# การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร

โดย
นายบรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร

โดย
นายบรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# THE UTILIZATION OF NATURAL LIGHTING THROUGH SIDE BUILDING LIGHT PIPE SYSTEM

**By**

**Bannasith Chittayasothorn**

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

**MASTER OF ARCHITECTURE**

**Department of Architecture**

**Graduate School**

**SILPAKORN UNIVERSITY**

**2007**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร ” เสนอโดย นายบรรณสิทธิ์ จิตตะยโสธร เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

…….....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ศาสตราจารย์ เกียรติคุณอรศิริ ปาณินท์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ มาลินี ศรีสุวรรณ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี)
...../...../.....

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ศาสตราจารย์ เกียรติคุณอรศิริ ปาณินท์)
...../...../.....

46054204 : สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คำสำคัญ : ท่อนำแสง / แสงธรรมชาติ / ด้านข้างอาคาร

บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร : การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร.อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ เกียรติคุณอรศิริ ปาณินท์. 116 หน้า.

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำแสงด้านข้างเข้าสู่อาคารผ่านระบบท่อนำแสง โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณแสงที่ผ่านระบบท่อนำแสงเข้าสู่อาคาร เพื่อจะได้ทราบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆต่อแสงสว่างที่ผ่านระบบท่อนำแสงเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน

ขอบเขตของการศึกษาวิจัย คือ การทำการศึกษาภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงโดยที่ไม่มีผลกระทบจากร่มเงาของสภาพแวดล้อมรอบข้าง และทำการศึกษาเฉพาะกรณีของแสงที่เข้าสู่พื้นที่ทดลองผ่านระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้าง

วิธีการศึกษา ทำการสำรวจและวัดปริมาณแสงสว่างที่สะท้อนผ่านระบบท่อนำแสงเข้าสู่ภายในพื้นที่ทดลอง โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ

1.ทิศทางการรับแสงของท่อนำแสง

2.รูปแบบของท่อนำแสง

3.ความยาวของท่อนำแสง

4.ขนาดของท่อนำแสง

5.ตำแหน่งที่ทำการวัดแสง

โดยทำการทดลองตัวแปรละ 3 รูปแบบ และทำการทดลองหัวข้อละ 3 วันจากนั้นนำผลทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆกับปริมาณแสงสว่างที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ทดลอง

ผลการศึกษาวิจัยพบว่าปัจจัยต่างๆที่ทำการศึกษามีผลต่อปริมาณแสงที่ผ่านระบบท่อนำแสงเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน คือ 1.ทิศเหนือเป็นทิศที่มีปริมาณแสงสม่ำเสมอและเหมาะสมกับระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้างมากที่สุด 2.ท่อนำแสงแบบท่อกลมเป็นท่อที่แสงผ่านเข้าสู่พื้นที่ใช้งานมากที่สุด 3.ท่อสั้นแสงจะเข้าสู่พื้นที่ทดลองได้มากกว่าท่อยาวแต่ท่อสั้นแสงจะมีความสม่ำเสมอน้อยกว่าท่อยาว 4.ท่อขนาดใหญ่แสงจะเข้าสู่พื้นที่ทดลองได้มากกว่าท่อขนาดเล็กแต่ท่อขนาดใหญ่แสงจะมีความสม่ำเสมอน้อยกว่าท่อขนาดเล็ก 5.ตำแหน่งที่ใกล้ท่อนำแสงปริมาณแสงจะมากกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลกว่า

---

46054204 : MAJOR : ARCHITECTURE
KEY WORD : LIGHT PIPE/NATURAL LIGHT/DAYLIGHT/SIDE BUILDING
BANNASITH CHITTAYASOTHORN : THE UTILIZATION OF NATURAL LIGHTING THROUGH SIDE BUILDING LIGHT PIPE SYSTEM. THESIS ADVISOR : PROF.EMERITUS ORNSIRI PANIN. 116 pp.

The purpose of this study was to investigate the introduction of light into the building coming from the side of the building through the light pipe system. The factors affecting the amount of incoming light were examined so that ways to deal with the effects of these factors could be obtained.

This study was conducted in the real environment which had not been affected from the shade of the neighboring environment. It only investigated the incoming light from the side of the building.

The following five variables were tested to see whether they affected the amount of the incoming light.

1.Direction of the reception of light of the light conduit

2.Shape of the light pipe

3.Length of the light pipe

4.Size of the light pipe

5.Position where light is measured

Each variable was tested 3 different ways and each was tested for 3 days. After that, the data were analyzed to find the relationship between the variables and the amount of incoming light.

It was found that:

1. The north is the direction where the amount of incoming light is consistent and this is the best direction to bring in light from the side of the building,

2. With a circular light pipe, the light can come into the building most,

3. With a shorter light pipe, more light can come into the building than with a longer light conduit, but the light from the shorter light pipe is not as consistent as that from the longer light conduit,

4. With a bigger light pipe, more light can come into the building than with a smaller light pipe but the light from the bigger light pipe is not as consistent as that from the small light pipe,

5. The light which is near the light pipe is brighter than that which is further away.

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007
Student's signature .....
Thesis Advisor's signature .....

