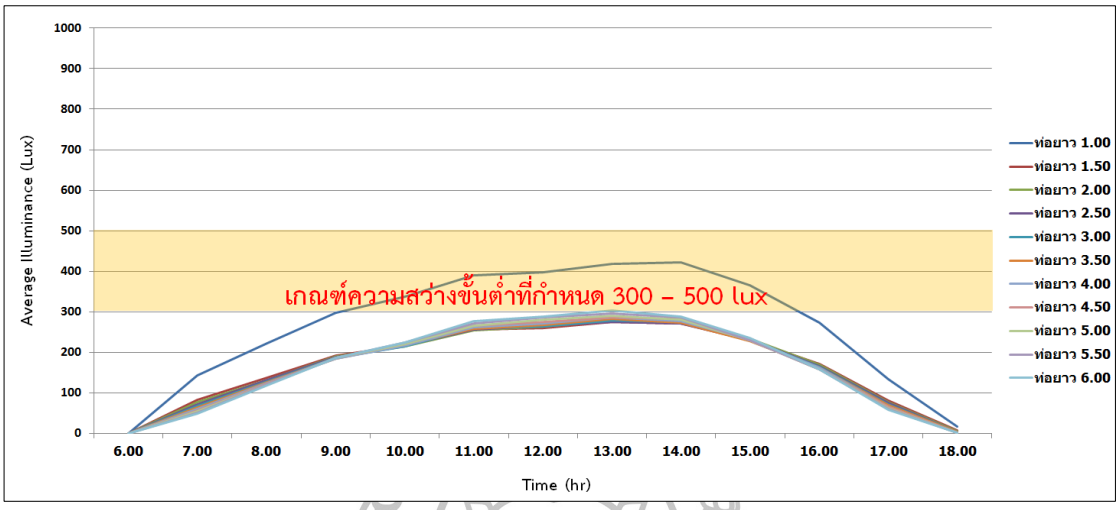
ภาพที่ 120 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 86 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.65 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	143	83	77	72	69	64	61	57	54	52	49
8.00	63	15890.00	222	137	133	132	128	127	124	123	121	121	119
9.00	49	21340.00	298	191	190	188	187	185	184	187	187	187	187
10.00	34	23660.00	337	217	215	217	215	218	217	220	220	224	225
11.00	22	27460.00	391	257	254	257	260	258	262	266	266	271	278
12.00	13	27890.00	397	261	263	266	264	268	272	276	281	287	288
13.00	18	29450.00	419	275	278	276	279	283	287	286	291	297	304
14.00	30	29660.00	422	272	275	272	275	274	278	282	281	287	288
15.00	44	25710.00	366	231	233	231	229	228	231	230	230	230	235
16.00	58	19560.00	273	172	170	166	164	163	162	158	158	158	158
17.00	73	10060.00	135	82	78	75	72	70	67	65	62	61	59
18.00	86	1530.00	16	7	6	5	4	3	3	2	2	1	1

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



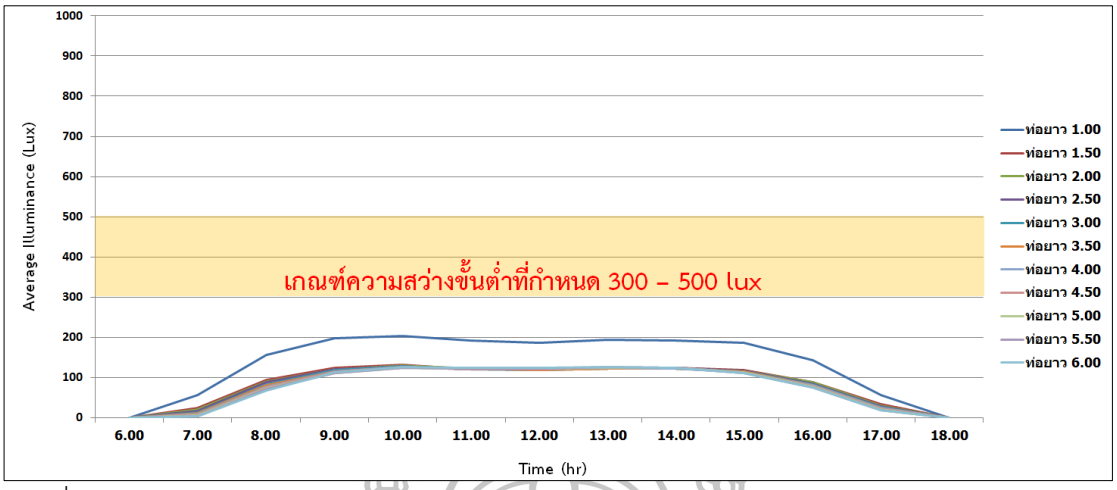
ภาพที่ 121 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 87 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.65 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	56	25	20	17	13	11	9	7	6	5	4
8.00	73	11730.00	157	95	91	88	84	82	78	76	73	71	69
9.00	60	14190.00	198	125	121	120	119	116	115	115	112	112	113
10.00	50	14610.00	204	131	130	129	128	127	126	126	125	125	126
11.00	41	13520.00	192	121	123	122	121	122	122	121	123	123	124
12.00	37	13160.00	187	121	119	121	120	119	121	120	122	122	125
13.00	39	13610.00	194	125	123	122	124	123	125	124	124	127	127
14.00	45	13850.00	193	124	123	125	124	123	122	124	124	124	124
15.00	55	13440.00	187	118	117	116	115	114	114	113	113	111	111
16.00	66	10550.00	144	89	88	86	83	81	81	79	77	75	76
17.00	79	4470.00	58	33	31	29	27	25	24	22	21	20	19
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



ภาพที่ 122 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.4.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.65 เมตร

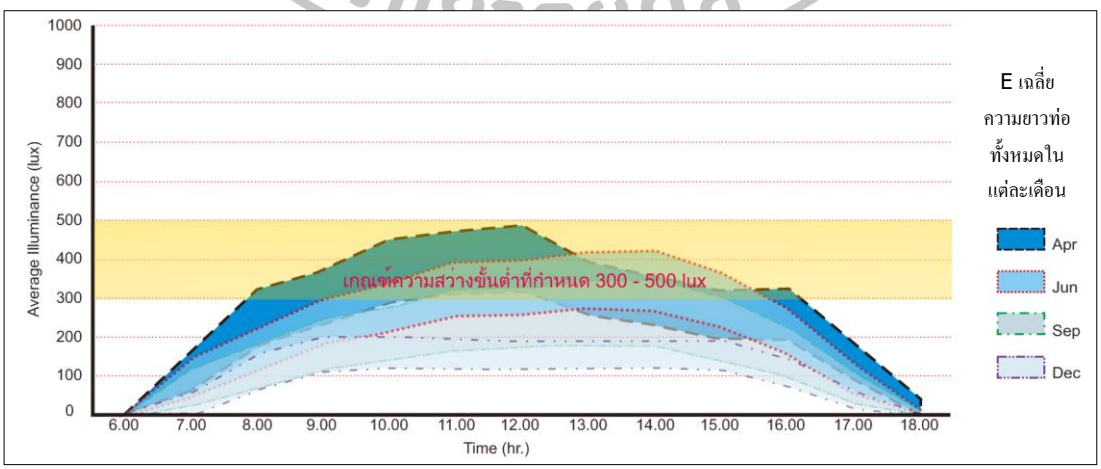
2.4.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.4.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

2.4.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.4.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.4.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 123 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร ติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.65 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54 เมตร และจากกราฟทำให้เห็นได้ว่าในแต่ละช่วงเดือนจะมีระยะห่างของกราฟความยาวท่อที่แคบลงซึ่งหมายความว่า ความยาวท่อเริ่มมีผลต่อค่าความสว่างน้อยลงเมื่อท่อที่ใช้มีขนาดหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น และเห็นได้ชัดว่าค่าความสว่างของความยาวท่อ 1.00 เมตร มีค่าความส่องสว่างที่มากขึ้นอาจด้วยจำนวนท่อที่มากขึ้น และขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างขึ้นทำให้แสงลดการสูญเสียในการสะท้อนผลที่ได้คือปริมาณแสงสว่างที่มากขึ้นตามไปด้วย

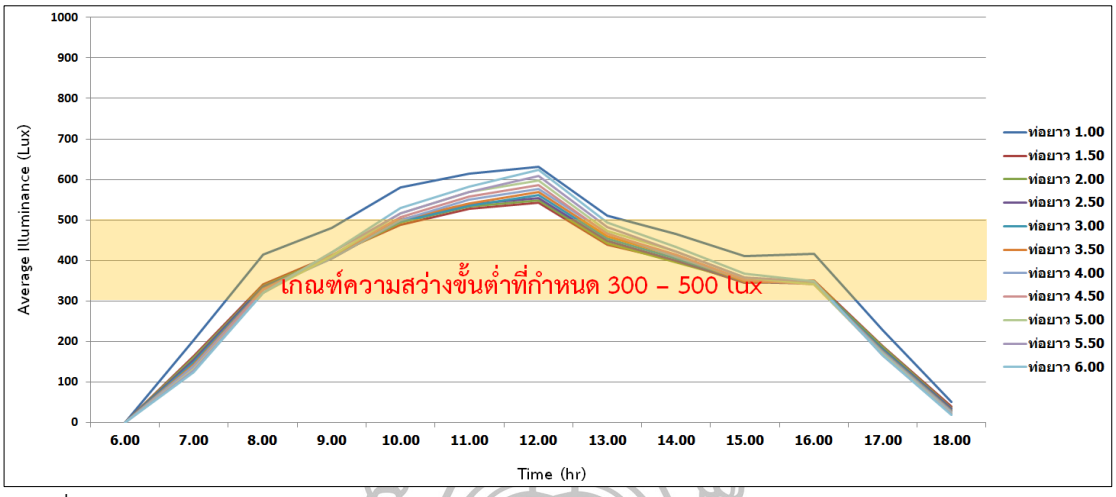
2.5 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 0.85 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนเมษายน) มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 88 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.85 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	204	165	160	155	148	144	140	134	131	129	124
8.00	62	22710.00	414	342	338	335	333	330	328	327	320	320	321
9.00	47	26390.00	481	413	409	406	411	408	406	412	411	420	421
10.00	33	31200.00	581	489	494	499	495	502	499	507	516	516	529
11.00	18	32980.00	614	527	533	539	534	542	549	558	568	568	582
12.00	4	33940.00	632	542	548	554	561	569	577	586	597	609	624
13.00	11	27470.00	511	439	444	449	454	460	467	465	473	483	495
14.00	25	25020.00	466	400	396	401	405	411	409	415	423	423	433
15.00	40	22080.00	411	346	349	346	351	348	353	352	358	358	367
16.00	54	22790.00	416	350	346	343	348	345	343	342	341	348	349
17.00	68	12800.00	229	189	187	182	180	175	174	170	170	166	167
18.00	83	3250.00	51	39	36	33	31	28	26	24	22	20	19

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



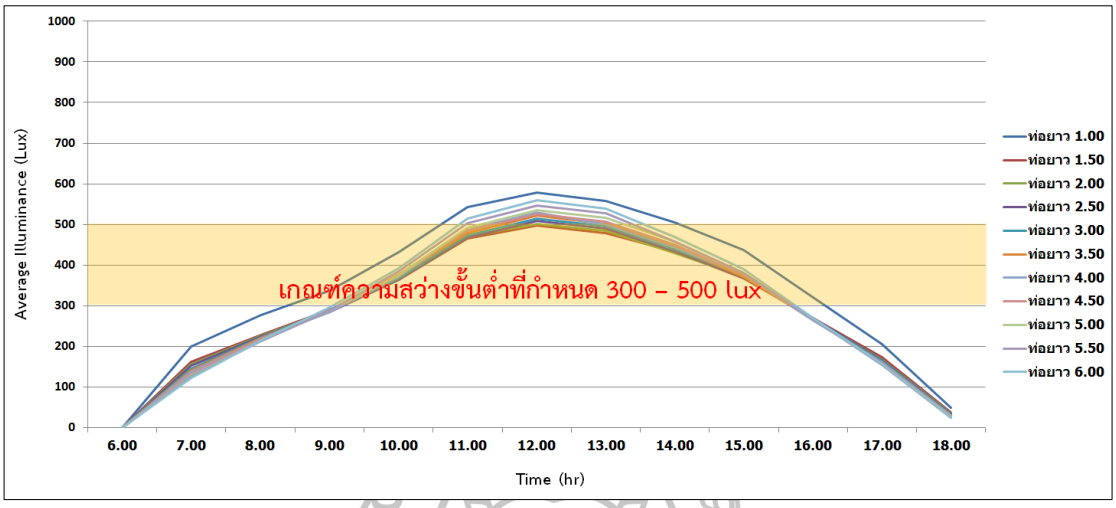
ภาพที่ 124 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 89 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.85 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	201	162	157	153	146	142	138	132	129	127	122
8.00	62	15170.00	277	228	226	224	222	221	219	218	214	214	214
9.00	48	18530.00	338	290	287	285	288	286	285	289	289	289	296
10.00	35	23180.00	431	363	367	364	368	373	371	377	376	384	393
11.00	22	29170.00	543	466	471	467	473	479	486	484	493	503	515
12.00	11	31100.00	579	497	502	508	514	521	529	527	536	547	560
13.00	13	29970.00	558	479	484	490	496	502	499	507	517	527	540
14.00	25	27100.00	504	433	429	434	439	445	442	450	458	458	469
15.00	39	23520.00	438	368	372	369	374	371	376	375	382	382	391
16.00	52	17550.00	320	269	267	270	268	266	264	269	268	268	269
17.00	66	11490.00	205	173	168	166	165	161	160	159	155	155	156
18.00	80	2940.00	49	38	37	35	32	31	30	28	27	25	24

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



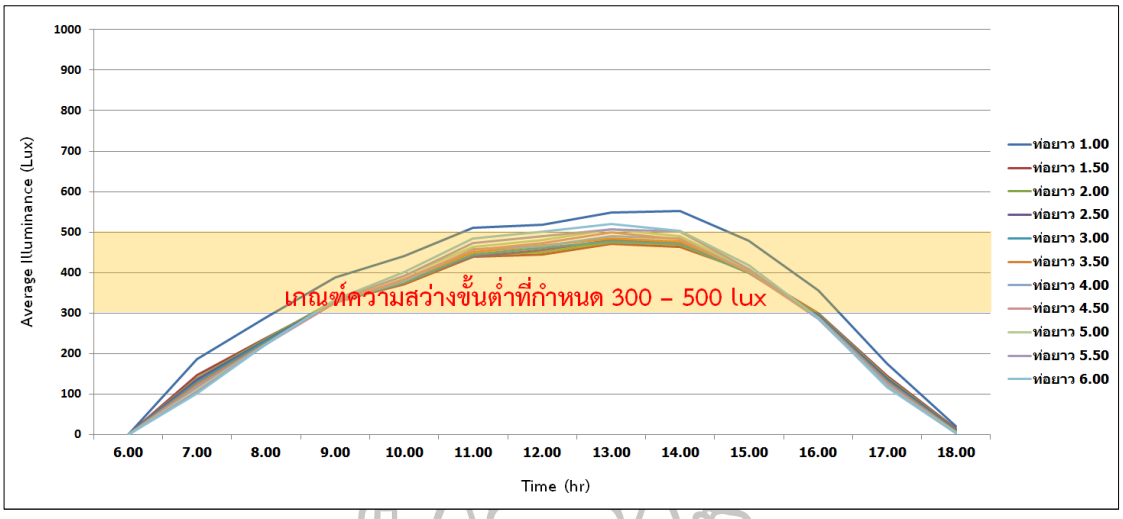
ภาพที่ 125 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 90 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.85 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	186	148	140	136	130	124	118	116	111	106	102
8.00	63	15890.00	290	239	237	235	233	227	225	224	224	224	224
9.00	49	21340.00	389	327	331	328	325	330	328	327	332	332	334
10.00	34	23660.00	440	370	374	379	376	381	379	385	392	392	401
11.00	22	27460.00	511	439	443	440	445	451	458	456	464	473	485
12.00	13	27890.00	519	446	450	456	461	467	465	472	481	490	502
13.00	18	29450.00	548	471	476	481	477	484	491	499	508	508	520
14.00	30	29660.00	552	464	469	475	471	477	484	482	491	501	503
15.00	44	25710.00	478	403	399	403	400	405	403	401	409	409	418
16.00	58	19560.00	357	300	297	295	292	290	289	287	287	287	288
17.00	73	10060.00	176	145	141	137	133	130	126	123	121	118	116
18.00	86	1530.00	21	15	13	11	9	8	7	6	5	4	4

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



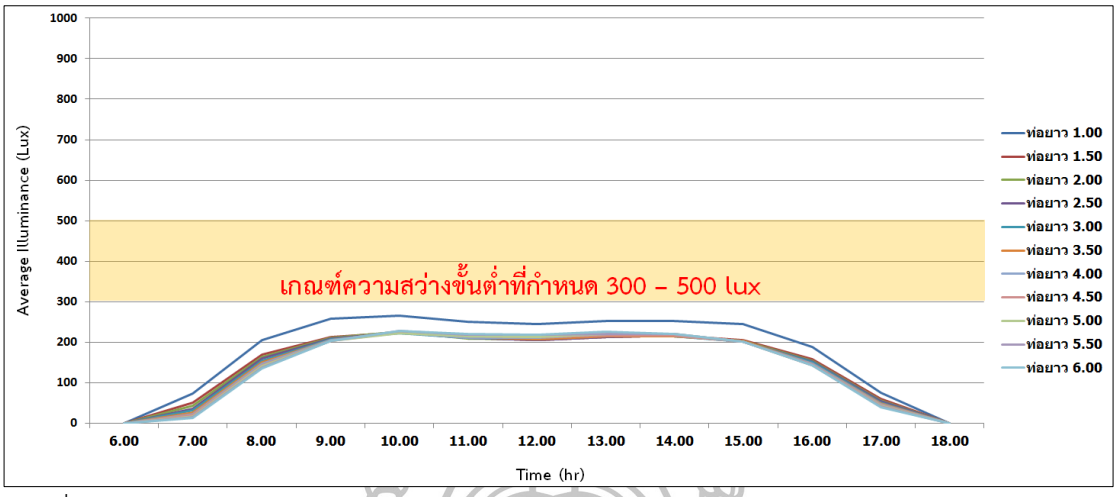
ภาพที่ 126 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 91 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.85 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	74	51	44	37	32	27	23	20	17	15	13
8.00	73	11730.00	205	169	164	160	155	151	147	144	141	138	135
9.00	60	14190.00	259	213	211	210	208	206	205	204	204	204	205
10.00	50	14610.00	266	224	227	225	223	226	225	224	223	228	228
11.00	41	13520.00	252	212	210	212	210	213	212	215	215	219	220
12.00	37	13160.00	245	206	208	206	209	208	211	214	213	218	219
13.00	39	13610.00	253	213	215	214	216	215	218	217	221	221	226
14.00	45	13850.00	253	217	215	217	216	214	217	216	220	220	221
15.00	55	13440.00	245	206	204	202	201	204	202	202	201	201	202
16.00	66	10550.00	189	159	154	153	151	147	147	146	143	143	143
17.00	79	4470.00	75	60	57	54	51	49	47	45	43	41	40
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



ภาพที่ 127 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.5.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 0.85 เมตร