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ เกียรติคุณอรศิริ ปาณินท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านที่ปรึกษา และคำแนะนำสิ่งที่ดีดีและเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งการตรวจสอบการเขียนรายงานการวิจัยฉบับนี้ด้วย และขอขอบคุณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้ความอนุเคราะห์ ด้านเครื่องมือการทดลองและสถานที่ในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ คุณปรีญาฑรรศิกา สันใจหลวงที่ช่วยเหลือเรื่องเครื่องมือและข้อมูลบางส่วนที่นำมาเผยแพร่ให้เป็นความรู้ ขอขอบคุณรศ.มาลินี ศรีสุวรรณ และผศ.ดร.ปรีชญา มหัทธนทวี ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการผู้ควบคุมการสอบวิทยานิพนธ์และคำติชมที่ทำให้งานวิจัยนี้มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเสมอศักดิ์ คุณแม่เบญจลักษณ์ จิตตะยโศธร ที่สนับสนุนในการเรียนมาด้วยดีตลอด และให้ความรักความเข้าใจ กำลังใจ และเป็นแรงพลักดันในทุกๆเรื่องมาโดยตลอด ตลอดจนบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้เอ่ยนามที่มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฏ

สารบัญกราฟ ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์การศึกษา ..... 12

ขอบเขตการศึกษา ..... 13

วิธีดำเนินงานวิจัย ..... 13

ข้อตกลงเบื้องต้น ..... 14

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 15

แสงสว่าง ..... 16

การตอบสนองของสายตามนุษย์ ..... 16

ปริมาณแสงสว่าง ..... 17

แสงสว่างธรรมชาติ ..... 21

กลุ่มทฤษฎีเรื่องแสงธรรมชาติ ..... 26

แสงธรรมชาติ ..... 26

สภาพท้องฟ้า ..... 28

ลักษณะช่องเปิดที่มีผลกับแสงสว่างธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร ..... 33

การให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ ..... 33

ทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติ ..... 37

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบ ..... 38

การศึกษาวิธีการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ..... 42

Skylight and Retail Sale : George Loisos, Pacific Gas and Electric Company California ..... 42
Whitehed.L.A, 1989 ..... 44
Hien VD., 1998:4 ..... 47
การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง ..... 50
3 การดำเนินการวิจัย ..... 54
สภาพแสงกรุงเทพมหานคร ..... 54
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ..... 57
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ..... 57
หุ่นจำลองระบบท่อนำแสง ..... 59
ระบบท่อนำแสง ..... 60
4 การวิเคราะห์และผลการทดลองโดยใช้หุ่นจำลอง ..... 62
แนวความคิดในการออกแบบช่องเปิด ..... 62
ตัวแปรควบคุม ..... 62
ตัวแปรอิสระ ..... 63
ตัวแปรตาม ..... 67
การทดลองและผลการทดลอง ..... 69
ทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ ..... 69
ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางการหันท่อนำแสงต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง ..... 71
ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของรูปแบบหน้าตัดท่อนำแสงต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง ..... 78
ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของระยะทางความยาวท่อนำแสงต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง ..... 86
ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดท่อนำแสงต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง ..... 94
ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างจากจุดวัดแสงถึงปลายท่อนำแสงภายในกล่องทดลองต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง ..... 101
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ ..... 108

บทที่ หน้า
บทสรุป ..... 108
ข้อเสนอแนะ ..... 113

บรรณานุกรม ..... 114
ประวัติผู้วิจัย ..... 116

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าปี ค.ศ.2001 เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน | 27 |
| 2 | เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) ตามประเภทการใช้งาน | 35 |
| 3 | เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทใช้งาน | 36 |
| 4 | แสดงค่ามุมอาซิมุทขณะขึ้น ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ วัดที่กรุงเทพมหานคร | 54 |
| 5 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการทดสอบหัววัดแสง | 70 |
| 6 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2548 | 72 |
| 7 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2548 | 74 |
| 8 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2548 | 76 |
| 9 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2548 | 80 |
| 10 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2548 | 82 |
| 11 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2548 | 84 |
| 12 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในความยาวต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2548 | 88 |
| 13 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในความยาวต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2548 | 90 |
| 14 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในความยาวต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2548 | 92 |

ตารางที่ หน้า

15 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 1 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548 ..... 95

16 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 2 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548 ..... 97

17 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 7 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548 ..... 99

18 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงท่อต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549..... 102

19 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงท่อต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549..... 104

20 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงท่อต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549..... 106

**สารบัญแผนภูมิ**


| แผนภูมิที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงค่าปริมาณแสงสว่างของท้องฟ้า (lux) เฉลี่ยรายชั่วโมงทุกเดือน ปี ค.ศ.2001 . | 27 |
| 2 | แสดงสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยรายเดือน..... | 28 |
| 3 | แสดงสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยทั้งปี ..... | 30 |
| 4 | แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำแสงที่มุมตกกระทบ 90 องศา..... | 51 |
| 5 | แสดงประสิทธิภาพการนำแสงของข้อเชื่อมแบบต่างๆ ..... | 52 |
| 6 | แสดงประสิทธิภาพการนำแสงผ่านข้อเชื่อมหน้าตัดวงกลมรัศมีวงโค้งต่างๆ ..... | 52 |
| 7 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการทดสอบหัววัดแสงทำการทดลองวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2548..... | 70 |