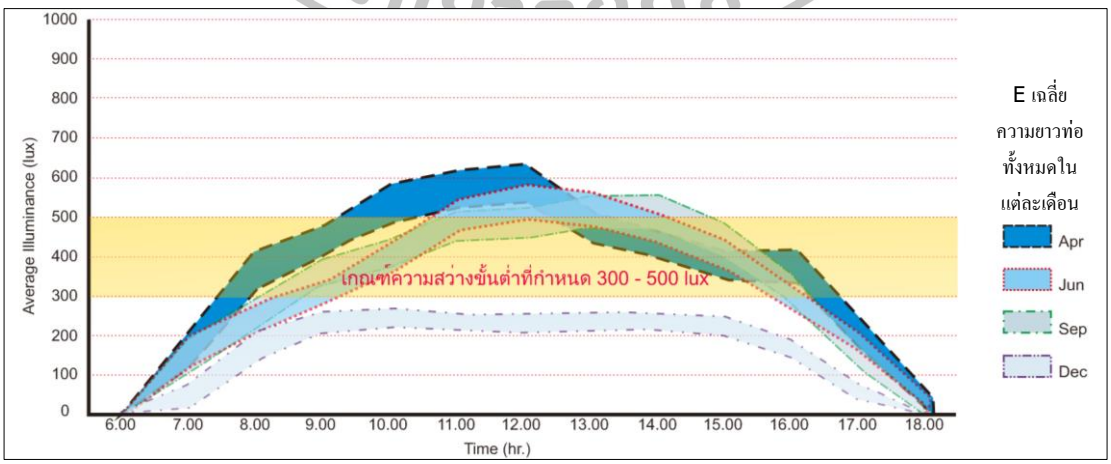
2.5.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.5.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

2.5.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.5.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.5.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา



ภาพที่ 128 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร ติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 0.85 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54, 0.65 เมตร และจากกราฟเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงเดือนจะมีระยะห่างของกราฟความยาวท่อที่แคบลงซึ่งหมายความว่า ความยาวท่อเริ่มมีผลต่อค่าความสว่างน้อยลงเมื่อท่อที่ใช้มีขนาดหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น และเห็นได้ชัดว่าค่าความสว่างของความยาวท่อ 1.00 เมตร มีค่าความส่องสว่างที่มากขึ้นอาจด้วยจำนวนท่อที่มากขึ้น และขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างขึ้นทำให้แสงลดการสูญเสียในการสะท้อนผลที่ได้คือปริมาณแสงสว่างที่มากขึ้น

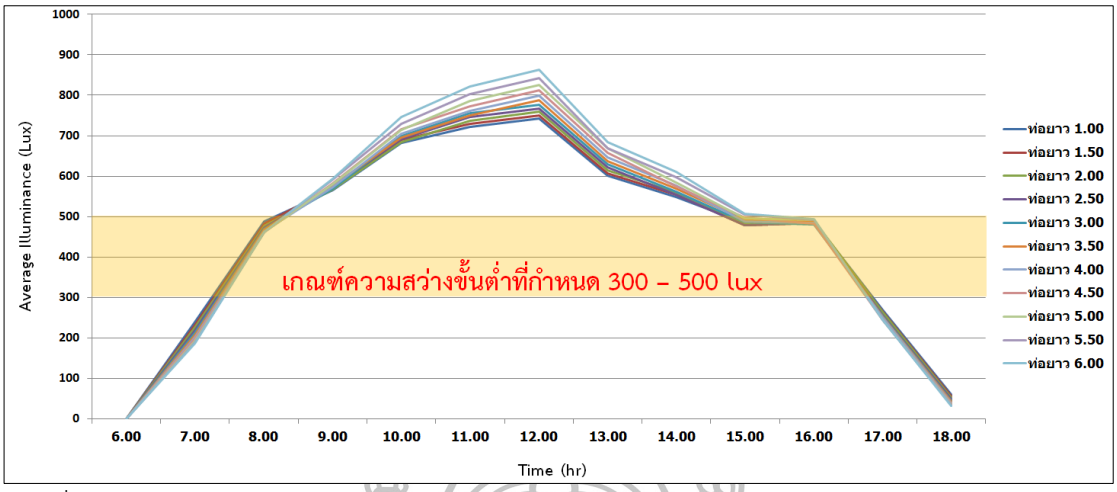
2.6 การหาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ กำหนดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร โดยติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนเมษายน) มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 92 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน

Apr		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11880.00	240	233	226	219	213	208	202	197	193	189	186
8.00	62	22710.00	487	482	478	474	470	467	464	462	461	461	462
9.00	47	26390.00	566	572	567	573	568	576	573	582	581	592	594
10.00	33	31200.00	683	690	683	691	700	695	705	716	715	729	747
11.00	18	32980.00	722	729	737	746	755	750	761	773	787	803	822
12.00	4	33940.00	743	751	759	767	777	787	799	812	826	843	863
13.00	11	27470.00	601	607	614	621	629	637	646	657	669	669	685
14.00	25	25020.00	548	553	559	554	561	569	577	575	585	597	611
15.00	40	22080.00	483	479	484	479	485	492	489	497	496	506	507
16.00	54	22790.00	489	484	489	485	481	488	485	483	491	491	493
17.00	68	12800.00	269	266	264	256	254	253	251	245	244	244	245
18.00	83	3250.00	61	56	53	49	46	43	40	38	35	33	31

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



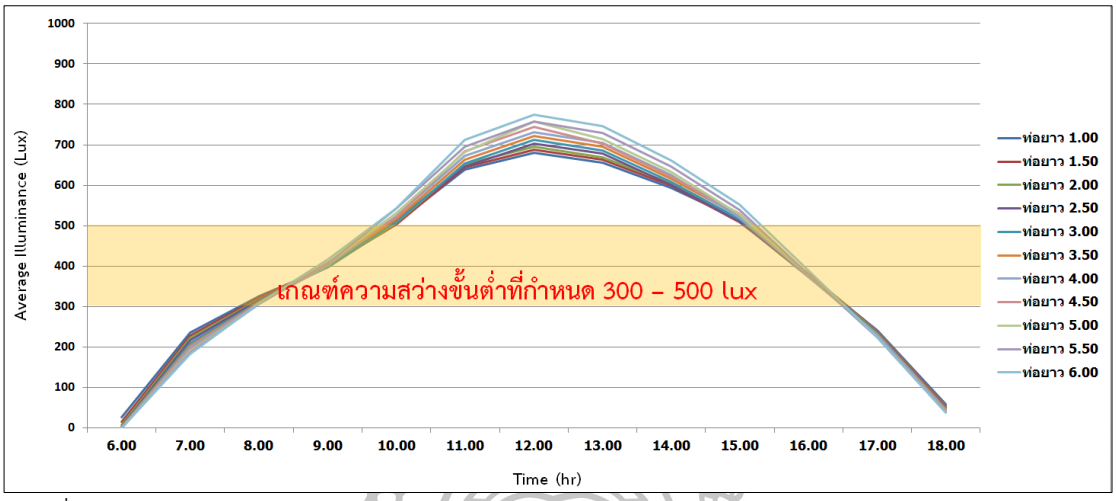
ภาพที่ 129 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนเมษายน

ตารางที่ 93 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

Jun		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	76	11690.00	236	229	222	216	210	204	199	194	190	186	183
8.00	62	15170.00	325	322	319	316	314	312	310	309	308	308	309
9.00	48	18530.00	398	402	398	402	399	404	402	409	408	408	417
10.00	35	23180.00	508	502	508	514	510	516	524	522	531	542	544
11.00	22	29170.00	639	645	652	646	654	663	673	684	682	696	712
12.00	11	31100.00	681	688	695	703	712	721	732	744	757	757	775
13.00	13	29970.00	656	663	670	678	686	695	705	702	715	729	747
14.00	25	27100.00	593	599	606	600	608	616	625	622	633	646	662
15.00	39	23520.00	515	510	515	511	517	524	521	529	528	539	552
16.00	52	17550.00	377	380	377	373	378	375	373	379	378	378	387
17.00	66	11490.00	242	239	237	235	233	231	230	224	224	224	225
18.00	80	2940.00	58	55	53	50	48	46	44	42	41	39	38

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



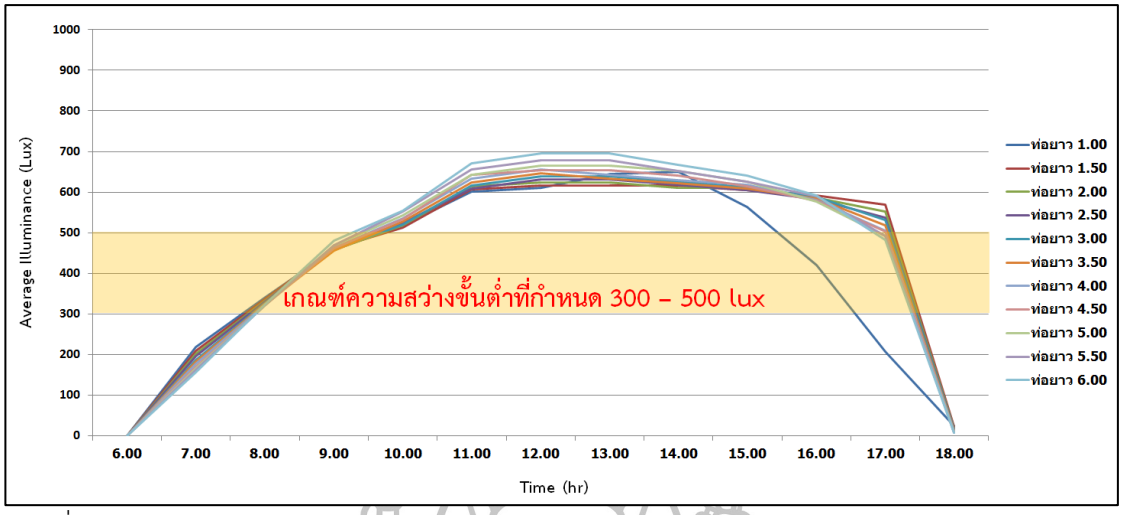
ภาพที่ 130 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 94 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน

Sep		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	78	10860.00	219	208	202	197	187	182	178	170	166	163	157
8.00	63	15890.00	341	337	334	331	329	326	325	323	322	322	324
9.00	49	21340.00	458	462	458	463	460	457	463	461	470	470	481
10.00	34	23660.00	518	513	518	524	520	527	535	532	542	553	555
11.00	22	27460.00	601	607	614	608	616	624	633	643	642	655	671
12.00	13	27890.00	611	617	623	631	638	647	656	654	665	679	695
13.00	18	29450.00	645	617	623	631	638	634	643	654	665	679	695
14.00	30	29660.00	649	617	611	618	626	621	630	640	652	652	667
15.00	44	25710.00	563	604	611	606	613	609	618	615	626	626	641
16.00	58	19560.00	420	592	587	582	589	585	581	579	578	589	591
17.00	73	10060.00	207	569	552	536	532	518	505	503	491	491	483
18.00	86	1530.00	25	22	19	17	15	13	11	10	9	8	7

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



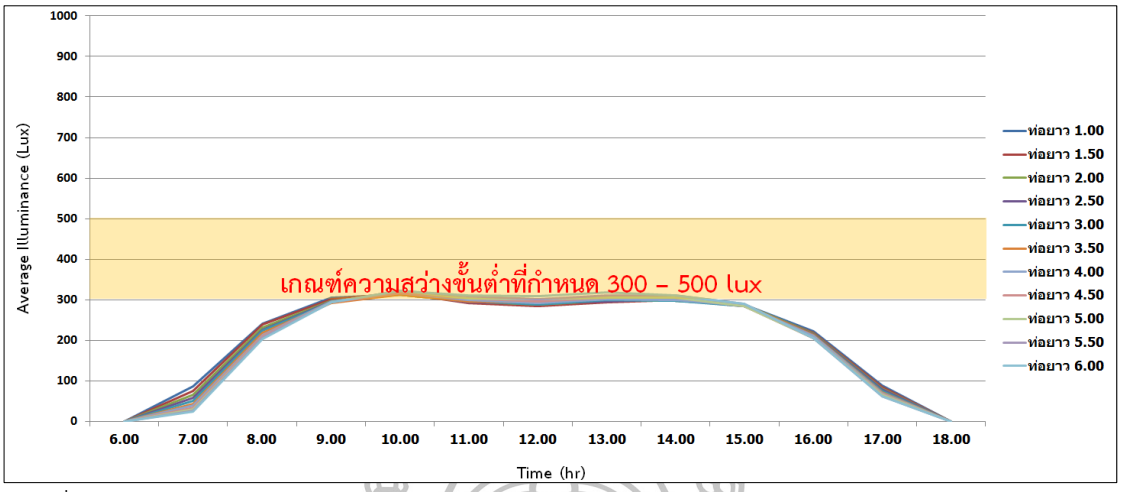
ภาพที่ 131 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนกันยายน

ตารางที่ 95 แสดงค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

Dec		External Illuminance (Lux)	ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร										
Time (hr)	θ		ความยาวท่อและ ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)										
		Mean	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
7.00	86	5250.00	87	76	67	59	51	44	39	34	30	27	24
8.00	73	11730.00	242	239	232	226	224	218	212	211	207	207	203
9.00	60	14190.00	304	301	299	296	294	292	296	295	294	294	295
10.00	50	14610.00	313	317	314	317	315	313	317	316	321	321	323
11.00	41	13520.00	296	293	296	294	297	295	299	304	304	310	311
12.00	37	13160.00	288	285	288	292	289	293	291	296	301	301	309
13.00	39	13610.00	298	295	298	296	299	303	301	306	306	312	319
14.00	45	13850.00	297	300	297	301	298	302	301	305	305	311	312
15.00	55	13440.00	288	285	289	286	284	288	286	285	284	290	291
16.00	66	10550.00	222	220	218	216	214	212	211	206	206	206	206
17.00	79	4470.00	88	86	82	79	76	72	70	67	66	63	62
18.00	92	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: การใช้โทนสีแทนค่าแสงสว่างดังนี้

0 - 99 lx	100 – 199 lx	200 – 299 lx	300 – 399 lx
400 – 499 lx		500 – 599 lx	600 – 1,000 lx



ภาพที่ 132 กราฟค่าความส่องสว่างท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ภายในเดือนธันวาคม

2.6.1 ท่อนำแสงขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร

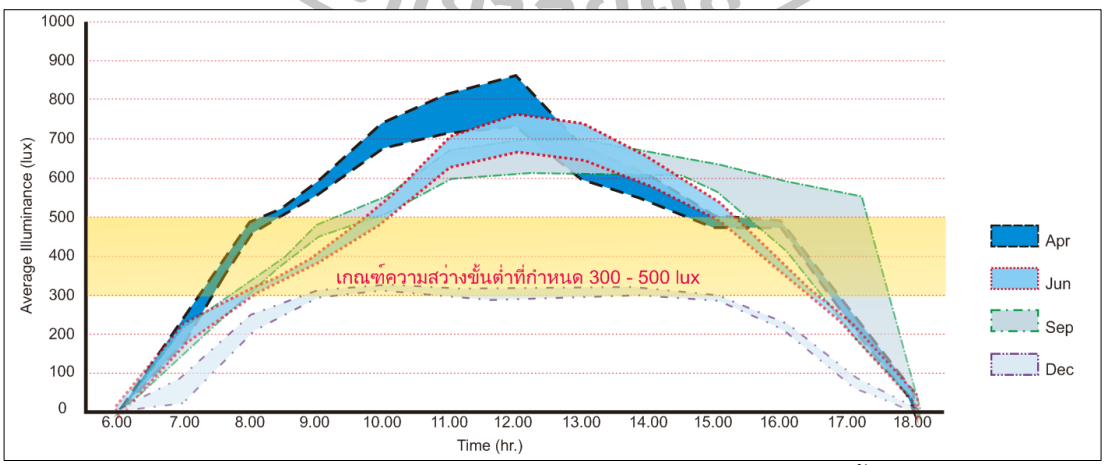
2.6.1.1 ระยะความยาวท่อ 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00 เมตร โดยปริมาณแสงจะลดลงตามลำดับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น

2.6.1.2 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

2.6.1.3 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.6.1.4 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

2.6.1.5 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา



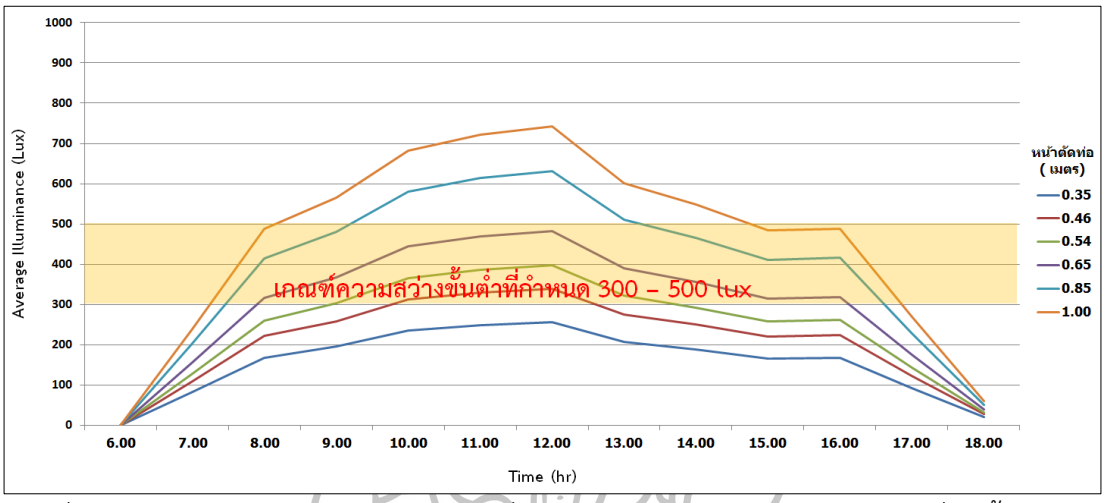
ภาพที่ 133 กราฟสรุปค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร ติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร วัดจากค่า Mean ของความส่องสว่างภายนอก

จากค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงหน้าตัด 1.00 เมตร จะเห็นได้ว่าความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความส่องสว่างภายในมากขึ้นไปด้วย เนื่องจากระยะความยาวท่อใกล้กับจุดที่ทำการวัดค่าความสว่างและ ได้ค่าความส่องสว่างมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54, 0.65 และ 0.85 เมตร และจากกราฟทำให้เห็นได้ว่าในแต่ละช่วงเดือนจะมีระยะห่างของกราฟความยาวท่อที่แคบลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งหมายความว่า ความยาวท่อมีผลต่อค่าความสว่างน้อยลงมากเมื่อท่อที่ใช้มีขนาดหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น และเห็นได้ชัดว่าค่าความสว่างของความยาวท่อ 6.00 เมตร มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในที่มากกว่าการติดตั้งด้วยความยาวท่อ 1.00 เมตร ซึ่งหมายความว่าการใช้หน้าตัดท่อนำแสงที่กว้างกับระยะความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในจากท่อนำแสงได้ อาจเนื่องมาจากขนาดหน้าตัดของท่อนำแสงที่สามารถรับแสงจากภายนอกได้ปริมาณที่มากพอ กับความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นช่วยให้ลดระยะห่างระหว่างพื้นที่ใช้งานกับส่วนกระจายแสงของท่อนำแสงลง จึงส่งผลให้ปริมาณค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงในความยาว 6.00 เมตร มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มากกว่าท่อระยะอื่นๆ