# สารบัญกราฟ


| กราฟที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงการการตอบสนองของมนุษย์ตามมาตรฐานของ CIE (Murdoch, 1985) | 17 |
| 2 | แสดงการสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Iqbal, 1983) | 21 |
| 3 | แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีตรง (Iqbal, 1983) | 22 |
| 4 | แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีกระจาย (Iqbal, 1983) | 23 |
| 5 | แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีรวม (Iqbal, 1983) | 23 |
| 6 | แสดงการใช้พลังงานในการส่องสว่าง 1 วัน(ห้องฟ้าโปร่งในฤดูร้อน) | 43 |
| 7 | แสดงค่าความสว่างภายในร้านค้าใน 1 วัน(ห้องฟ้าโปร่งในฤดูร้อน) | 44 |
| 8 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2548 | 73 |
| 9 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2548 | 75 |
| 10 | แสดงปริมาณแสง (ลักซ์) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2548 | 77 |
| 11 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2548 | 81 |
| 12 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆ ทำการทดลองวันที 16 กันยายน พ.ศ. 2548 | 83 |
| 13 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2548 | 85 |
| 14 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2548 | 89 |
| 15 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2548 | 91 |
| 16 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2548 | 93 |
| 17 | แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 | 96 |

กราฟที่ หน้า

18 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ..... 98

19 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ..... 100

20 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 ..... 103

21 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 ..... 105

22 แสดงปริมาณแสง (กิโลลักซ์) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆ ทำการทดลองวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 ..... 107

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงจากภายนอก..... | 1 |
| 2 | แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงจากภายนอก..... | 2 |
| 3 | แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงภายในอาคาร ..... | 2 |
| 4 | แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงภายในอาคาร ..... | 2 |
| 5 | แสดงการใช้แสงธรรมชาติจากทางด้านข้าง..... | 3 |
| 6 | แสดงลักษณะการใช้แสงธรรมชาติจากทางด้านบน ..... | 3 |
| 7 | แสดงพื้นที่ที่มีการใช้แสงธรรมชาติจากทางด้านบน ..... | 4 |
| 8 | แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างสกายไลท์กับท่อนำแสง ..... | 5 |
| 9 | แสดงองค์ประกอบของระบบท่อนำแสง..... | 5 |
| 10 | แสดงการใช้ท่อนำแสงในซูเปอร์มาเก็ต ..... | 6 |
| 11 | แสดงการใช้ท่อนำแสงในอาคารพลศึกษา ..... | 6 |
| 12 | แสดงการใช้ท่อนำแสงในโรงเรียน ..... | 7 |
| 13 | แสดงการใช้ท่อนำแสงในพื้นที่โถงและห้องประชุม..... | 7 |
| 14 | แสดงการใช้ท่อนำแสงในสำนักงาน..... | 8 |
| 15 | แสดงการใช้ท่อนำแสงในโรงงานและอาคารแสดงสินค้า ..... | 8 |
| 16 | แสดงการใช้ท่อนำแสงในห้องน้ำ..... | 9 |
| 17 | แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงประดิษฐ์กับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณโถงทางเดิน..... | 9 |
| 18 | แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงประดิษฐ์กับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณห้องครัว . | 10 |
| 19 | แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงประดิษฐ์กับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณห้องรับแขก ..... | 10 |
| 20 | แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงจากด้านข้างกับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณห้องนอน..... | 11 |
| 21 | แสดงระบบท่อนำแสงที่นำแสงจากทางด้านบนเข้าสู่อาคาร ..... | 11 |
| 22 | แสดงระบบท่อนำแสงที่นำแสงจากทางด้านข้างเข้าสู่อาคาร ..... | 12 |
| 23 | แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ..... | 15 |
| 24 | แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นช่วงต่างๆ ..... | 16 |
| 25 | แสดงการให้คำจำกัดความของลูมิแนนซ์ (luminance) ..... | 18 |

ภาพที่ หน้า


26 แสดงการให้คำจำกัดความของอิลูมิแนนซ์ (illuminance) ..... 19
27 แสดงการให้คำจำกัดความของ luminous exitance ..... 20
28 แสดงการให้คำจำกัดความของ luminous intensity ..... 20
29 แสดงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct light) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light) ..... 24
30 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ direct illuminance และ deffuse illuminnance ..... 25
31 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆของท้องฟ้า หรือ sky luminance ..... 25
32 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky ..... 32
33 แสดง Daylight Factor (SC) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (ERC) องค์ประกอบภายนอกอาคาร เช่น อาคารข้างเคียง และองค์ประกอบภายใน (IRC) ..... 34
34 แสดงลักษณะของหิ้งสะท้อนแสง ..... 38
35 แสดงหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถปรับมุมได้ตามทิศทางของแสงอาทิตย์ ..... 39
36 ระบบท่อนำแสงแบบหัวกระจายแสงหลายหัว ..... 40
37 แสดงระบบการสะท้อนแสงโดยใช้แผ่นกระจกสะท้อนแสงเข้าสู่ท่อนำแสง ..... 41
38 แสดงการสะท้อนของแสงผ่านแผ่นอคิริคใส (a) , การสะท้อนของแสงผ่านแผ่นอคิลิคใสที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ (b) ..... 41
39 แสดงการสะท้อนของแสงผ่านแผ่นอคิลิคใสที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ในฤดูต่างๆ .. 42
40 แสดงการให้แสงธรรมชาติในร้านค้าที่ทำการทดลอง ..... 43
41 แสดงแบบหุ่นจำลองเพื่อทดสอบระบบท่อนำแสง ..... 45
42 แสดงรูปหน้าตัดท่อนำแสง ..... 45
43 แสดงแบบผังอาคาร และการกระจายแสงสู่ท่อนำแสงในแต่ละชั้น ..... 46
44 แสดงแบบหุ่นจำลองอาคารจำลองระบบท่อนำแสง ..... 47
45 แสดงรูปตัดอาคาร และการวางแนวท่อนำแสง ..... 48
46 แสดงผังอาคาร และแนวการวางท่อนำแสง ..... 48
47 แสดงแบบท่อนำแสงในชุดการทดลองต่างๆ ..... 49
48 แสดงรูปแบบของท่อนำแสงทั้ง 6 แบบที่ทำการทดสอบ ..... 51
49 ตำแหน่งขึ้น, ตกและมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ในรอบปีที่กรุงเทพมหานคร ..... 56