2.7 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

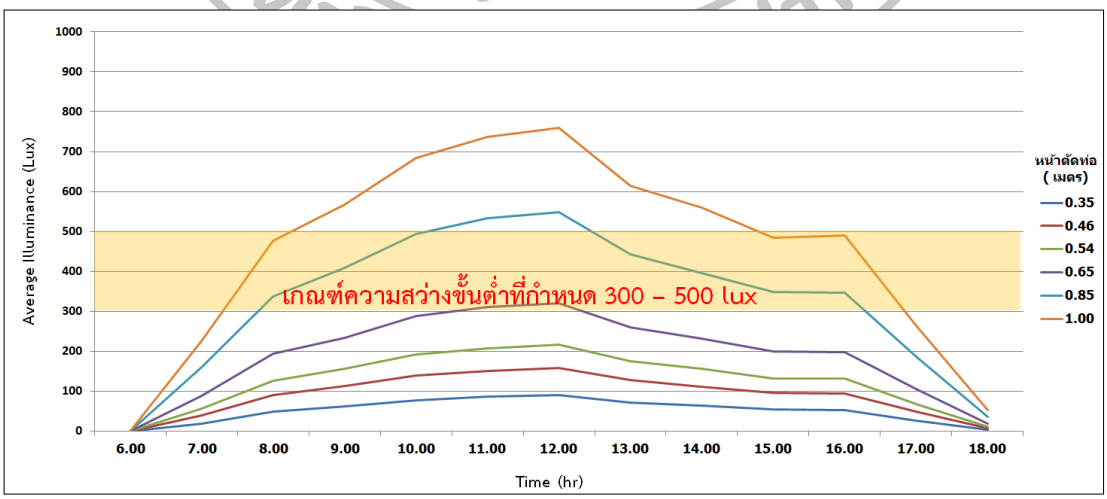
เพื่อเปรียบเทียบถึงอัตราการเปลี่ยนแปรของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มีผลมาจากขนาดหน้าตัดท่อต่อระยะความยาวท่อนำแสงที่ใช้ จึงกำหนดการทดลองดังนี้ ขนาดหน้าตัดท่อขนาด 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, 0.85, 1.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00 เมตร ติดตั้งจำนวนท่อ 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร) โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม (ภาคผนวก ข) และวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane) เลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ เดือนเมษายน ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา

2.7.1 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน) มีผลการทดลองดังนี้



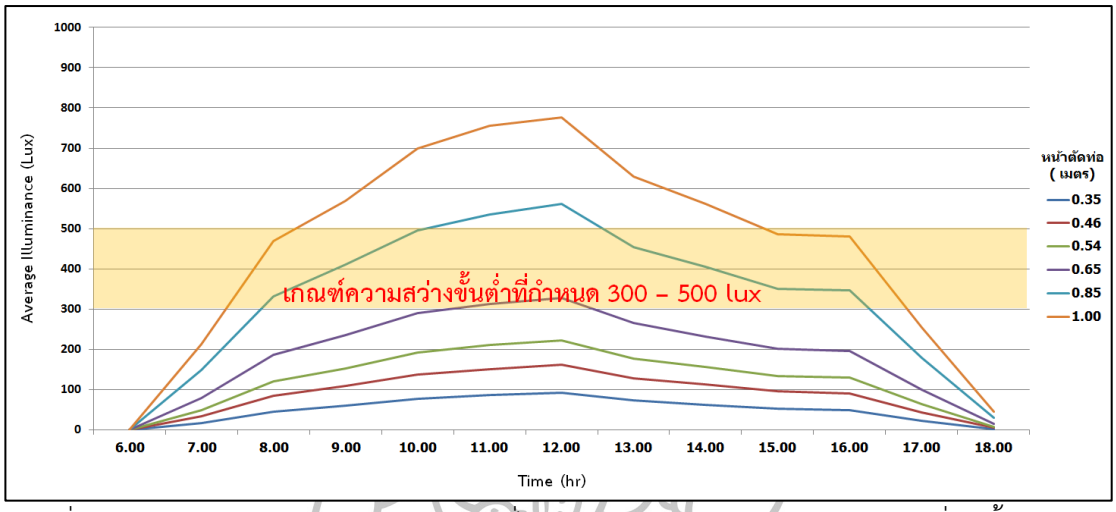
ภาพที่ 134 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน)

2.7.2 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน) มีผลการทดลองดังนี้



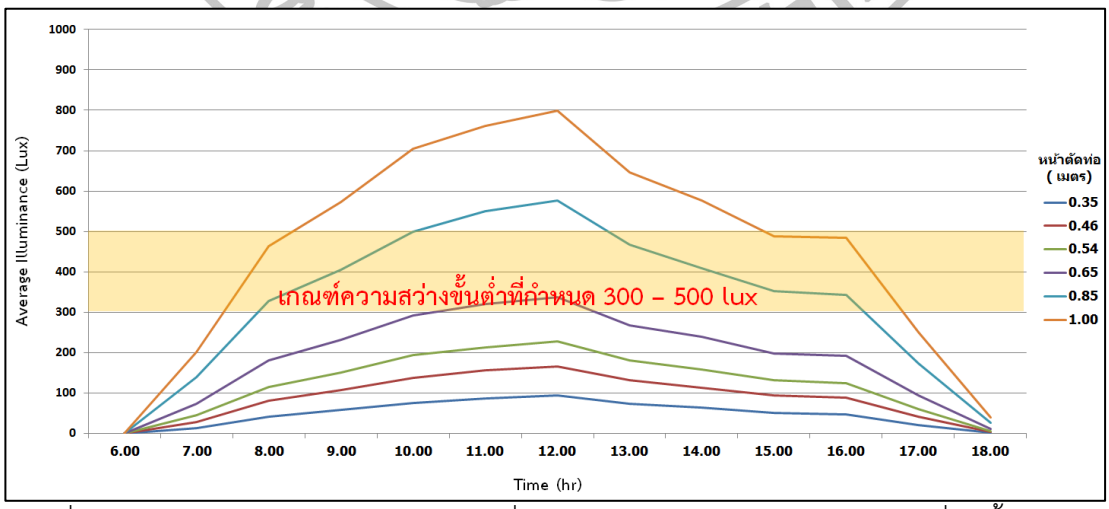
ภาพที่ 135 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน)

2.7.3 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4x 4 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน) มีผลการทดลองดังนี้



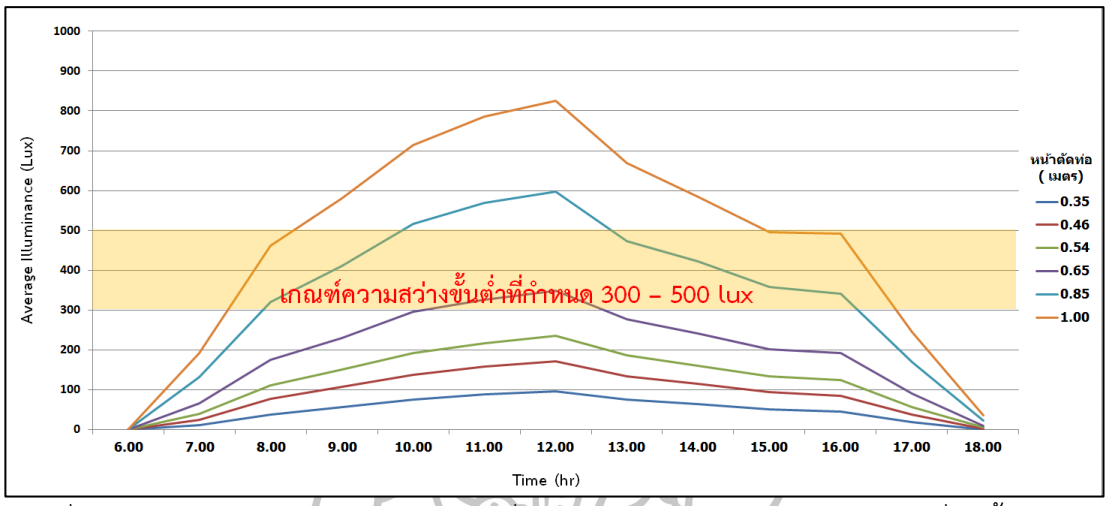
ภาพที่ 136 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน)

2.7.4 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน) มีผลการทดลองดังนี้



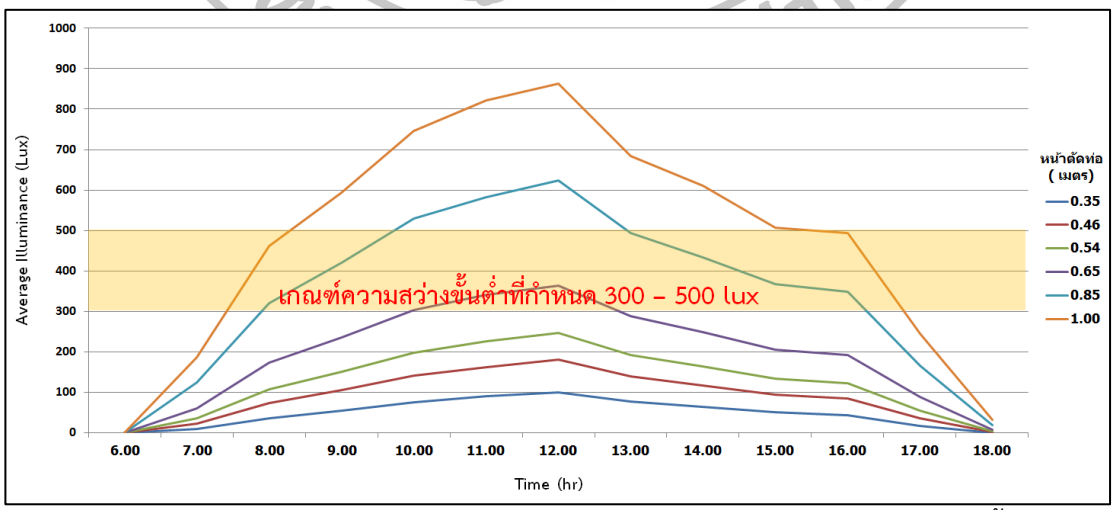
ภาพที่ 137 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน)

2.7.5 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 138 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน)

2.7.6 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 139 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือน เมษายน)

สรุปได้ว่าขนาดหน้าตัดต่างๆของท่อนำแสงมีผลต่อความยาวท่อที่ต่างกันโดยวัดจากปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้ภายในอาคาร จากภาพที่ 135 – 140 ทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ดังนี้คือ จากกราฟเห็นได้ถึงสัดส่วนของอัตราแสงที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ของเส้นกราฟในท่อหน้าตัดขนาดต่างๆต่อความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นและ เมื่อท่อนำแสงมีขนาดหน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, จะมีปริมาณค่าความส่องสว่างที่มากในการติดตั้งระยะความยาวท่อ 1.00 เมตร และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในระยะความยาวท่อตั้งแต่ 1.50 – 6.00 เมตร โดยท่อขนาดหน้าตัด 0.85 เมตร จากกราฟจะเห็นได้ว่าจะมีปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงที่มากในระยะความยาวท่อที่ 1.00 เมตร และค่อยๆลดลงในความยาวท่อที่ 1.50 เมตร และกลับมีค่าความส่องสว่างที่เพิ่มมากขึ้นในระยะความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณค่าความส่องสว่างที่ได้ในระยะท่อ 1.00 เมตร และ 6.00 เมตร ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ลักษณะของกราฟที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับกราฟของหน้าตัดท่อนำแสงขนาด 1.00 เมตร ที่ความยาวท่อมีผลในการช่วยเพิ่มปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงได้เมื่อสังเกตจากภาพที่ 135 – 140 ทำให้เห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามความยาวท่อนำแสงที่เพิ่มขึ้นโดยค่าความส่องสว่างที่มากที่สุดของท่อหน้าตัด 1.00 เมตร จะอยู่ในช่วงระยะความยาวท่อที่ 6.00 เมตร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและ อภิปรายผล

ในบทนี้เป็นการนำผลการทดลองทั้งหมด มาทำการวิเคราะห์ผล ตามขั้นตอน จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการการศึกษาถึงพฤติกรรมของแสงที่มีผลต่อตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองเพื่อหาปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) และคำนวณเพื่อหาปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งในรูปแบบการทดลองต่างๆ ที่ระนาบพื้นที่ใช้งาน (Work plane) โดยสูงจากระดับพื้นภายใน 0.85 เมตร ด้วยการคำนวณจากสูตรทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำข้อมูลค่าความส่องสว่างเฉลี่ยและ พฤติกรรมของแสงในการทดลองมาวิเคราะห์ถึงรูปแบบการใช้งานระบบท่อนำแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

การวิเคราะห์ผลแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ

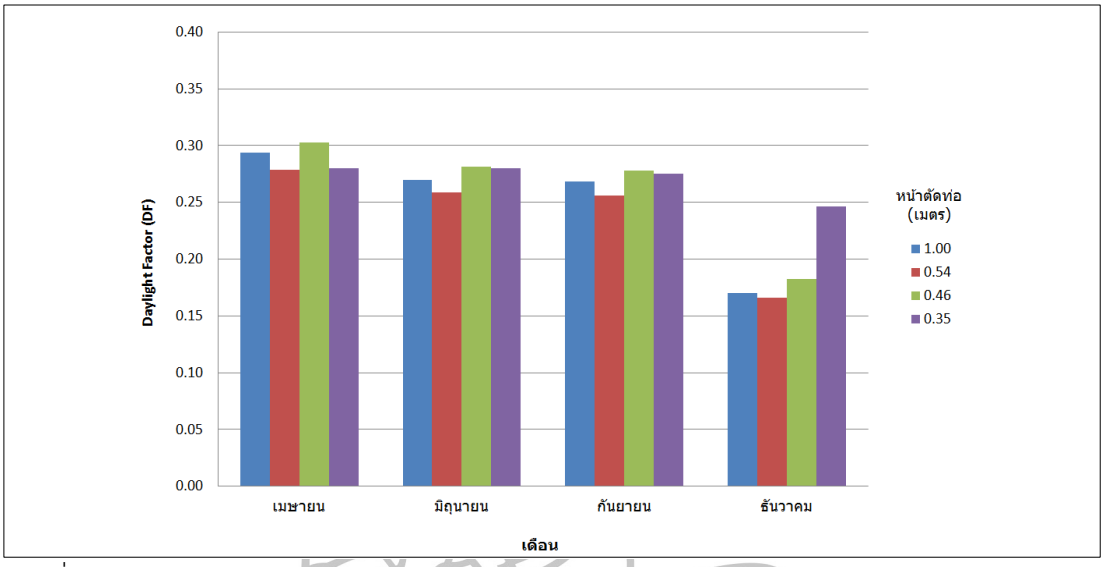
1. ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงแนวดิ่งรูปแบบต่างๆตามระยะห่างการติดตั้งที่ไม่เท่ากันตามที่กำหนด
2. การหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในท่อนำแสงแนวดิ่งกำหนดรูปแบบระยะห่างของท่อเป็นระยะ 4.00 x 4.00 เมตร เท่ากันทุกหน้าตัดท่อ

1 ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงแนวดิ่งในระยะที่ต่างกันตามขนาดหน้าตัดท่อที่ต่างกัน

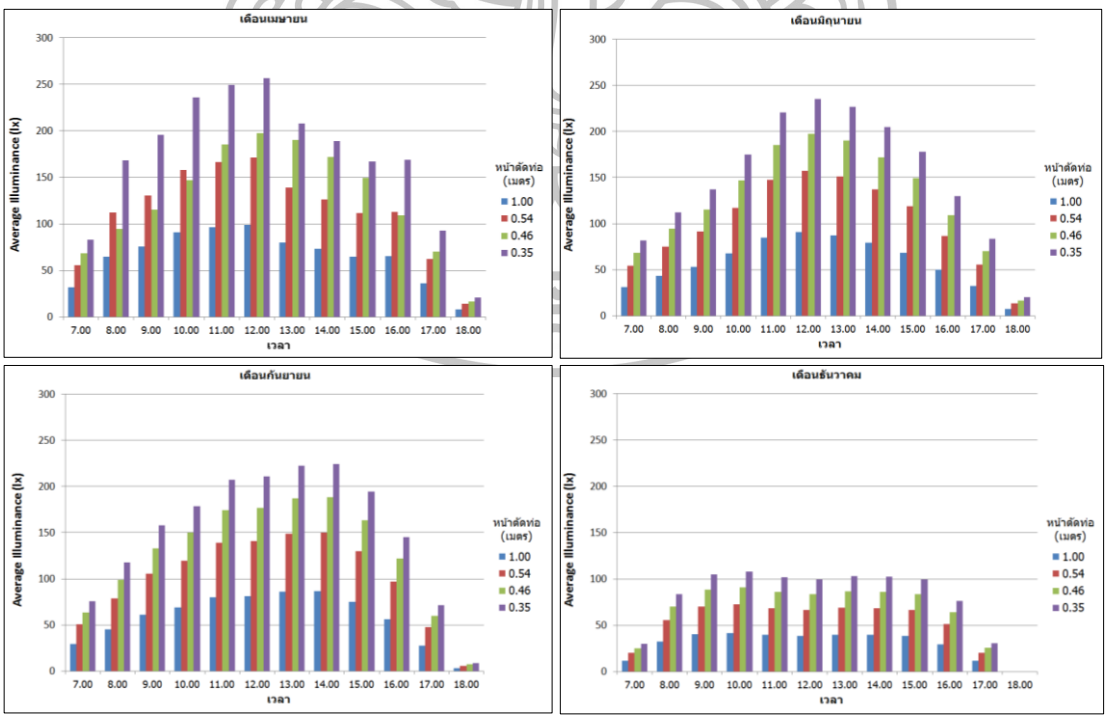
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างภายนอกกับภายใน

ค่าความส่องสว่างภายนอกมีผลกับแสงสว่างภายในโดยตรงและมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงภายในต่อภายนอกค่อนข้างคงที่ในทุกขนาดหน้าตัดท่อ ยกเว้นขนาดหน้าตัดท่อ 0.35 เมตร เท่านั้นที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณแสงที่ต่างออกไป โดยสังเกตได้จากภาพที่ 141 ทุกขนาดหน้าตัดท่อนำแสงจะมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคมมีค่าความส่องสว่างของท่อนำแสงที่น้อยกว่าช่วงเดือนอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 50% จากความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้ของช่วงเดือนอื่นๆทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากมุมตำแหน่งองศาของดวงอาทิตย์ (Altitude angle) ที่ส่งมายังท่อนำแสง ในช่วงเดือนธันวาคม มีมุมองศาดวงอาทิตย์ (Altitude angle) จะต่ำกว่าเดือนอื่นๆ ทำให้มีจำนวนการสะท้อนแสงมากจึงเกิดการสูญเสียปริมาณแสงมาก และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงภายในต่อภายนอกทำให้เห็นได้ว่าในขนาดหน้าตัดท่อที่ 0.35 เมตร นั้นมีค่า Daylight Factor ที่