ภาพที่ หน้า


50 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ..... 57
51 เครื่องวัดความส่องสว่าง (Lux Meter) รุ่น Testo 545 ..... 57
52 เครื่องวัดความส่องสว่าง ดาต้าล๊อกเกอร์ รุ่น LI-1400..... 58
53 หัววัดแสงสำหรับต่อกับเครื่องวัดความส่องสว่าง ดาต้าล๊อกเกอร์ รุ่น LI-1400 ..... 58
54 กล้องถ่ายรูป SONY รุ่น Cyber shot P-8 ..... 58
55 กล่องทดลอง ..... 59
56 กล่องทดลองเมื่อประกอบกับท่อนำแสง..... 60
57 อลูมิเนียมที่ใช้ในการทำท่อนำแสงในการทดลอง ..... 61
58 แสดงกล่องทดลองขณะประกอบเข้ากับท่อนำแสง ..... 62
59 แสดงทัศนียภาพทางทิศเหนือของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์..... 63
60 แสดงทัศนียภาพทางทิศใต้ของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์..... 64
61 แสดงทัศนียภาพทางทิศตะวันออกของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. 64
62 แสดงทัศนียภาพทางทิศตะวันตกของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ .. 64
63 แสดงท่อนำแสงแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสข้อต่อโค้ง ยาว 1.20 เมตร ..... 65
64 แสดงท่อนำแสงแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสข้อต่อแบบตัด ยาว 1.20 เมตร ..... 65
65 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมข้อต่อโค้ง ยาว 1.20 เมตร ..... 66
66 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องความยาวท่อนำแสง ..... 66
67 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องขนาดท่อนำแสง..... 67
68 แสดงหัววัดแสงที่ใช้ในการทดสอบ ..... 69
69 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องทิศทางของการหันท่อนำแสง 71
70 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมทรงกระบอก ..... 78
71 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัสต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อโค้ง..... 79
72 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัสต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อปลายตัด..... 79
73 แสดงการเปรียบเทียบท่อในรูปแบบต่างๆ ..... 80
74 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงทรงกระบอก ความยาว 60 เซนติเมตร ..... 86
75 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงทรงกระบอก ความยาว 90 เซนติเมตร ..... 87
76 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงทรงกระบอก ความยาว 120 เซนติเมตร ..... 87

ภาพที่ หน้า

77 แสดงการเปรียบเทียบท่อความยาวต่างๆ..... 87
78 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องขนาดท่อนำแสง..... 94
79 แสดงการเปรียบเทียบท่อนำแสงขนาดต่างๆ..... 94
80 แสดงตำแหน่งในการทำการวัดปริมาณแสง ..... 101

# บทที่ 1

# บทนำ

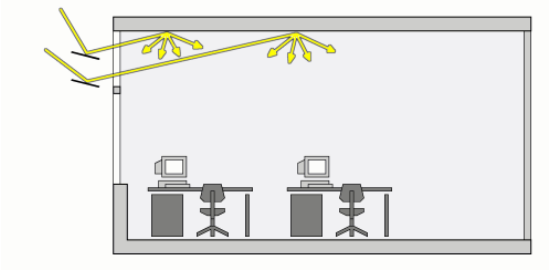
## 1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แสงสว่างภายในอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ใช้อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งระบบแสงสว่างภายในอาคารมีทั้งที่ใช้จากแสงไฟประดิษฐ์และแสงธรรมชาติซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีในการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารนั้นยังมีการใช้กันอย่างไม่แพร่หลายนักเนื่องจากแสงธรรมชาติไม่มีความสม่ำเสมอในการให้แสงสว่างและแสงธรรมชาติยังเข้าสู่อาคารจากทางช่องเปิดต่างๆได้ระยะสั้นไม่สามารถเข้าไปสู่ภายในห้องลึกๆได้

การใช้แสงธรรมชาติผ่านทางท่อนำแสงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้าสู่อาคารในส่วนต่างๆได้โดยที่เป็นการลดการใช้พลังงานจากการใช้แสงสว่างภายในอาคารอีกทางหนึ่งเช่นกัน ซึ่งการใช้ท่อนำแสงในประเทศไทยก็ไม่ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายนัก

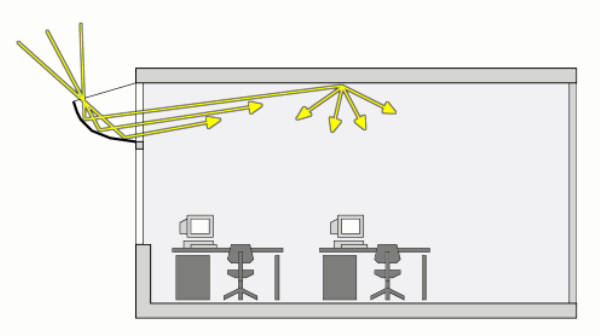
โดยเมื่อมองในภาพรวมของการใช้ระบบแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร จะพบว่าการใช้แสงสว่างมีการนำมาใช้งานหลักๆ 2 ทางด้วยกัน คือ

1.1.**การให้แสงจากทางด้านข้าง** (Side Light) ซึ่งเป็นการให้แสงจากทางช่องเปิดผ่านทางผนัง เช่น หน้าต่าง แผงสะท้อนแสง การใช้ท่อนำแสงทางด้านข้างผ่านทางฝ้าเพดาน



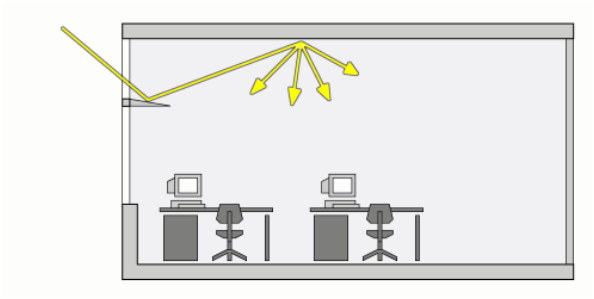
ภาพที่ 1 แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงจากภายนอก

ที่มา : Architectural Lighting Design Software, Lighting System [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.schorsch.com/kbase/prod/redir/exterior.html



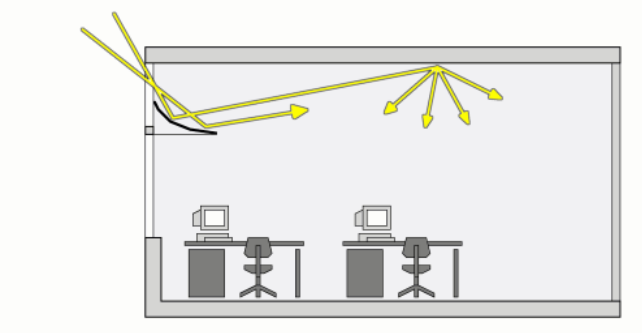
ภาพที่ 2 แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงจากภายนอก

ที่มา : Architectural Lighting Design Software, Lighting System [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.schorsch.com/kbase/prod/redir/exterior.html



ภาพที่ 3 แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงภายในอาคาร

ที่มา : Architectural Lighting Design Software, Lighting System [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.schorsch.com/kbase/prod/redir/exterior.html



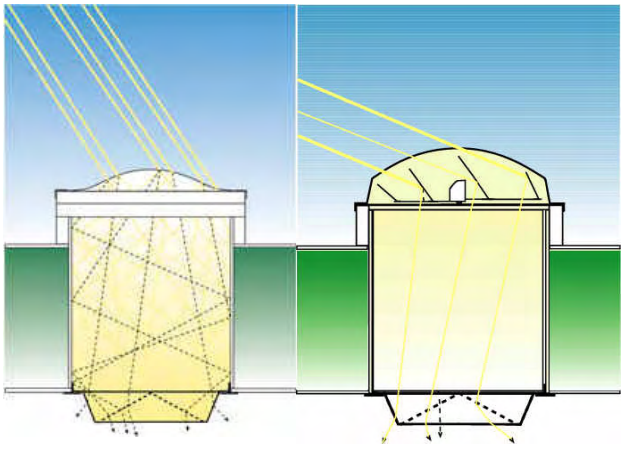
ภาพที่ 4 แสดงการใช้แผงสะท้อนแสงภายในอาคาร

ที่มา : Architectural Lighting Design Software, Lighting System [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.schorsch.com/kbase/prod/redir/exterior.html

ภาพที่ 5 แสดงการใช้แสงธรรมชาติจากทางด้านข้าง

ที่มา : California Institute for Energy Efficiency, Integrated Envelope and Lighting Systems [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://windows.lbl.gov/comm_perf/daylight/esl302.html

**1.2.การให้แสงจากทางด้านบน (Top Light)** เป็นการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยนำแสงจากด้านบนเข้าสู่ภายในพื้นที่ใช้งาน โดยการนำแสงเข้าสู่อาคารจากทางบนนั้นได้แก่ สกายไลท์(Skylight) ระบบท่อนำแสง (Light Pipe)



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะการใช้แสงธรรมชาติจากทางด้านบน