ค่อนข้างใกล้เคียงกันที่สุดในทุกๆเดือนมีค่า Daylight Factor ในช่วงเดือนธันวาคมที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าท่อขนาดหน้าตัดอื่นๆทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการติดตั้งด้วยระยะห่างที่ค่อนข้างน้อยและจำนวนท่อที่มากกว่าขนาดหน้าตัดท่ออื่นๆจำทำให้มีค่าความส่องสว่างที่ค่อนข้างเสถียร

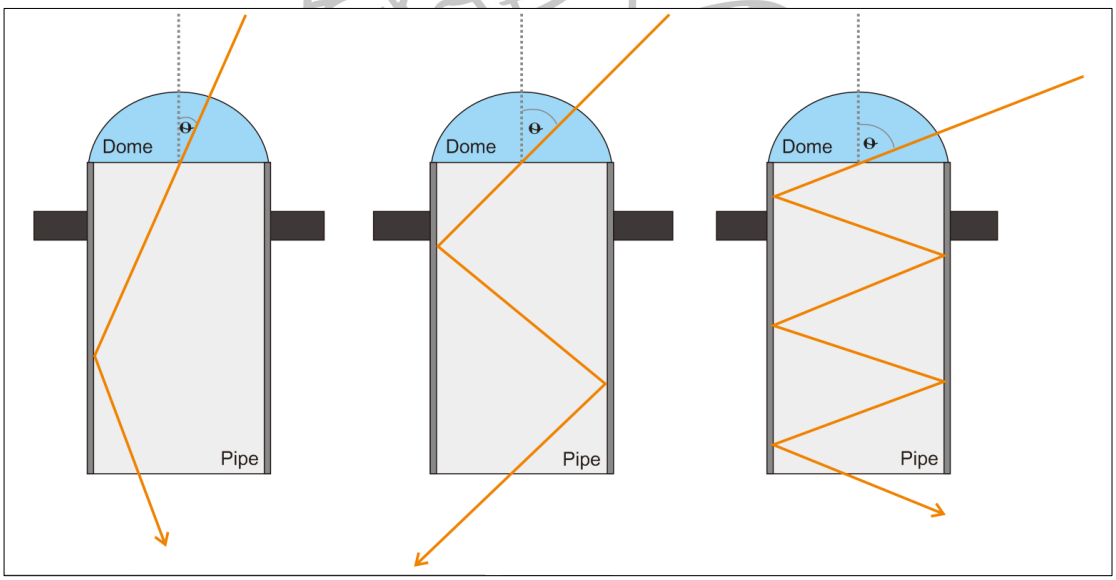


ภาพที่ 140 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ในแต่ละเดือนของท่อนำแสงขนาดต่างๆ

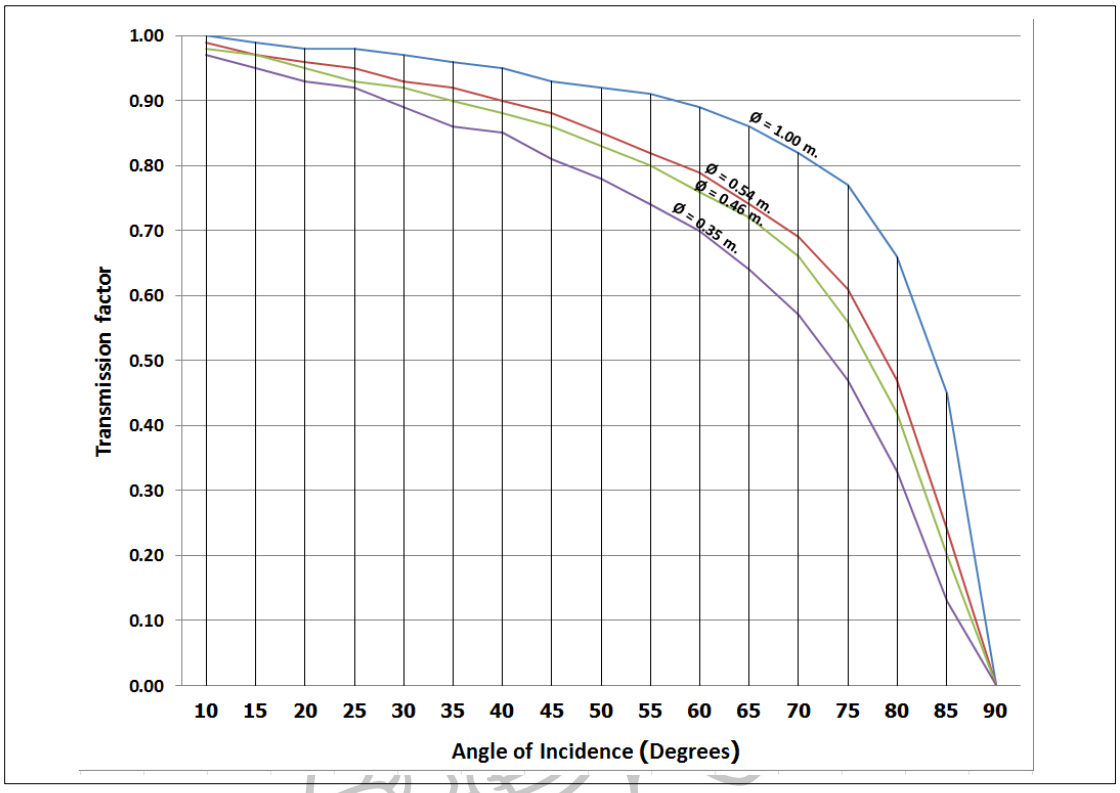


ภาพที่ 141 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทุกชั่วโมงในแต่ละเดือนของท่อนำแสงขนาดต่างๆที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ระยะติดตั้งที่ไม่เท่ากันตามที่กำหนด)

เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาต่างๆแบ่งเป็นช่วงเวลาในแต่ละวัน ค่าความส่องสว่างมากที่สุดในช่วงวันอยู่ที่เวลา 10.00น. – 13.00น. ในช่วงเดือนเมษายน, 11.00 – 14.00น. ในช่วงเดือนมิถุนายน และกันยายน ในช่วงเดือนธันวาคมจะมีค่าความส่องสว่างของแสงที่ได้ใกล้เคียงกันตลอดทั้งวันตั้งแต่ 9.00 – 16.00น. ซึ่งอาจเป็นผลมาจากมุมตำแหน่งองศาของดวงอาทิตย์ (Altitude angle) ที่ส่งมายังท่อนำแสงทำให้แสงสามารถเข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ในมุมที่น้อยทำให้ลำแสงค่อนข้างลึกและ มีปริมาณแสงที่มากกว่ามุมอื่นๆในช่วงเวลาอื่นๆ (ภาพที่ 143) จึงส่งผลให้ลดองศาและจำนวนการสะท้อนของแสงภายในท่อลง การสูญเสียปริมาณแสงภายในท่อลดลง ทำให้ได้ปริมาณของแสงภายในอาคารมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ บริรักษ์ อินทรกุลไชย และดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, (2552) และ Kwok Chun Man, (2011) ซึ่งทิศทางประสิทธิภาพการรับแสงธรรมชาติของท่อนำแสง แปรผกผันตามขนาดของมุมตามแสงธรรมชาติ (Altitude angle) ที่กระทำต่อท่อในส่วนพาแสง กล่าวคือ ยิ่งมุมมีขนาดเล็ก (Incident angle, θ) เช่น 0° หรือขนานกับท่อในส่วนนำพาแสง ประสิทธิภาพในการนำพาแสงเข้าสู่ภายในอาคารจะมีค่ามากที่สุดดังภาพที่ 144 เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียแสงสว่างจากการสะท้อนและดูดกลืนภายในส่วนนำพาแสงได้



ภาพที่ 142 แสดงมุมองศาของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อท่อปริมาณแสงในท่อนำแสง



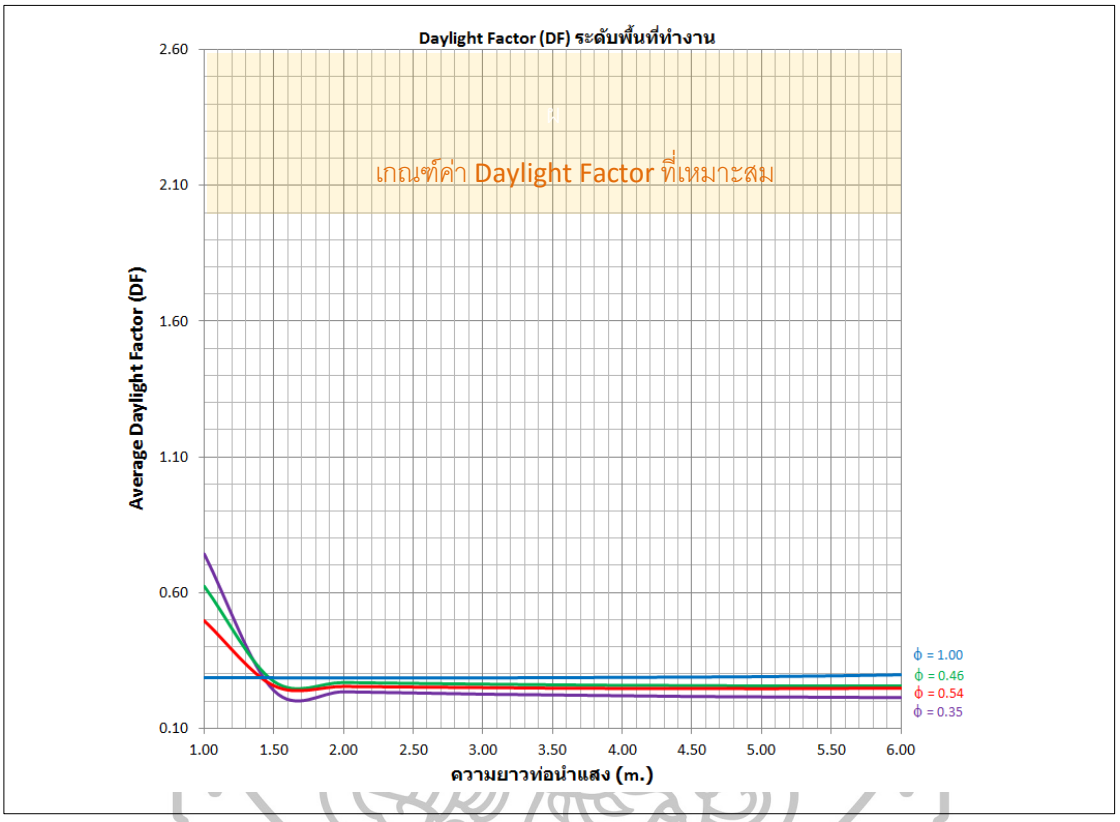
ภาพที่ 143 แสดงมุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ต่อค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) ในหน้าตัดท่อขนาดต่างๆ

จากภาพที่ 144 สรุปได้ว่ามุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ยิ่งเล็ก ยิ่งส่งผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) มากขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเกิดจากมุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ที่เล็กทำให้จำนวนครั้งในการสะท้อนภายในท่อน้อย จึงเกิดการสูญเสียปริมาณแสงในการสะท้อนน้อย จึงทำให้แสงเข้าสู่อาคารได้มาก

จากกราฟจะสังเกตได้ว่าขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่ต่างกัน ทำให้มีรูปแบบกราฟมุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ต่อค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) ที่ต่างกันออกไป โดยท่อขนาดหน้าตัด 1.00 เมตร จะมีค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) ที่สูงที่สุดและ ตามด้วย 0.54, 0.46, 0.35 เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้น่าจะมาจากขนาดหน้าตัดท่อเป็นตัวแปรในการรับปริมาณแสงสว่างจากภายนอกซึ่งขนาดหน้าตัดท่อที่ใหญ่กว่ามีพื้นที่ในการรับแสงที่มากกว่าก็จะสามารถรับปริมาณแสงสว่างจากภายนอกมาสู่ภายในได้มากกว่าจึงทำให้มีค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) ที่มากกว่า และค่อยๆลดตามขนาดหน้าตัดท่อที่เล็กลง

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าตัดท่อ ความยาวท่อ และความส่องสว่างภายใน

ผลที่ได้ในการติดตั้งระยะห่างท่อนำแสงที่ไม่เท่ากันตามที่กำหนดสามารถสรุปผลได้ดังนี้



ภาพที่ 144 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัดขนาดต่างๆติดตั้งในระยะที่ต่างกันตามที่กำหนด กับความยาวท่อนำแสง 1.00 – 6.00 เมตร เฉลี่ยต่อปี

ผลการศึกษาพบว่าขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่เพิ่มขึ้นในระยะความยาวท่อและการติดตั้งที่เท่ากันทำให้ได้ปริมาณแสงเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น (ภาพที่ 146) แต่เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 145 ผลการของการติดตั้งท่อนำแสงในขนาดหน้าตัดท่อที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นด้วย อาจเกิดจากการติดตั้งท่อนำแสงในระยะห่างและจำนวนท่อที่ไม่เท่ากันตามที่กำหนด ขนาดหน้าตัดท่อที่เพิ่มขึ้นระยะการติดตั้งท่อจะยิ่งห่างออกไปตามลำดับ ทำให้จำนวนท่อในการติดตั้งลดลงค่าความส่องสว่างจึงลดลง จึงสรุปได้ว่าการกำหนดติดตั้งในระยะที่ต่างกัน มีค่าความส่องสว่างที่ได้ (ภาพที่ 145) มีค่า Daylight Factor ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกขนาดหน้าตัดท่อที่ใช้ในการทดลอง

ความยาวท่อนำแสงส่งผลให้เกิดเกิดการชดเชยกันของปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงภายในอาคารที่ได้รับโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ ท่อนำแสงที่สั้นจะทำให้เกิดการสะท้อนแสงภายในท่อที่น้อย ลดการสูญเสียปริมาณแสงทำให้ได้ความส่องสว่างเฉลี่ยมากขึ้นสังเกตได้จากภาพที่ 145 แต่ในท่อนำแสงที่ยาว ความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นกลับทำให้ลดระยะห่างระหว่างปลายท่อกับพื้นที่ทำงานลงส่งผลให้ความส่องสว่างเฉลี่ยมากขึ้นเช่นกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดท่อที่ใช้

จากภาพที่ 145 สรุปได้ว่าความสัมพันธ์ของขนาดหน้าตัดท่อกับความยาวท่อมีผลต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้เป็นอย่างมาก เมื่อสังเกตจากกราฟจะเห็นได้ว่าการติดตั้งท่อนำแสงที่มีหน้าตัด 0.35, 0.46, 0.54 เมตร จะได้รับปริมาณแสงที่มากเมื่อใช้ความยาวท่อ 1.00 เมตร อย่างเห็นได้ชัด เมื่อความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนปริมาณของแสงที่ได้ภายในอาคารลดลงจากช่วงความยาวท่อ 1.00 เมตร เป็น 40 – 50% โดยผลที่ได้จากความยาวท่อ 1.50 – 6.00 เมตร จะมีอัตราส่วนของแสงที่ได้อยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นหน้าตัดท่อขนาด 1.00 เมตร ซึ่งค่าของกราฟค่อนข้างที่จะคงที่และปริมาณของแสงที่ได้ในช่วงความยาวท่อที่ 1.00 เมตร มีปริมาณที่น้อยที่สุดแต่กลับค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อความยาวท่อเพิ่มขึ้น และมีปริมาณของแสงที่มากที่สุดในช่วงความยาวท่อ 6.00 เมตร ซึ่งมีแนวโน้มของผลการทดลองต่างจากหน้าตัดท่อขนาด 0.35, 0.46, 0.54 ที่มีค่า Daylight Factor สูงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อติดตั้งโดยใช้ท่อยาว 1.00 เมตร

เกณฑ์เฉลี่ยค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ขั้นต่ำจะต้องมีค่ามากกว่า 2% โดยคิดเป็น 80% ของพื้นทั้งหมดภายในห้างค้าปลีก (BREEAM, 2011)

1.3 ระยะและจำนวนท่อนำแสงในการติดตั้ง

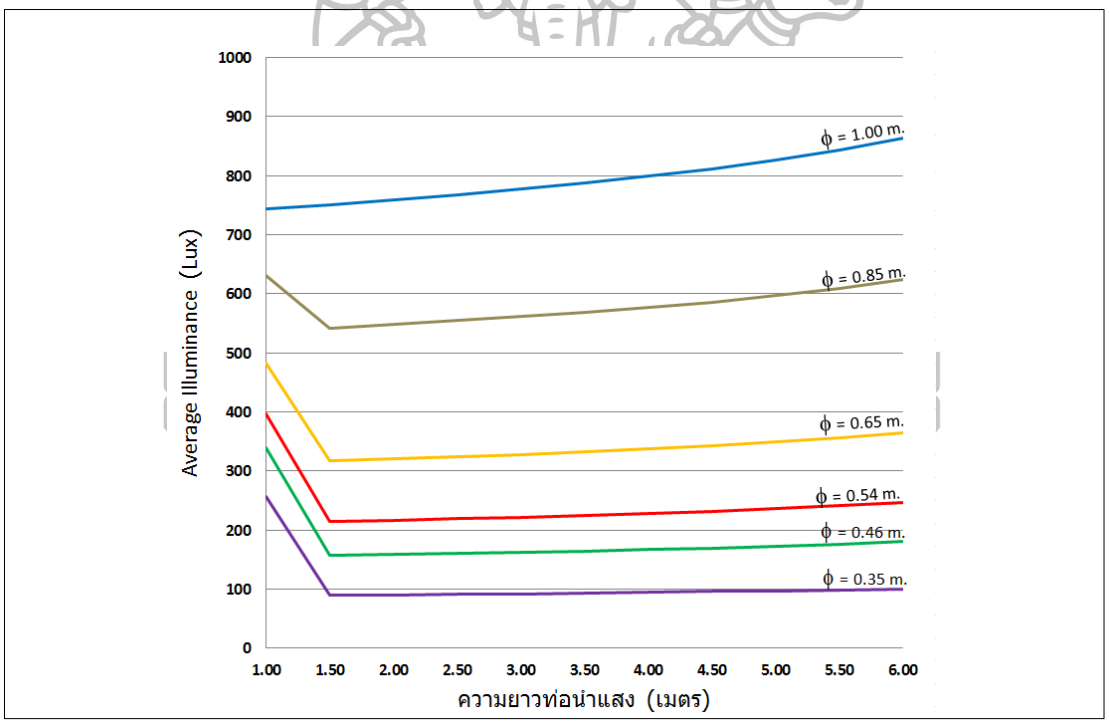
การติดตั้งท่อนำแสงในระยะที่ต่างกันตามขนาดหน้าตัดท่อ ได้กำหนดระยะการติดตั้งดังนี้คือ หน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54, 1.00 เมตร ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร, 5.00 x 5.00 เมตร, 6.00 x 6.00 เมตร, 10.80 x 10.80 เมตร ตามลำดับ การติดตั้งท่อจะติดตั้งเฉลี่ยระยะทั่วทั้งพื้นที่ทำให้ มีผลต่อจำนวนท่อที่ใช้ในการติดตั้ง ซึ่งจำนวนท่อที่ติดตั้งนั้นส่งผลต่อปริมาณแสงที่ได้เป็นอย่างมากซึ่งส่งผลต่อปริมาณค่าความส่องสว่างที่ได้มากกว่ากรณีที่ใช้ขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่ที่ใหญ่แต่มีจำนวนท่อในการติดตั้งที่น้อย จากการทดลองพบว่าการใช้ท่อนำแสงที่มีขนาดหน้าตัดที่เล็กเช่น 0.35 เมตร แต่ติดตั้งเป็นจำนวนมากจะได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มากกว่าการใช้ท่อนำแสงในขนาดหน้าตัดท่อที่ใหญ่ แต่จำนวนท่อที่ติดตั้งน้อย