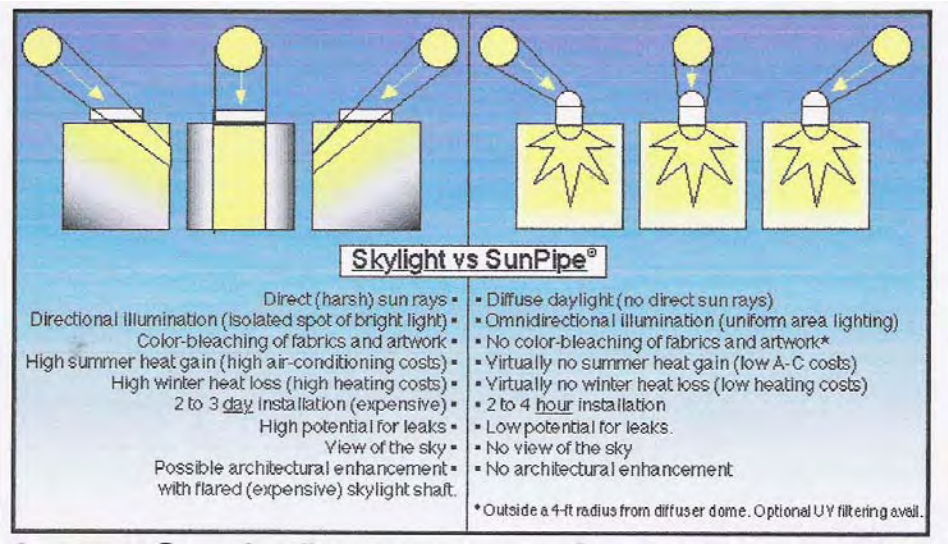
ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

ภาพที่ 7 แสดงพื้นที่ที่มีการใช้แสงธรรมชาติจากทางด้านบน

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

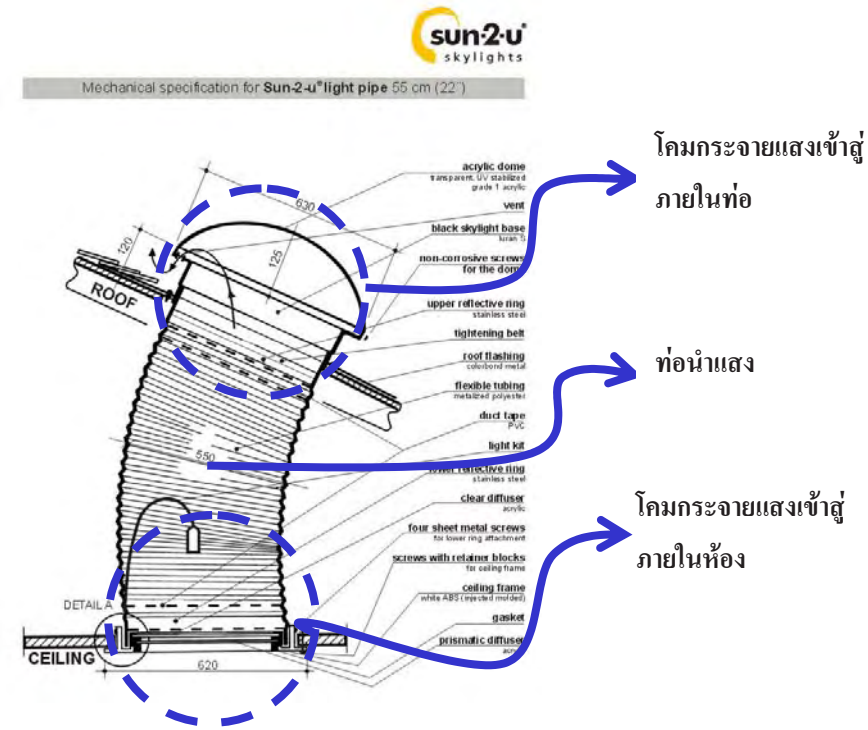
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะต่างๆของท่อนำแสงและสกายไลท์พบว่ามีความแตกต่างกัน ดังนี้

- สกายไลท์เป็นการนำเข้ามาโดยตรงจากดวงอาทิตย์ส่วนระบบท่อนำแสงใช้หลักการกระจายแสงผ่านโดมกระจายแสง
- สกายไลท์ให้แสงสว่างภายในพื้นที่ใช้งานเป็นแบบจุดส่วนระบบท่อนำแสงเป็นการกระจายแสงทำให้แสงสว่างกระจายทั่วถึงในพื้นที่ใช้งาน
- เนื่องจากสกายไลท์เป็นการนำแสงเข้าโดยตรงความร้อนจึงเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่าระบบท่อนำแสง
- แสงที่ผ่านระบบท่อนำแสงไม่ทำอันตรายต่อภาพเขียนและงานศิลปะ(ขึ้นกับค่าการป้องกันรังสีUVของโดมกระจายแสง)




ภาพที่ 8 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างสกายไลท์กับท่อนำแสง

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp




ภาพที่ 9 แสดงองค์ประกอบของระบบท่อนำแสง

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

ลักษณะการใช้งานของท่อนำแสงเป็นลักษณะการใช้งานที่สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ต่างๆ อย่างหลากหลาย เช่น

- ซูเปอร์มาเก็ต

ภาพที่ 10 แสดงการใช้ท่อนำแสงในซูเปอร์มาเก็ต

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

- อาคารพลศึกษา

ภาพที่ 11 แสดงการใช้ท่อนำแสงในอาคารพลศึกษา

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

- โรงเรียน

ภาพที่ 12 แสดงการใช้ระบบท่อนำแสงในโรงเรียน

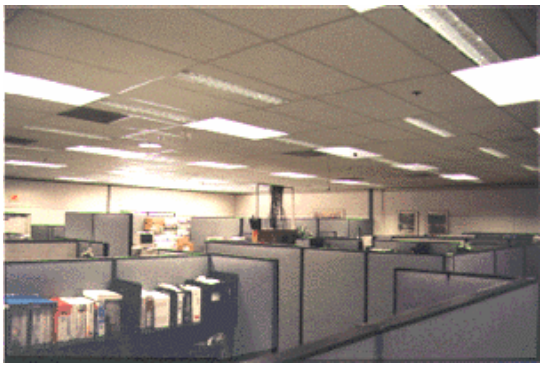
ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

- โถง, ห้องประชุม

ภาพที่ 13 แสดงการใช้ระบบท่อนำแสงในพื้นที่โถงและห้องประชุม

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

- สำนักงาน



ภาพที่ 14 แสดงการใช้ระบบท่อนำแสงในสำนักงาน

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

- โรงงาน, อาคารแสดงสินค้า

ภาพที่ 15 แสดงการใช้ระบบท่อนำแสงในโรงงานและอาคารแสดงสินค้า

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

- ห้องน้ำ

ภาพที่ 16 แสดงการใช้ระบบท่อนำแสงในห้องน้ำ

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

- โถงทางเดิน

ภาพที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงประดิษฐ์กับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณโถงทางเดิน

ที่มา : Sunpipe co.,inc., Residential Applications [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.sunpipe.com/20.htm

- ห้องครัว

ภาพที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงประดิษฐ์กับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณห้องครัว

ที่มา : Sunpipe co.,inc., Residential Applications [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.sunpipe.com/20.htm

- ห้องรับแขก

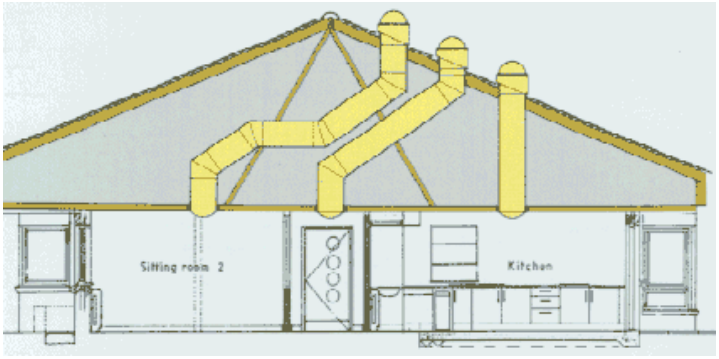
ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงประดิษฐ์กับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณห้องรับแขก

ที่มา : Sunpipe co.,inc., Residential Applications [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.sunpipe.com/20.htm

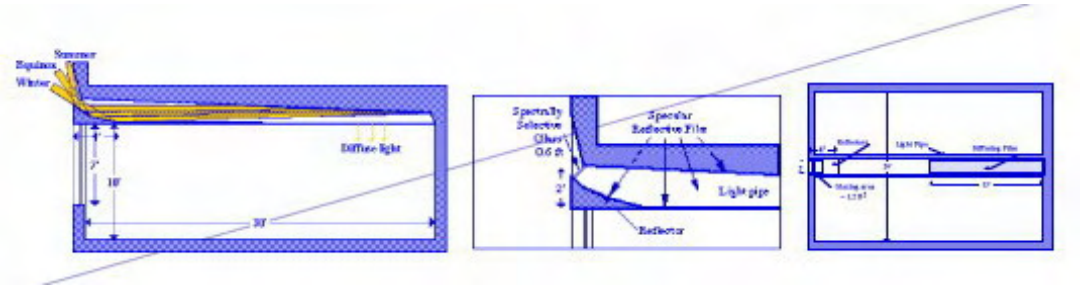
- ห้องนอน

ภาพที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบการใช้แสงจากด้านข้างกับการใช้ท่อนำแสงในบริเวณห้องนอน
ที่มา : Sunpipe co.,inc., Residential Applications [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.sunpipe.com/20.htm

เมื่อมองในแง่การใช้งานต่างๆไม่ว่าจะเป็นลักษณะการนำแสงเข้าสู่ส่วนต่างๆของอาคารซึ่งท่อนำแสงสามารถนำแสงเข้าสู่อาคารได้ทั้งด้านบนและด้านข้าง รวมทั้งสามารถนำแสงเข้าสู่ภายในห้องที่ไม่มีช่องเปิดได้ต่างจากการนำแสงทางด้านข้างทั่วไปที่จะให้แสงได้เฉพาะส่วนที่มีช่องเปิดสู่ภายนอก ระบบท่อนำแสงจึงเป็นระบบที่สามารถตอบสนองการใช้งานได้อย่างหลากหลาย และระบบการนำแสงเข้าจากทางด้านข้างก็นำความร้อนเข้าสู่อาคารน้อยกว่าระบบการนำแสงเข้าทางด้านบน




ภาพที่ 21 แสดงระบบท่อนำแสงที่นำแสงจากทางด้านบนเข้าสู่อาคาร
ที่มา : Sunpipe co.,inc., Residential Applications [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://www.sunpipe.com/20.htm




ภาพที่ 22 แสดงระบบท่อนำแสงที่นำแสงจากทางด้านข้างเข้าสู่อาคาร

ที่มา : California Institute for Energy Efficiency, Integrated Envelope and Lighting Systems [Online], accessed 9 October 2007. Available from http://windows.lbl.gov/comm_perf/daylight/esl302.html