โดยการติดตั้งจำนวนท่อที่มากกว่าเปรียบได้กับการเพิ่มตำแหน่งส่วนกระจายแสงหรือแหล่งกำเนิดแสงที่มากกว่า ทำให้ปริมาณค่าความส่องสว่างที่ได้มากขึ้น ซึ่งการติดตั้งในจำนวนท่อที่มากจะได้ปริมาณแสงที่มากและลดลงตามลำดับจำนวนท่อที่ติดตั้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร, (2550) ซึ่งการติดตั้งท่อนำแสงควรมีระยะห่างที่เหมาะสม เช่น ระยะห่างระหว่าง

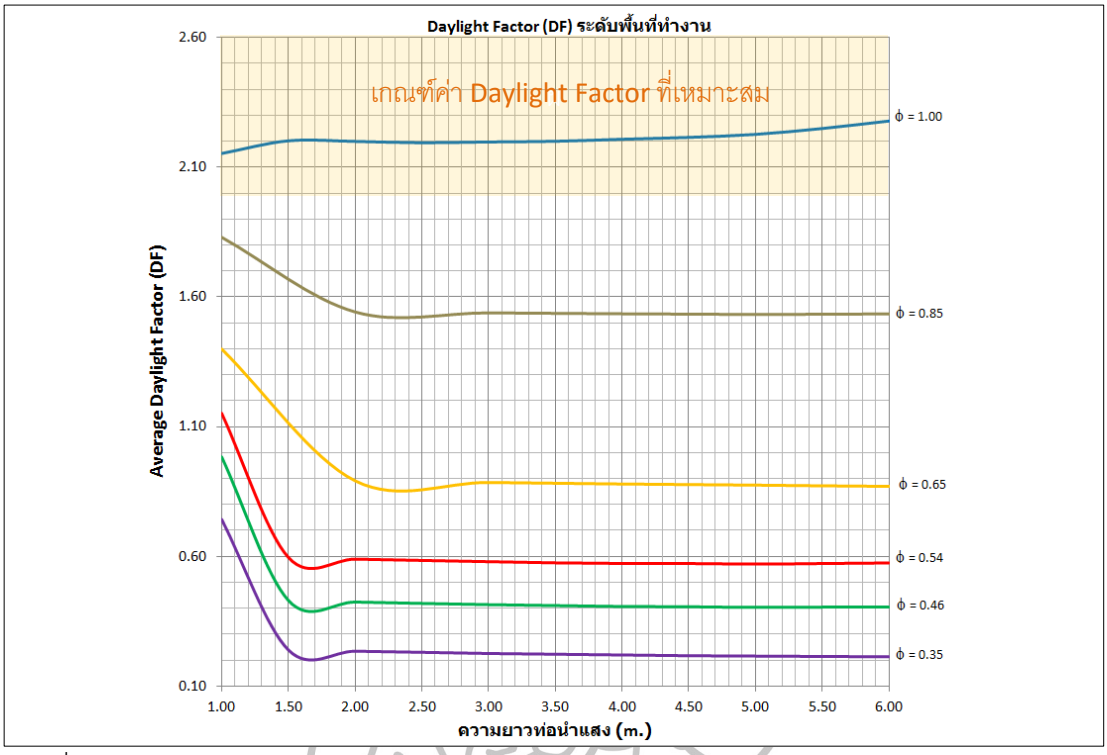
พื้นที่ทำงานกับท่อนำแสงห่างกันมาก ต้องใช้ท่อนำแสงจำนวนมากขึ้น หรือถ้าระยะห่างระหว่างพื้นที่กับท่อนำแสงน้อยเกินไป ต้องลดขนาดท่อนำแสงลงเพื่อให้ได้แสงที่มีความสม่ำเสมอและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2 ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ โดยใช้ระยะห่างที่เท่ากัน

เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่างเมื่อเพิ่มหน้าตัดท่อนำแสงในการติดตั้งด้วยระยะที่เท่าๆกันในความยาวท่อที่ต่างกัน จึงทำการทดลองโดยกำหนด หน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, 0.85, 1.00 เมตร เพื่อเห็นระดับความเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของแสงในขนาดท่อที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น รูปแบบการติดตั้งระยะห่างของท่อนำแสงในระยะที่เท่ากันคือ 4.00 x 4.00 เมตร ในช่วงเดือนเมษายน เวลา 12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สามารถเห็นแนวโน้มของปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงได้ชัดเจนที่สุดดังภาพที่ 146



ภาพที่ 145 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของหน้าตัดท่อต่อความยาวท่อนำแสงที่ติดตั้งระยะห่าง 4.00 x 4.00 เมตร



ภาพที่ 146 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของหน้าตัดท่อต่อความยาวท่อนำแสงที่ติดตั้งระยะห่าง 4.00 x 4.00 เมตร

จากภาพที่ 147 สรุปได้ว่าขนาดหน้าตัดต่างๆของท่อนำแสงมีผลต่อความยาวท่อที่ต่างกันโดยวัดจากปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้ภายในอาคาร ทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

เมื่อเพิ่มขนาดหน้าตัดท่อนำแสง ค่าความส่องสว่างที่ได้จะเพิ่มขึ้น ในความยาวท่อนำแสงที่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเกิดจากขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่กว้างขึ้นสามารถเพิ่มพื้นที่ในการรับแสงจากภายนอกทำให้มีปริมาณแสงสว่างเข้าสู่ภายในได้มากกว่าท่อที่มีขนาดเล็กกว่า

แต่เมื่อเพิ่มความยาวท่อนำแสงนั้น ค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสงจะมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงที่ต่างออกไปตามหน้าตัดของท่อนำแสง ในกรณีที่ขนาดหน้าตัดท่อนำแสงมีขนาดไม่เกิน 0.85 เมตร (หน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, 0.85 เมตร) การเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างจะเป็นลักษณะที่ความส่องสว่างสูงที่สุดเมื่อติดตั้งที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.50 เมตร และความส่องสว่างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความยาวท่อถึง 6.00 เมตร ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากขนาดหน้าตัดท่อนำแสงและ ความยาวของท่อนำแสง ในกรณีที่ท่อนำแสงมีขนาดเล็กทำให้ส่วนโดมรับแสงรับปริมาณแสงที่ส่งผ่านมายังท่อนำแสงค่อนข้างน้อยกว่าขนาดหน้าตัดท่อที่ใหญ่กว่าตามลำดับ ส่วนในกรณีผลของแสงที่ได้ ที่เกิดจากความยาวท่อสามารถอธิบายได้ 2 สาเหตุคือ เมื่อท่อนำแสงมีความยาวของท่อที่สั้นส่งผลให้เกิดการสะท้อนภายใน

ท่อที่น้อยทำให้การสูญเสียแสงภายในท่อน้อย แต่ท่อนำแสงที่สั้นนั้นจะส่งผลให้ระยะห่างระหว่างปลายท่อกับพื้นผิวทำงานที่มากกว่าทำให้วัดปริมาณแสงได้ค่าที่น้อยลงโดยผลที่เกิดจากความยาวท่อทั้ง 2 สาเหตุเกิดการชดเชยกันของแสงทำให้ลักษณะของกราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (ภาพที่ 144) ในช่วงความยาวท่อที่ 1.50 – 6.00 เมตร มีความใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบหน้าตัดท่อนำแสง ความยาวท่อนำแสงกับปริมาณแสงที่ได้นั้น ท่อนำแสงที่มีขนาดหน้าตัดที่เล็กเหมาะสมที่จะติดตั้งด้วยความยาวท่อที่สั้นเพื่อลดการสูญเสียของปริมาณแสงที่ได้โดยสังเกตได้จากกราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสอดคล้องกับงานวิจัยของ บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร, (2550) ซึ่งท่อนำแสงที่มีขนาดที่สั้นจะให้ปริมาณแสงสว่างที่มากแต่แสงไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอ อาจใช้งานกับแสงประดิษฐ์เพื่อให้แสงสว่างมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น ส่วนท่อที่มีความยาวนั้นมีปริมาณแสงที่ได้น้อยกว่า แต่แสงที่ได้จะมีความสม่ำเสมอมากกว่า และเมื่อท่อมีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่ขึ้นเป็นขนาด 1.00 เมตร ความยาวท่อจึงมีผลในการช่วยเพิ่มปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงได้เมื่อสังเกตจากกราฟ ทำให้เห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามความยาวท่อนำแสงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างทำให้ส่วนโดมรับแสงสามารถรับปริมาณแสงจากภายนอกได้ค่อนข้างมากสอดคล้องกับงานวิจัยของ บริรักษ์ อินทรกุลไชย, ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, (2552) และ ภิษโญ ชุมมณี, (2549) และ ศิวดล อุปพงษ์, ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, (2556) ซึ่งหน้าตัดท่อนำแสงขนาดใหญ่กว่าจะสามารถนำพาแสงได้ในปริมาณที่มากกว่า

ซึ่งในหน้าตัดท่อนำแสงขนาด 1.00 เมตร การเพิ่มความยาวของท่อนำแสงนั้น ทำให้ค่าความส่องสว่างภายในที่ได้เพิ่มขึ้น จะเป็นในลักษณะที่ความส่องสว่างสูงสุดที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร และค่อยๆลดลงเมื่อความยาวท่อที่ลดลง ทั้งนี้น่าจะมาจากการเพิ่มขึ้นของความยาวท่อช่วยให้ลดระยะห่างระหว่างพื้นที่ใช้งานกับปลายท่อนำแสงหรือส่วนกระจายแสงของท่อนำแสงลงและ เมื่อส่วนกระจายแสง มีระยะที่ใกล้จุดที่ทำการวัดค่าความส่องสว่างจึงทำให้วัดค่าความส่องสว่างของแสงที่ได้ภายในอาคารทำให้มีปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงที่วัดได้มากกว่าระยะความยาวท่ออื่นๆ

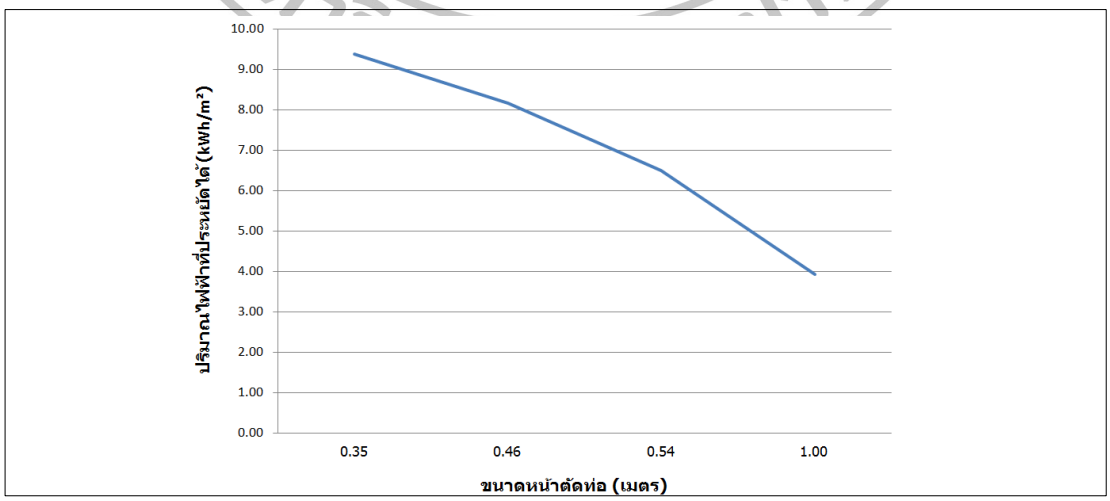
3 รูปแบบการใช้งานระบบท่อนำแสงที่เหมาะสมสำหรับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

ด้วยลักษณะตัวอาคารเป็นอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่และ ระยะห่างจากพื้นถึงฝ้าค่อนข้างสูง การนำระบบท่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ให้เพื่อให้ได้ประโยชน์และ เหมาะสมนั้นจึงมีรูปแบบในการเลือกใช้ค่อนข้างน้อย ในทั้งนี้เพื่อที่จะให้ได้ปริมาณค่าความส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในประเภทหน้าตัดท่อนำแสงนั้นๆ

ท่อนำแสงขนาดหน้าตัด 0.35, 0.46, 0.54 เมตร หากติดตั้งท่อนำแสงในระยะที่ต่างกันตามขนาดหน้าตัดท่อ ควรติดตั้งในระยะความยาวท่อที่ 1.00 เมตร ซึ่งเป็นการติดตั้งที่ได้ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มากที่สุด เนื่องจากหน้าตัดท่อขนาดดังกล่าวเป็นขนาดที่ค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับขนาดของประเภทอาคารและ การใช้งานท่อนำแสงจึงมีประสิทธิภาพในการรับแสงที่ไม่มากนัก โดยเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 145 เมื่อติดตั้งท่อนำแสงด้วยหน้าตัดท่อที่ต่างกันส่งผลต่อค่า Daylight Factor ไม่ต่างกันมากนักเนื่องจากการติดตั้งท่อนำแสงในระยะที่ต่างกันตามขนาดหน้าตัดท่อ สามารถใช้ค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสงในหน้าตัดแต่ละประเภทเป็นเกณฑ์ในการกำหนดระยะในการติดตั้ง ระยะความยาวท่อจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพของแสงมากโดยระยะความยาวท่อที่สั้น จะทำให้แสงที่ส่องผ่านเกิดการสะท้อนและสูญเสียปริมาณของแสงน้อย แสงที่ได้รับภายในอาคารจึงมากขึ้น แต่ข้อเสียก็คือแสงที่ได้นั้นอาจจะมีความร้อนปะปนเข้ามาด้วย เนื่องจากช่วงระยะความยาวท่อที่สั้น แสงที่รับจากดวงอาทิตย์โดยตรงอาจไม่ได้รับการสะท้อนทั้งหมดก่อนที่จะเข้ามายังภายในอาคาร โดยขึ้นอยู่กับองศาของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังจุดรับแสงของท่อนำแสงในช่วงเวลานั้นๆ

ส่วนท่อนำแสงขนาดหน้าตัด 1.00 เมตร ควรติดตั้งในระยะความยาวท่อที่ 6.00 เมตร เนื่องจากขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างสามารถรับแสงจากภายนอกได้มาก ความยาวท่อที่ยาวจะเป็นตัวช่วยในการสะท้อนส่งผ่านแสงมาส่วนพื้นที่ทำงานได้มาก ยิ่งระยะห่างระหว่างพื้นที่ทำงานกับปลายท่อนำแสงน้อยเพียงไรก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานได้มากขึ้นเท่านั้น

การพิจารณาติดตั้งท่อนำแสงในอาคารนั้นอาจต้องพิจารณาระยะการติดตั้งตามข้อจำกัดของงานระบบอื่นๆบนฝ้าเพดานในส่วนที่จะทำการติดตั้ง เช่น ระบบปรับอากาศ, ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง, ระบบป้องกันอัคคีภัย เป็นต้น



ภาพที่ 147 แสดงปริมาณพลังงานที่ประหยัดในท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆ (ความยาวท่อที่เหมาะสม) ต่อพื้นที่

ตารางที่ 96 สรุปรูปแบบท่อนำแสงที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารประเภท ห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย

หน้าตัดท่อนำแสง (m)	ความยาวท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสง (lux)	งบประมาณในการลงทุน (บาท)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/ปี (kWh)	ประหยัด/ปี (บาท)	ระยะคืนทุน (ปี)	ช่วยลด Co2 (kg)
0.35	1.00	473	21 – 256	11,825,000	76,069.86	350,880	34	42,675
0.46	1.00	300	18 – 215	10,500,000	66,224.13	305,412	34	37,152
0.54	1.00	204	14 – 172	9,180,000	52,726.62	243,168	38	29,580
1.00	6.00	63	4 – 115	-	31,824.87	146,727	-	17,854

*หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดท่อนำแสง 1.00 เมตร ไม่สามารถคิดราคาได้ เนื่องจากต้องสั่งผลิตเป็นพิเศษ

4 การลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

จากตารางที่ 96 สรุปรูปแบบท่อนำแสงที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทยสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การชดเชยแสงสว่างในพื้นที่ใช้งานเมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยของอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ พบว่าแสงที่ได้จากการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาตินั้นอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานในบางกิจกรรมที่ต้องใช้ค่าความส่องสว่าง 300 – 500 lx ทำให้ต้องใช้ควบคู่กับแสงประดิษฐ์เพื่อประสิทธิภาพของแสงสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งานจริง

4.2 การประหยัดพลังงานซึ่งในการทดลองพบว่าค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสงธรรมชาติโดยสั่งจากทางบริษัทผู้ผลิตโดยตรงนั้นสามารถมีประสิทธิภาพชดเชยการใช้งานของแสงประดิษฐ์โดยคิดเป็นค่าใช้จ่ายสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของไฟฟ้าส่องสว่างได้ถึง 26.47% ต่อปี อย่างไรก็ตามหากมองในมุมธุรกิจกับการลงทุนซึ่งการติดตั้งระบบท่อนำแสงทั่วทั้งอาคารนั้นมีระยะคืนทุน 34 -38 ปี เป็นช่วงเวลาที่ยาว ดังนั้นการพิจารณาติดตั้งท่อนำแสงจึงอาจมีอุปสรรคอันเนื่องมาจากราคาจากทางบริษัทผู้ผลิตในปัจจุบันที่ยังสูงอยู่หากในอนาคตระบบท่อนำแสงได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น แนวโน้มของราคาและ ค่าติดตั้งอาจต่ำลง อาจทำให้ระบบท่อนำแสงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าส่องสว่าง แต่ในปัจจุบันที่ราคายังสูงเพราะเป็นการสั่งสินค้าจากบริษัทผู้ผลิตโดยตรงในการนำเข้ามาจากต่างประเทศ อาจทำได้โดยการเลือกติดตั้งเฉพาะส่วนที่สำคัญๆ ให้เหมาะสมต่อการใช้งานภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ได้โดยเฉพาะส่วนของสด เช่น

ส่วนขายผักและผลไม้ โถงทางเดิน และส่วนรับประทานอาหาร เป็นต้น เนื่องจากแสงธรรมชาติยังให้คุณภาพของสีที่ต่างจากหลอดไฟประดิษฐ์ทำให้มองเห็นสีสันที่เป็นธรรมชาติมากขึ้น

ในกรณีที่ผลิตท่อนำแสงด้วยผู้รับเหมาภายในประเทศจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตและติดตั้งได้มากกว่าการสั่งท่อนำแสงจากบริษัทผู้ผลิตโดยตรง โดยการสั่งผลิตท่อนำแสงที่มีลักษณะที่กำหนดไว้ในการทดลองโดยผู้รับเหมาดังตารางที่ 97 แต่ในกรณีที่ผลิตท่อนำแสงด้วยผู้รับเหมาจะต้องคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปดังนี้คือ ข้อดีคือ สามารถสั่งทำขนาดท่อนำแสงในหน้าตัดที่ต้องการได้, ราคาถูกกว่ามาก และ ข้อเสียคือ ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบท่อนำแสงจะน้อยลงตามค่าความสะท้อนภายในท่อที่เป็นไปตามวัสดุที่ผลิต

ตารางที่ 97 แสดงราคาท่อนำแสงของผู้รับเหมาภายในประเทศไทยเทียบกับบริษัทผู้ผลิตโดยตรง

ความยาวท่อ (m)	ขนาดหน้าตัดท่อ/ราคารวมค่าติดตั้ง							
	0.35		0.46		0.54		1.00	
	บริษัทผลิต	ผู้รับเหมาผลิต	บริษัทผลิต	ผู้รับเหมาผลิต	บริษัทผลิต	ผู้รับเหมาผลิต	บริษัทผลิต	ผู้รับเหมาผลิต
1.00	25,000	4,870	35,000	4,870	45,000	4,870	-	8,740
2.00	28,000	4,870	39,000	8,740	50,000	8,740	-	16,480
3.00	31,000	8,740	43,000	12,610	55,000	12,610	-	24,220
4.00	34,000	8,740	47,000	16,480	60,000	16,480	-	31,960
5.00	37,000	12,610	51,000	20,350	65,000	20,350	-	39,700
6.00	40,000	12,610	55,000	24,220	70,000	24,220	-	47,440

หมายเหตุ: การคิดราคาผลิตท่อนำแสงโดยผู้รับเหมาได้รวมค่า วัสดุ, ค่าภาษี, ค่าการสั่งทำส่วนรับแสงและกระจายแสงของท่อนำแสง, ค่าติดตั้ง ในปี พ.ศ. 2559

4.3 การลดปริมาณการเกิดของก๊าซคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าได้มากถึง 42,675 กิโลกรัมต่อปี เทียบเท่ากับการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการปลูกต้นสักประมาณ 20 ไร่/ปี (ระยะการปลูก 4.00 x 4.00 เมตร 100 ต้น/ไร่) (คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้, 2554)

บทที่ 6

สรุปและ ข้อเสนอแนะ

1. บทสรุป

จากการศึกษาวิจัย ถึงการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย อย่างมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานและการลงทุน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนส่วนแรกคือ การติดตั้งรูปแบบท่อนำแสงตามระยะที่กำหนด และการติดตั้งรูปแบบท่อนำแสงในระยะที่เท่ากันคือ 4.00 x 4.00 เมตร มาใช้ในการทดลองและคำนวณด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในที่ได้จากท่อนำแสง มาเพื่อชดเชยการใช้พลังงานจากไฟฟ้าส่องสว่าง จากผลของการทดลองทำให้เห็นได้ว่าการติดตั้งระบบท่อนำแสงสามารถนำมาใช้กับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ได้จริง โดยคิดเป็นพลังงานที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 78,816 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็นเงิน 350,880 บาทต่อปี และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพลังงานไฟฟ้าส่องสว่างที่ประหยัดได้ 26.47% ต่อปี นอกจากนั้นยังช่วยลดปริมาณการเกิดของก๊าซคาร์บอนในการผลิตไฟฟ้าได้มากถึง 42,675 กิโลกรัมต่อปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบในการติดตั้งท่อนำแสงที่เหมาะสมกับลักษณะของอาคารและการใช้งานในกิจกรรมนั้นๆ

โดยตัวแปรที่สำคัญในการติดตั้งระบบท่อนำแสงคือ ค่าความสว่างของแสงจากภายนอกอาคารที่ปราศจากการบดบังของวัตถุต่างๆ ทำให้แสงธรรมชาติสามารถผ่านเข้าสู่ท่อนำแสงโดยตรง มุมตำแหน่งองศาของดวงอาทิตย์ (Altitude angle, hs) ที่ส่งมายังท่อนำแสงทำให้แสงสามารถเข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ยิ่งมุมมีขนาดเล็กจะทำให้มีประสิทธิภาพในการนำพาแสงเข้าสู่ภายในอาคารจะมีค่ามาก เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียแสงสว่างจากการสะท้อนและดูดกลืนภายในส่วนท่อนำแสงได้ หน้าตัดท่อและความยาวของท่อนำแสง เมื่อท่อนำแสงมีขนาดหน้าตัดท่อที่เล็กทำให้ส่วนโดมรับแสงรับปริมาณแสงที่ส่งผ่านมายังท่อนำแสงค่อนข้างน้อยจึงเหมาะสมที่จะติดตั้งด้วยความยาวท่อที่สั้นเพื่อลดการสูญเสียของปริมาณแสงที่ได้ แต่ท่อมีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่ขึ้นเป็นขนาด 1.00 เมตร ค่าความส่องสว่างจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามความยาวท่อนำแสงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างทำให้ส่วนโดมรับแสงสามารถรับปริมาณแสงจากภายนอกได้ค่อนข้างมากและ ช่วยลดระยะห่างระหว่างพื้นที่ใช้งานกับปลายท่อลงทำให้มีระยะที่ใกล้จุดที่ทำการวัดค่าความส่องสว่างจึงทำให้วัดค่าความส่องสว่างของแสงที่ได้ภายในอาคารที่มาก ระยะการติดตั้งและจำนวนท่อก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลถึงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในเช่นกัน โดยการติดตั้งจำนวนท่อนำแสงในระยะที่ใกล้

กันส่งผลให้จำนวนท่อในการติดตั้งเพิ่มมากขึ้นและเมื่อจำนวนการติดตั้งท่อนำแสงที่เพิ่มมากขึ้นจะยิ่งทำให้ค่าความส่องสว่างมากขึ้นตามไปด้วย จากการทดลองโดยท่อนำแสงที่เหมาะสมในการติดตั้งในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ขนาด 78.00 x 104.00 เมตร ระยะจากพื้นถึงฝ้า 9.30 เมตร คือติดตั้งท่อนำแสงที่ระยะความยาวท่อ 1.00 เมตร หน้าท่อนำแสงขนาด 0.35, 0.46, 0.54 (ติดตั้งตามระยะที่กำหนด) ตามลำดับ

จากการวิจัยระยะความยาวท่อนำแสงมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแสงที่ได้โดยระยะความยาวท่อตั้งแต่ 1.50 – 6.00 เมตร มีค่าความส่องสว่างภายในที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยประมาณ 1 – 15 lx ซึ่งอยู่ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับมูลค่าในการลงทุน ในภาพรวมของการทดลองการติดตั้งระบบท่อนำแสงภายในอาคารห้างค้าปลีกตัวอย่างนั้นมีระดับความส่องสว่างต่ำกว่ามาตรฐานในส่วนของความต้องการแสงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการใช้งานตลอดเวลาควรใช้แสงประดิษฐ์ควบคู่กับแสงธรรมชาติ เพื่อให้มีความส่องสว่างที่เหมาะสมกับความต้องการ

2. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการวิจัยการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารตัวอย่างห้างค้าปลีกขนาดใหญ่นั้น มีระยะเวลาในการศึกษาที่จำกัดมีข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางการวิจัยเพิ่มเติม คือในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการติดตั้งระบบท่อนำแสงที่ขนาดหน้าตัดท่อต่างๆจะได้ลักษณะพฤติกรรมของแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามความยาวของท่อนำแสงที่เปลี่ยนไปโดยในการทดลองนี้จำกัดความยาวท่อที่ 1.00 – 6.00 เมตร จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณของแสงที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อเพิ่มความยาวท่อมากกว่า 6.00 เมตร ซึ่งอาจจะส่งผลให้ได้ปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในลักษณะกราฟการแสดงผลที่เปลี่ยนไป และการหาค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ได้รับเมื่อใช้ระบบท่อนำแสง (uniformity) ควรมีการทดลองและเก็บข้อมูลปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ในสถานที่จริงมาใช้ในการทดลองถึงปริมาณแสงที่ได้ภายในผ่านท่อนำแสง เนื่องจากการวัดค่าความส่องสว่างแสงจากสถานที่จริงอาจจะวัดค่าปริมาณแสงสว่างที่ได้จากภายนอกในปริมาณที่มากกว่าค่า (Mean) ในการทดลองนี้และ การวัดค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงยังได้คำนึงถึงปัจจัยภายนอกรอบข้างที่อาจมีผลต่อปริมาณแสงได้อย่างแท้จริง เช่น สีของอาคารข้างเคียง, ขนาดและเงาที่ตกกระทบ, รวมถึงปริมาณเมฆและสภาพอากาศบริบทต่างๆ ในช่วงเวลาและฤดูการต่างๆตลอดทั้งปีและ ปัจจัยภายใน เช่น เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ตำแหน่งที่ตั้งและความสูงของชั้นวางของภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ซึ่งมีผลต่อปริมาณแสงที่วัดได้ อาจทำให้ผลการทดลองการใช้ระบบท่อนำแสงธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอาคารนั้นๆ และอาจจะผลการทดลองที่ได้ในการติดตั้งท่อนำแสงมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในการใช้งานในประเทศไทยมากขึ้น ควรมีการศึกษาเปรียบถึงความร้อนของแสงที่เกิดจากรังสีของดวง

อาทิตย์ ภายในท่อนำแสงที่มีระยะความยาวท่อที่ต่างกัน และในวัสดุส่วนท่อนำแสงที่ต่างกัน ข้อดี ข้อเสียของส่วนรับแสงและ กระจายแสงที่ต่างกัน รวมถึงขนาดหน้าตัดท่อนำแสงต่อความยาวท่อที่เหมาะสมในการใช้งานโดยไม่ทำให้เกิด แสงบาดตา ซึ่งการใช้ท่อนำแสงในระยะที่สั้นในขนาดหน้าตัดท่อที่ในอาจจะทำให้เกิดแสงบาดตามากกว่าการใช้ท่อนำแสงที่มีความยาวท่อที่ยาวในขนาดหน้าตัดท่อที่เล็กหรือไม่

รายการอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. (2552). **ตำราอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโสด้านปฏิบัติด้านไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ: สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2553). **รายงานประจำปี 2553.** กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนปฏิบัติราชการสี่ปีและแผนปฏิบัติราชการประจำปีงบประมาณ 2558.** กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร. (2550). "การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

บริรักษ์ อินทรกุลไชย. และ วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์. (2553). "การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน." **วารสารวิจัยพลังงาน** 7, 1 (มีนาคม): 14-26.

พิรุณห์รัตน์ บุริประเสริฐ. (2543). "รูปแบบของช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พุทธินันท์ มงคลวิเศษไกวัล. (2543). **ระดับความส่องสว่างเฉลี่ยอย่างต่ำ (lx) สำหรับพื้นที่ทำงานและพฤติกรรมต่างๆ.** กรุงเทพฯ: สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภิญโญ ชุมมณี. (2549). "การออกแบบและทดสอบการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงในอาคาร." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2558). "การประเมินแสงสว่างในอาคารโดยสมการคณิตศาสตร์และเฟอร์นิเจอร์." ในการประชุมวิชาการระดับชาติ สถาปัตย์กระบวนทัศน์, (กรกฎาคม): 1.

วิษณุ เอื้อชูเกียรติ. (2552). **สเปกโทรสโกปี จากสายรุ้งสู่เอกภพ.** เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษจิกายน. เข้าถึงได้จาก http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=spectroscopy

ศิวดล อุปพงษ์. และ ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2556). "การใช้แสงธรรมชาติในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง." **วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น** 12, 1 (เมษายน-ตุลาคม): 78-85.

เสริม จันทร์ฉาย. และ จรุงแสง ลักษณบุญส่ง. (2542). **แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

อดิศา วงษ์ชมภู, ภัทรนันท์ ทักขนนท์ และ นวลวรรณ ทวยเจริญ. (2556). “รูปแบบอุปกรณ์กระจายแสงท่อนำแสงแนวดิ่ง.” **Built Environment Research Associates Conference, BERAC** 4, 1 (พฤษภาคม).

อธิสมัย โสพันธ์. (2554). **การออกแบบระบบส่องสว่าง.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

อนุศาสตร์ สระทองเวียน. (2553). “ธุรกิจค้าปลีก ประเทศไทย.” **Executive Journal สาขาวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม** 1: 138.

Abdou, Ossama A. (1997). “Effects of Luminous Environment on Worker Productivity in Building Spaces.” **Journal of Architectural Engineering** 3, 3 (September): 124-132.

Baroncini, Carlo. and others. (2006). “Numerical and experimental analysis of the‘Double Light Pipe’ a new system for daylight distribution in interior spaces.” **International Journal of Low Carbon Technologies** 6, 1 (September): 1-6.

Callow, Joel. (2003). “Daylighting Using Tubular Light Guide Systems.” Ph.D. dissertation University of Nottingham.

Ciralight Global [pseud]. **Lighting the Future, Naturally.** Accessed November 18, 2015. Available from http://www.ciralight.com/

Ciralight Global [pseud]. **Lighting the Future, Naturally**. Accessed November 18, 2015. Available from http://www.ciralight.com

David [pseud]. **The Layering Library (MILA) UI : BETA SHEDERS.** Accessed November 17, 2013. Available from https://elementalray.wordpress.com

Future Designs [pseud]. **Lighting Guide Design.** Accessed November 20, 2015. Available from www.futuredesigns.co.uk

Gábor Horváth, and others. **Visual estimation of the sun position in cloudy and twilight skies.** Accessed November 18, 2015. Available from http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/366/1565/772

Garcia, Hansen., Veronica Hansen, and Edmonds Ian. (2003). “Natural illumination of deep plan office buildings : light pipe strategies.” **ISES Solar World Congress**, 1 (June): 8.

Hathaway, Warren E. (1992). “A Study into the Effects of Light on Children of Elementary School - Age - A Case of Daylight.” **IRC Internal Report** , (February): 11-27.

Heschong, Lisa. (2003). “Daylight and Retail Sales. Detailed Report for California Energy Commission PIER Program.” **California Energy Commission** 5, 1(October): 1-72.

Joonho Choi, and Liliana O Beltran. (2004). “Study of the Relationship between Patients Recovery and Indoor Daylight Environment of Patient Rooms in Healthcare Facilities.” **ISES Asia – Pacific Conference,** 1 (October): 1003-1010.

Kiyak, I, and Gokmen G. (2013). “Increase energy savings with lighting automation using light pipes and power LEDs.” **World Academy of Science, Engineering and Technology** 7, 1 (May): 959-966.

Kwok Chun Man. (2011). “A study of horizontal light pipe system for interior daylighting in a dense urban environment.” Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University.

Loisos, George. (1999). “Sky lighting and Retail Sales and Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance.” In **Daylighting Initiative Design tools and information from The Pacific Gas and Electric Company,** 1-14. The Pacifie Gas and Electric Company. California: Heschong Mahone Mahone Group**.**

Luz, Bruna and others. (2014). “Empirical and software verification of a simplified predictive model of luminous efficiency of light-pipes.” **International PLEA Conference** 30**,** 1 (December): 1-8.

Malet, Bruno – Damour. and othes. (2013). “Light Pipes Performance Prediction: inter model and experimental confrontation on vertical circular light-guides.” **ISES Solar World Congress** 1, 1(January): 1-16.

Manikova, Lucia., Jozef Hraska, and Milan Janak. (2009). “Simplified Determination of Indoor Daylight Illumination by Light pipe.” **Slovak journal of Civil engineering** 4, 1 (October): 22-30.

Raynham, Peter. (2009). **The SLL Lighting Handbook**. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

Schou, Anders. (2005). “Investigation of light pipe simulation algorithms.” **The 2012 World Sustainable Building Conference** 2012, 1(January): 23-34.

Skyshade [pseud]. **Solar Light Pipe Daylighting System.** Accessed November 18, 2015. Available from www.skyshade.in

Solatube [pseud]. **The very best products at the very best prices.** Accessed November 18, 2015. Available from http://www.just-rooflights.com

Spencer Dutton, and Li Shao, (2007). “Raytracing simulation for predicting lightpipe transmittance.” **International Journal of Low Carbon Technologies** 2, 1 (August): 340-343.

Sunlight Dome [pseud]. **Sunlight Dome Natural Tubular Skylight.** Accessed November 10, 2015. Available from www.sunlightdome.com

Surapong Chirarattananon, Pipat Chaiwiwatworakul, and Singthong Pattanasethanon. (2002). “Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok.” **The National Energy Conservation Promotion Fund** 1, 1 (May): A1-A55.

Surapong Chirarattananon. and others. “Simulation of Transmission of Daylight through Cylindrical Light Pipes.” **Journal of Sustainable Energy & Environment** 1, 1 (January): 97-103.

Timeanddate [pseud]. **Sunset, Sunrise, Moontime - Bangkok Thailand.** Accessed November 5, 2015. Available from http://www.timeanddate.com

Veronica, Garcia Hansen. (2006). “Innovative Daylighting Systems for Deep-plan Commercial Buildings.” Thesis submitted for Doctor of Philosophy (PHD), Bachelor of Architecture, University of Mendoza.

Walch,Jeffrey m. and others. (2005). **The effect of sunlight on postoperative alalgesic medication use: a prospective study of patients undergoing spinal surgery**. Accessed November 5, 2015. Available from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15673638

Xiaodong Zhang. (2002). “Daylighting Performance of Tubular Solar Light Pipes Measurement, Modelling and Validation.” Ph.D. dissertation, College of Environmental Engineering, Napier University of Edinburgh.

Yan peng, and Chong fang. (2005). “Daylight Performance of Top Light Pipes and Side Lighting Light pipe Under Sunny Conditions in Beijing.” Ph.D. dissertation, College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology.