ระบบท่อนำแสงที่นำแสงเข้าจากทางด้านข้างของอาคารจึงเป็นระบบที่ตอบสนองการใช้งานด้านระบบการให้แสงธรรมชาติของประเทศไทยได้อย่างเหมาะสมทั้งยังเป็นการแก้ปัญหาของการเข้าถึงของแสงธรรมชาติในพื้นที่ภายในอาคาร เช่น ห้องที่อยู่บริเวณกลางอาคาร งานวิจัยนี้จึงเป็นการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อระบบท่อนำแสงทางด้านข้างเพื่อการนำระบบท่อนำแสงไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ซึ่งการวิจัยในเรื่องการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคารนั้นได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคารในเรื่องของแสงสว่างโดยอาศัยการสะท้อนของแสงผ่านท่อนำแสงเข้าสู่ภายในอาคารนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางการนำระบบท่อนำแสงไปใช้กับอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุด

## 2.ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์การศึกษา

2.1.เพื่อศึกษาถึงทิศทางที่เหมาะสมในการใช้งานท่อนำแสงทางด้านข้าง

2.2.เพื่อศึกษารูปแบบของท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร

2.3.เพื่อศึกษาขนาดของระบบท่อนำแสงที่เหมาะสมกับการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารจากทางด้านข้าง

2.4.เพื่อศึกษาความยาวท่อนำแสงที่เหมาะสมกับระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้าง

2.5.เพื่อศึกษาขนาดของความสูงของห้องที่ใช้ระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้างที่เหมาะสม

2.6.เพื่อศึกษาการใช้การสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มปริมาณแสงสว่างผ่านท่อนำแสง

**3.ขอบเขตการศึกษา**

3.1.ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติในอาคารภายใต้สภาพแวดล้อมจริง

3.2.ทำการศึกษาท่อนำแสงที่นำแสงจากทางด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน

3.3.ทำการวัดค่าเฉพาะค่าความสว่างของแสงบนพื้นที่ใช้งาน คือ ประมาณ 80 เซนติเมตรจากพื้นห้อง

3.4.ทำการศึกษาในพื้นที่ที่ไม่มีผลกระทบจากร่มเงาของสภาพแวดล้อมรอบข้าง

**4.วิธีดำเนินงานวิจัย**

4.1.เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง คือทำการศึกษาในเรื่องรูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารในรูปแบบต่างๆ และเทคนิคการสะท้อนแสงต่างๆเพื่อช่วยในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ท่อนำแสงแบบต่างๆ

4.2.เก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามโดยทำการวัดค่าต่างๆ ดังนี้

4.2.1.ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของท่อนำแสงและความสว่างโดยทำการ**สร้างแบบจำลองท่อนำแสงที่มีการใช้รูปแบบ ค่าการสะท้อนแสง และองค์ประกอบของแบบจำลองเหมือนกัน และทำการหันช่องรับแสงของท่อนำแสงไปในทิศทางต่าง ๆกัน** คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เพื่อวัดปริมาณแสงของระบบท่อนำแสงในทิศทางและเวลาต่างๆ

4.2.2.ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับรูปแบบของท่อนำแสงทางด้านข้าง โดยกำหนดให้**แบบจำลองระบบท่อนำแสงรับแสงจากทิศทางเดียวกัน และทำการทดสอบระบบท่อนำแสงในรูปแบบต่าง ๆ** เช่น รูปแบบของท่อนำแสง ลักษณะข้อเชื่อมของท่อนำแสง และวัดค่าความสว่างเพื่อเป็นการกำหนดรูปแบบของท่อนำแสงที่เหมาะสมกับการใช้งานของระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้าง

4.2.3.ทำการทดลองโดยใช้การสะท้อนแสงช่วยในการนำแสงเข้าสู่ท่อนำแสง โดย**การกำหนดทิศทางของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสงให้มีทิศทางเดียวกัน และรูปแบบของท่อนำแสงที่เหมือนกัน โดยที่มีการใช้ระบบการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน** ทำการวัดค่าความสว่างในแบบจำลองต่างๆเพื่อเป็นการเปรียบเทียบความสว่างของระบบท่อนำแสงที่ใช้การสะท้อนแสงรูปแบบต่างๆช่วยในการนำแสงธรรมชาติเข้าช่วย

4.3.วิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองใช้ข้อมูลที่ได้จากสองส่วน คือ **ข้อมูลที่ได้จากการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมจริง และข้อมูลที่ได้จากการแปลงออกมาในรูปของกราฟเพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลข้อมูลเปรียบเทียบ** เพื่อใช้ในการสรุปผลการวิจัยต่อไป

4.4.สรุปผลการศึกษา

4.5.เสนอแนะ

**5.ข้อตกลงเบื้องต้น**

5.1.การทดลองนี้ได้ทำการทดลอง **ณ กรุงเทพฯ** โดยการทดลองจากสภาพแวดล้อมจริง จะ**ใช้ช่วงเวลาในการประมวลผลเป็นช่วงเวลาเดียวกัน และไม่มีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมรอบข้าง** เช่น เงาอาคารหรือร่มไม้ต่างๆ