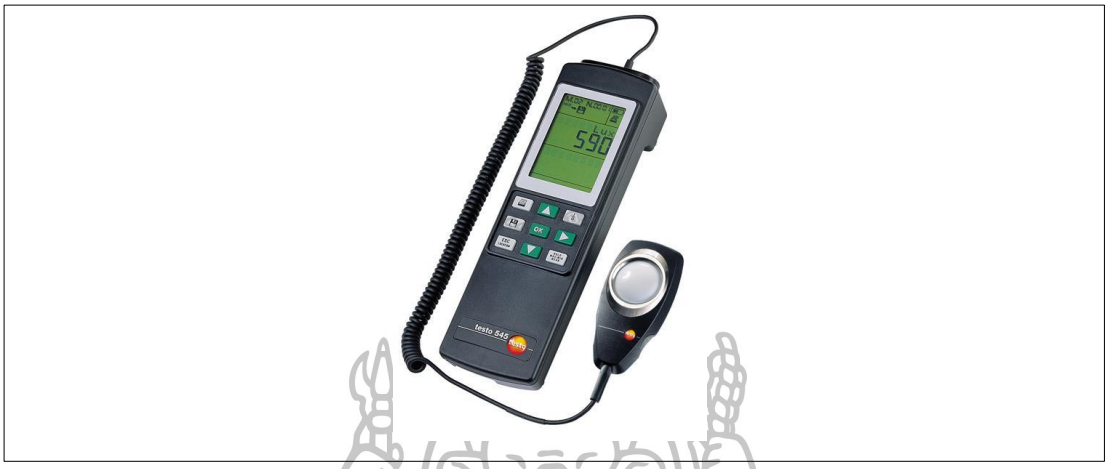
มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าแสงสว่างในการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าแสงสว่างในการทดลอง



ภาพที่ 148 แสดงอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความส่องสว่าง (Lux meter)

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้

1.1 ช่วงการวัด 0 ถึง 100,000 Lux

1.2 ค่าความละเอียดที่สามารถวัดได้ 1 Lux (0 ถึง 32,000 Lux), 10 Lux (0 ถึง 100,000 Lux) ค่าความคลาดเคลื่อน Accuracy to DIN 5032 Part 6 t1 : 8% (Lambda adaptation), t2 : 5% (cos like rating)

1.3 แสดงค่าการวัดสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ยสามารถกำหนดตำแหน่งในการวัดได้ 99 ตำแหน่ง สามารถบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำของเครื่องได้ 3,000 ค่า หน้าจอแสดงผลแบบ LCD 4 บรรทัด พิมพ์ผลข้อมูลโดยเครื่องพิมพ์อินฟราเรดแบบไร้สาย (Option) สามารถต่อการทำงานกับคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลได้ (อุปกรณ์เสริม) ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ TopSafe สำหรับป้องกันแรงกระแทก น้ำ ฝุ่น ใช้แบตเตอรี่ 9 V อายุการใช้งาน 50 ชั่วโมง ขนาด 220 x 68 x 50 มิลลิเมตร น้ำหนัก 500 กรัม

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองท่อนำแสงที่ไม่ได้ใส่ในบทที่ 4

1 ข้อมูลการทดลองท่อนำแสงที่ไม่ได้ใส่ในบทที่ 4

1.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

เพื่อเปรียบเทียบถึงอัตราการเปลี่ยนแปรของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มีผลมาจากขนาดหน้าตัดท่อต่อระยะความยาวท่อนำแสงที่ใช้ จึงกำหนดการทดลองดังนี้

1.1.1 ขนาดหน้าตัดท่อขนาด 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, 0.85, 1.00 เมตร

1.1.2 ความยาวท่อ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00 เมตร

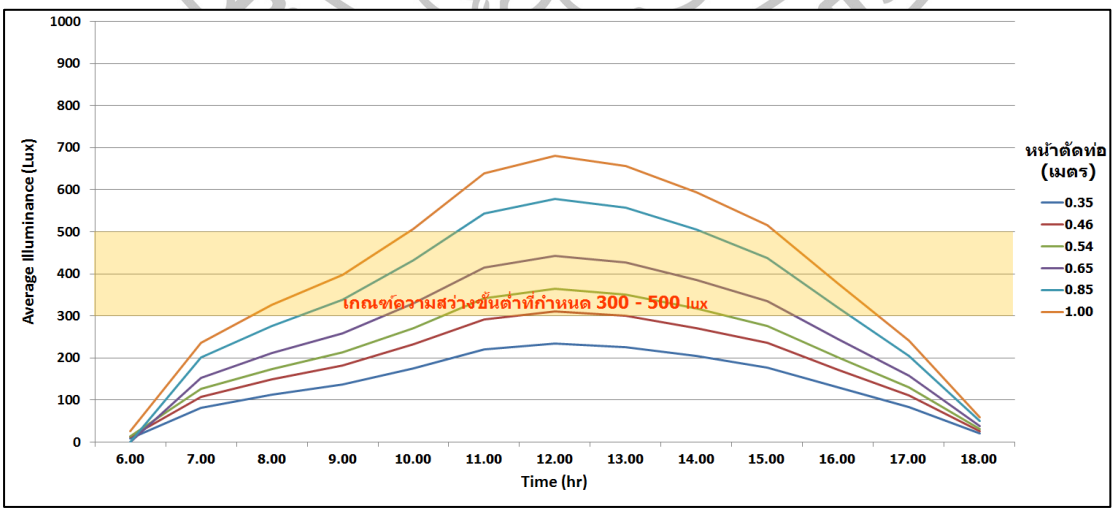
1.1.3 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

1.1.4 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

1.1.5 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

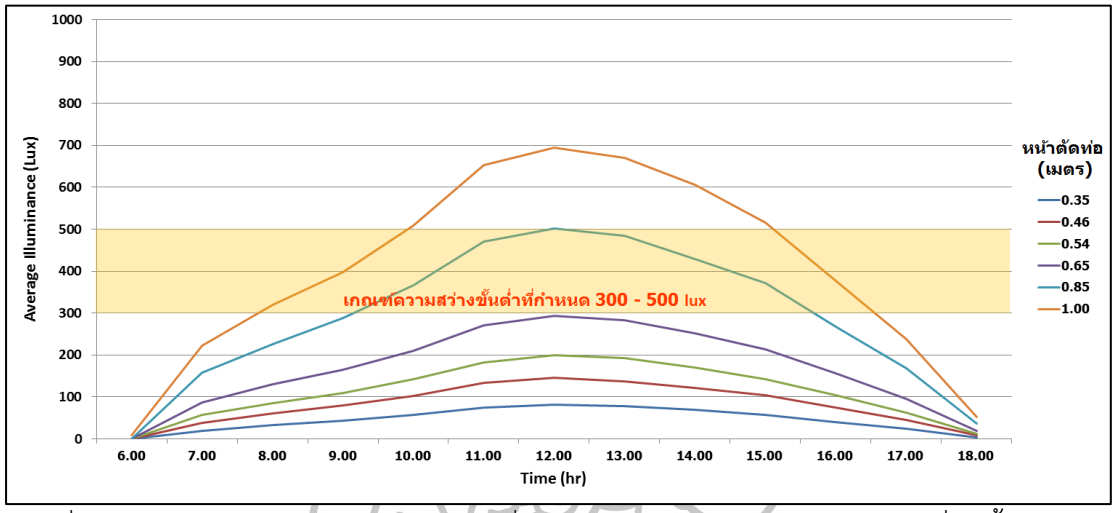
1.1.6 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ เดือนกันยายน ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา

1.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) มีผลการทดลองดังนี้



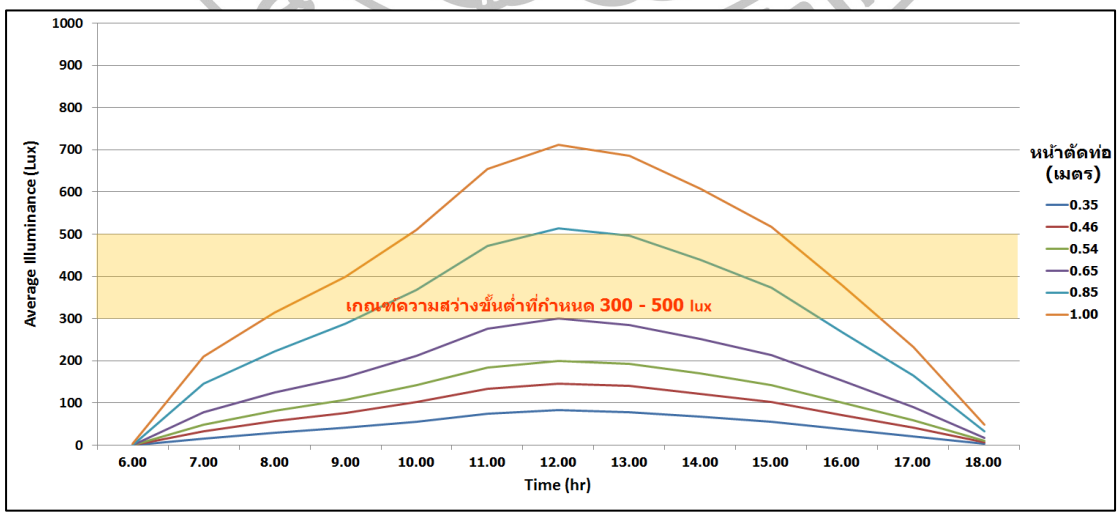
ภาพที่ 149 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน)

1.2 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) มีผลการทดลองดังนี้



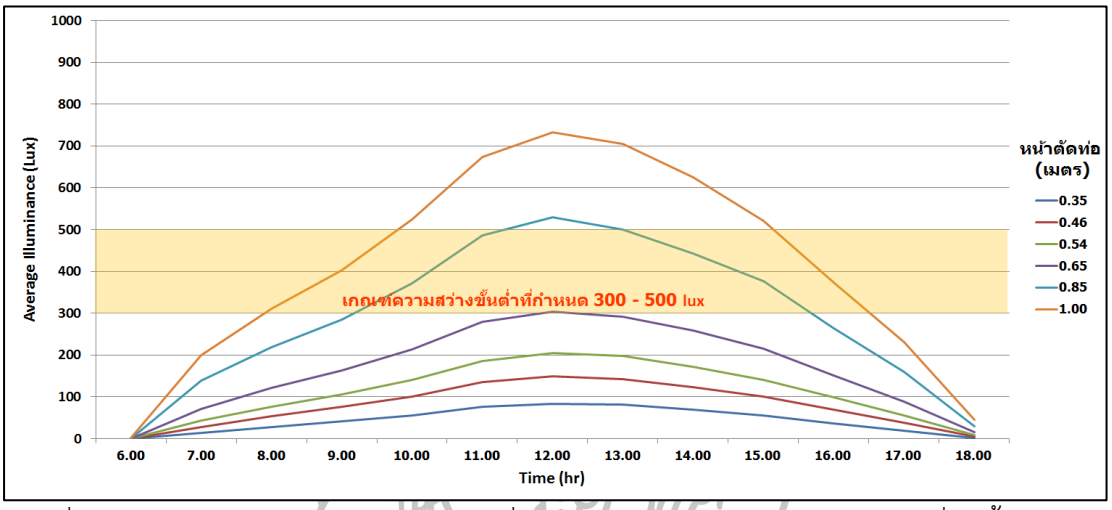
ภาพที่ 150 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน)

1.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) มีผลการทดลองดังนี้



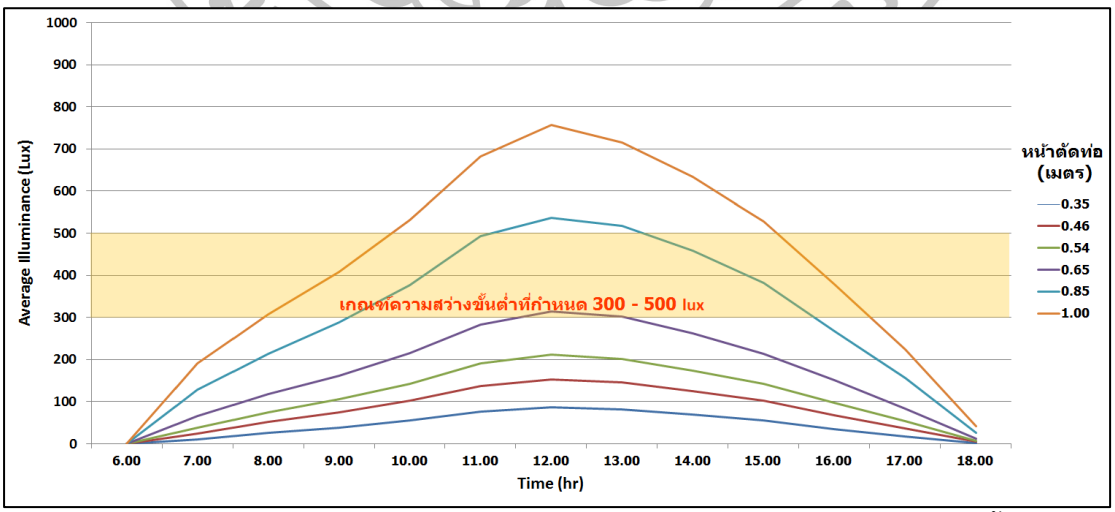
ภาพที่ 151 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน)

1.4 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) มีผลการทดลองดังนี้



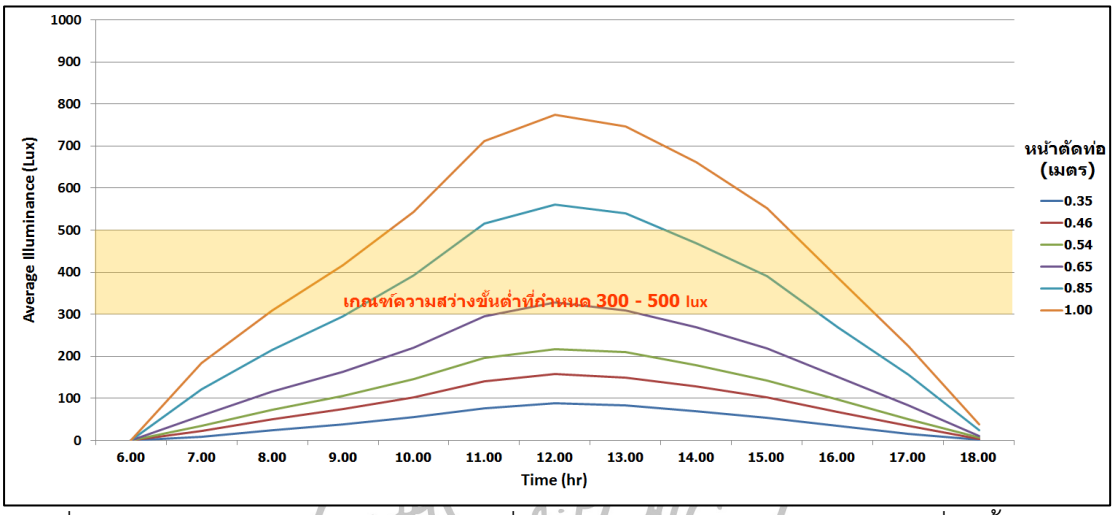
ภาพที่ 152 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน)

1.5 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 153 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน)

1.6 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 154 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนกันยายน)

2. การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

เพื่อเปรียบเทียบถึงอัตราการเปลี่ยนแปรของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มีผลมาจากขนาดหน้าตัดท่อต่อระยะความยาวท่อนำแสงที่ใช้ จึงกำหนดการทดลองดังนี้

2.1 ขนาดหน้าตัดท่อขนาด 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, 0.85, 1.00 เมตร

2.2 ความยาวท่อ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00 เมตร

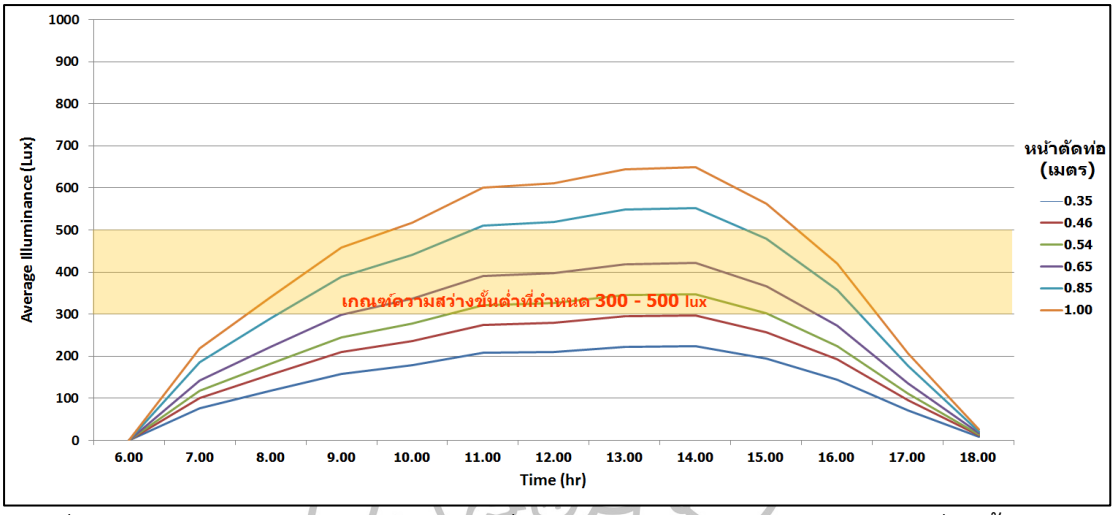
2.3 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

2.4 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

2.5 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

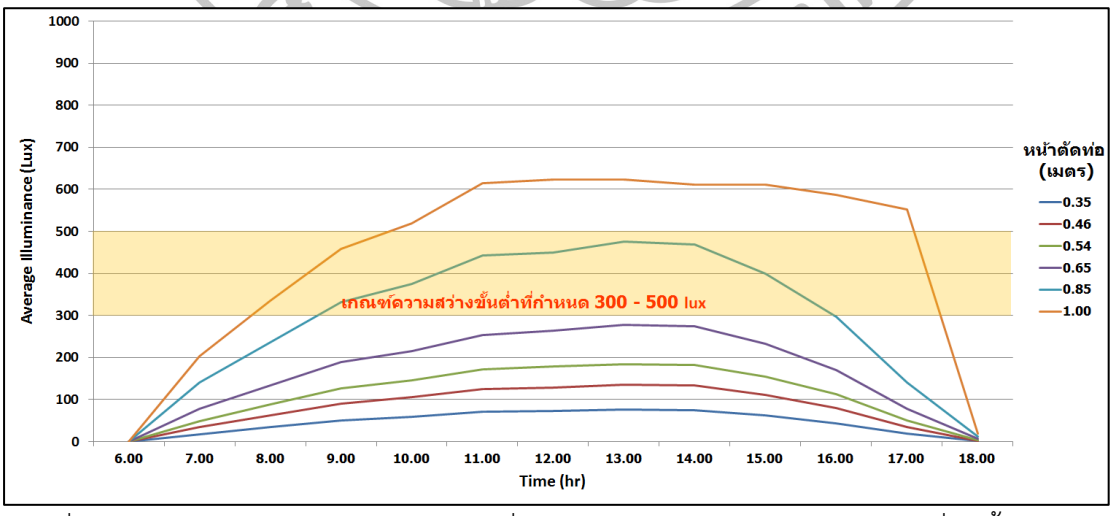
2.6 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ เดือนมิถุนายน ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา

2.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) มีผลการทดลองดังนี้



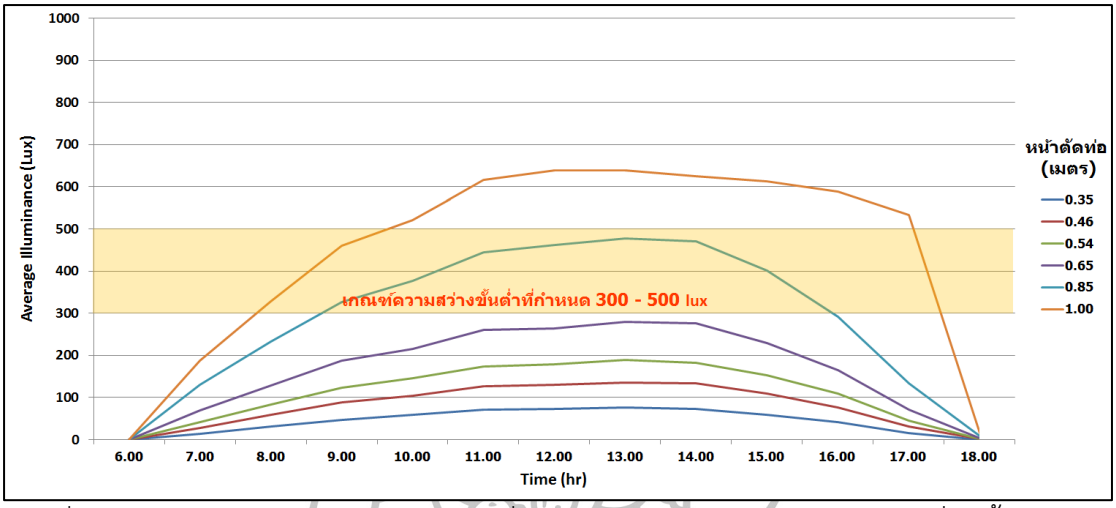
ภาพที่ 155 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน)

2.2 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) มีผลการทดลองดังนี้



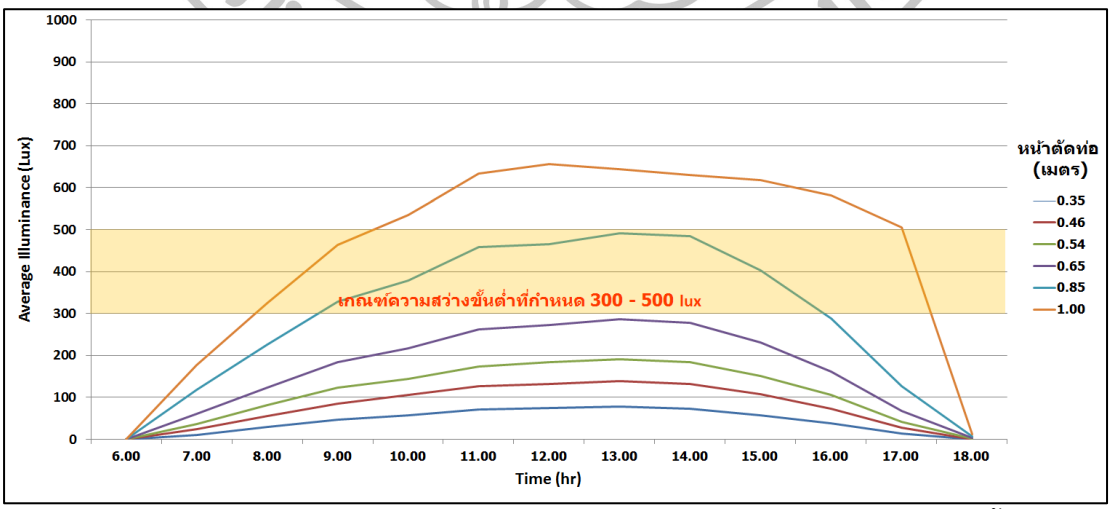
ภาพที่ 156 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน)

2.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) มีผลการทดลองดังนี้



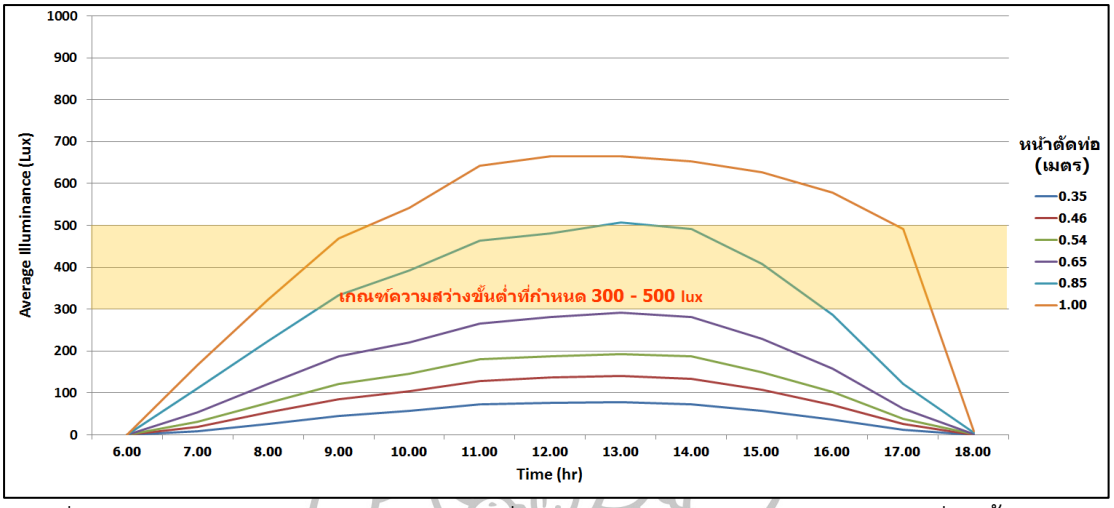
ภาพที่ 157 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน)

2.4 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) มีผลการทดลองดังนี้



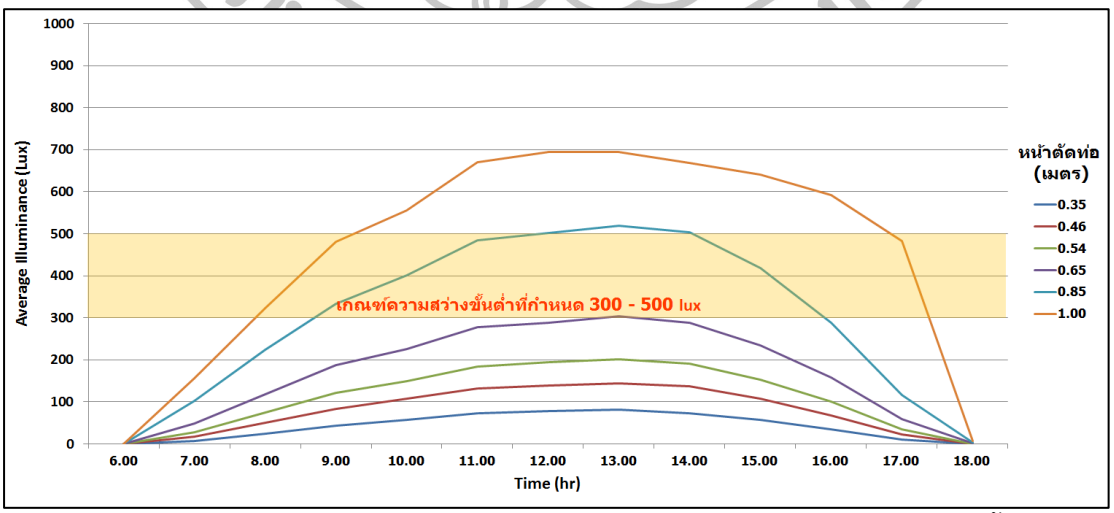
ภาพที่ 158 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน)

2.5 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 159 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน)

2.6 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 160 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน)

3. การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร

เพื่อเปรียบเทียบถึงอัตราการเปลี่ยนแปรของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มีผลมาจากขนาดหน้าตัดท่อต่อระยะความยาวท่อนำแสงที่ใช้ จึงกำหนดการทดลองดังนี้

3.1 ขนาดหน้าตัดท่อขนาด 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, 0.85, 1.00 เมตร

3.2 ความยาวท่อ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00 เมตร

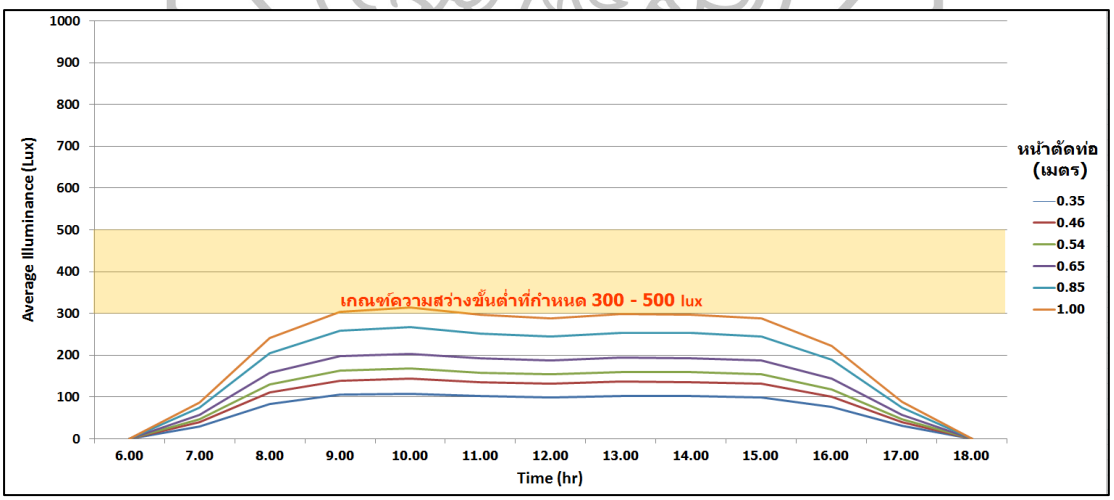
3.3 โดยมีจำนวนท่อในการติดตั้ง 473 ท่อ (ติดตั้งระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4.00 x 4.00 เมตร)

3.4 โดยวิเคราะห์ปริมาณแสงจากภายนอก จังหวัดกรุงเทพฯ ค่าความสว่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นค่า Mean ภายในช่วงเดือนเมษายน, กันยายน, มิถุนายน, ธันวาคม

3.5 โดยวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในระดับ 0.85 เมตร จากพื้นห้อง (Work plane)

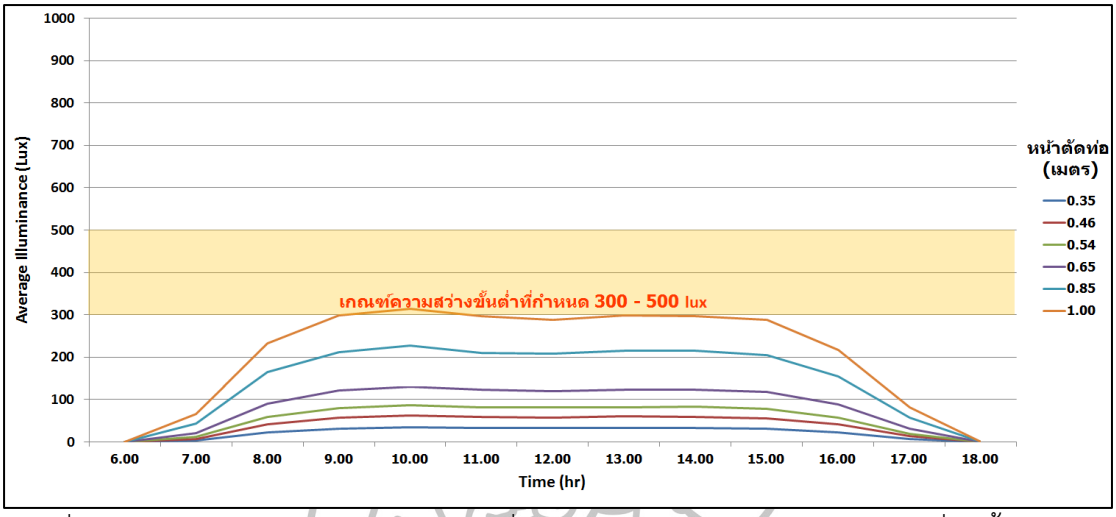
3.6 โดยเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์คือ เดือนธันวาคม ตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา

3.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม) มีผลการทดลองดังนี้



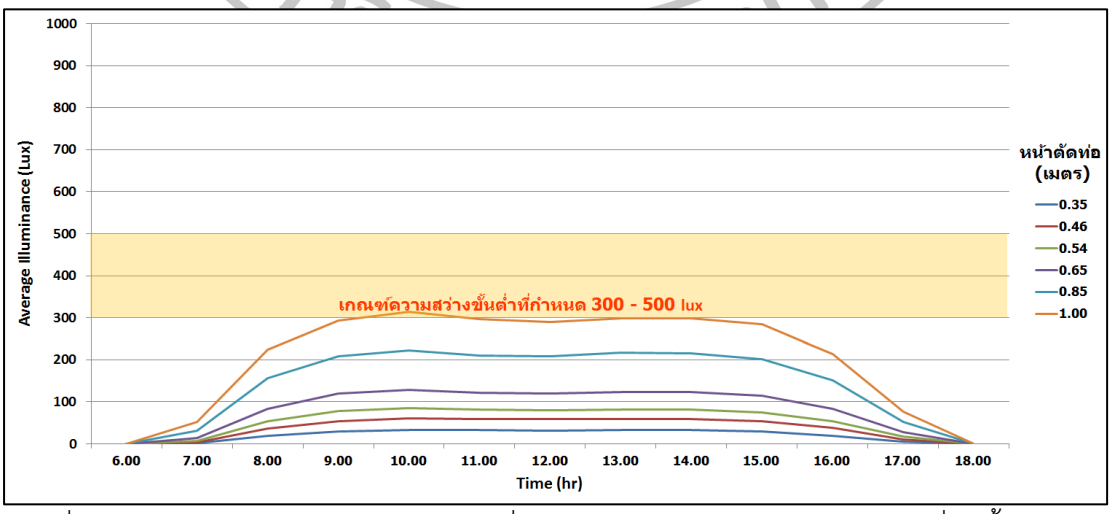
ภาพที่ 161 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)

3.2 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม) มีผลการทดลองดังนี้



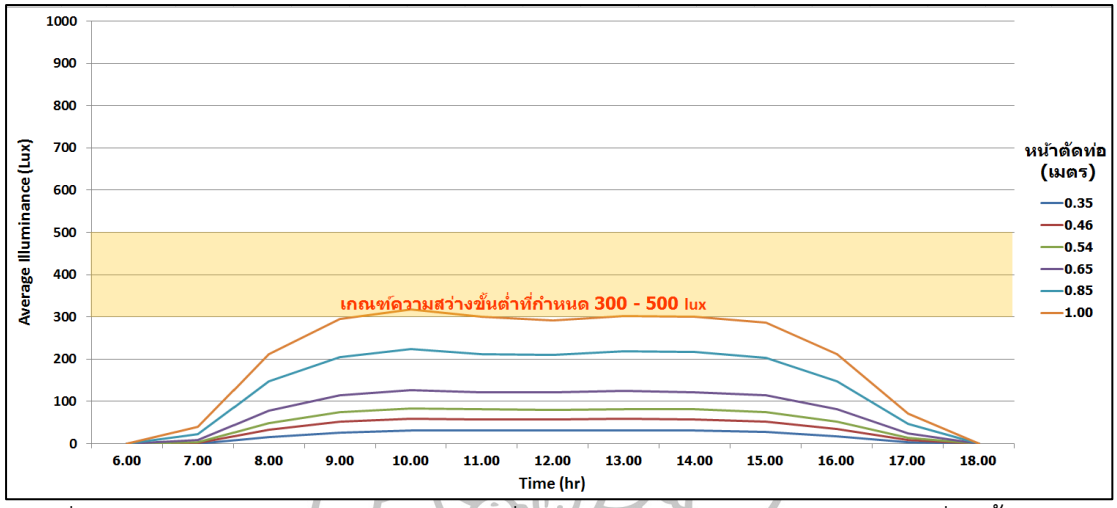
ภาพที่ 162 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 2.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)

3.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม) มีผลการทดลองดังนี้



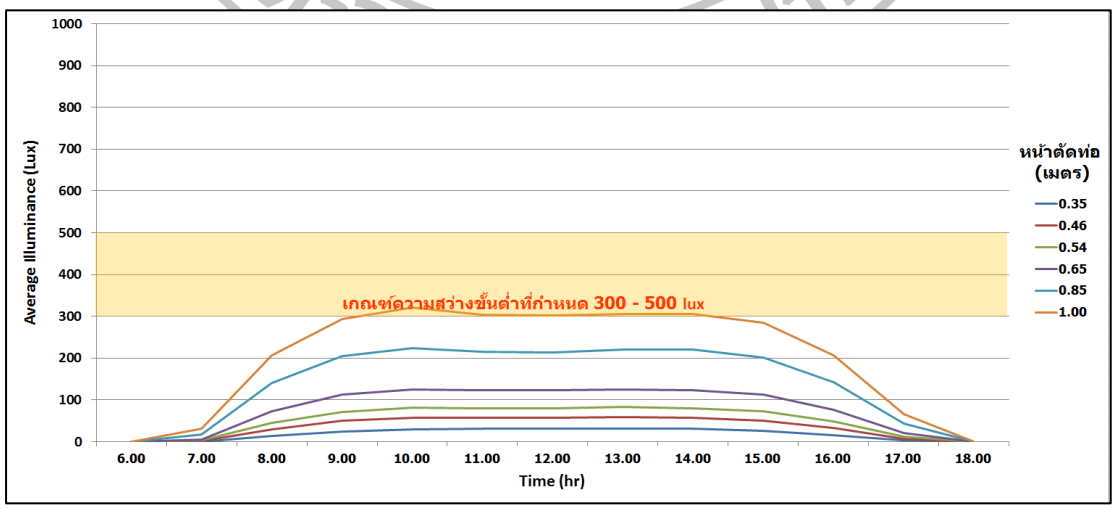
ภาพที่ 163 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 3.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)

3.4 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม) มีผลการทดลองดังนี้



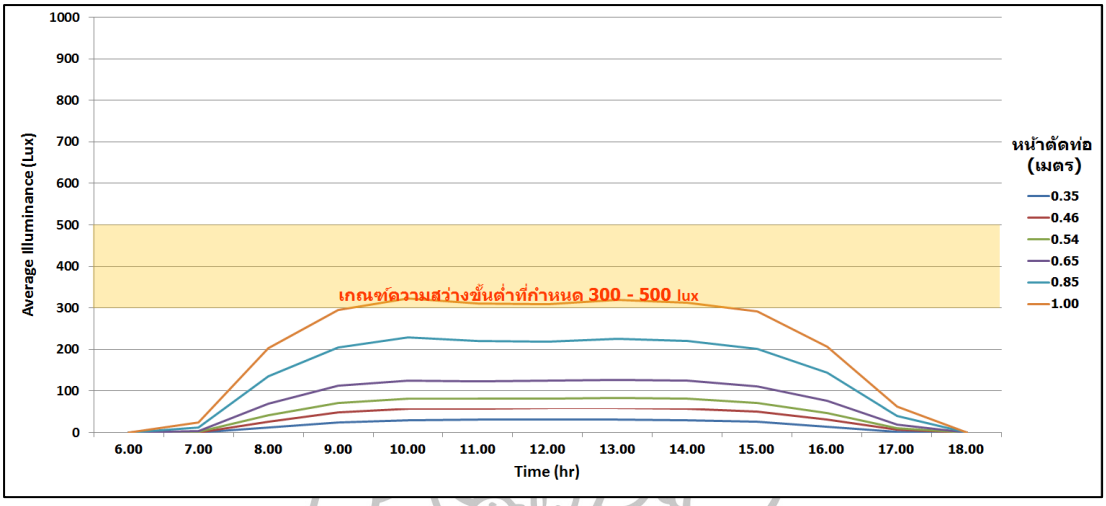
ภาพที่ 164 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 4.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)

3.5 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 165 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 5.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)

3.6 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม) มีผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 166 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงที่ได้จากท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆที่ติดตั้งในระยะ 4.00 x 4.00 เมตร ที่ความยาวท่อ 6.00 เมตร (ทำการทดลองในเดือนธันวาคม)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นายวัชรินทร์ วิมานจตุรงค์

ที่อยู่ 69/11 ถ. พลพิชัย อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556 สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

พ.ศ. 2557 ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม กลุ่มอนุรักษ์พลังงานในอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร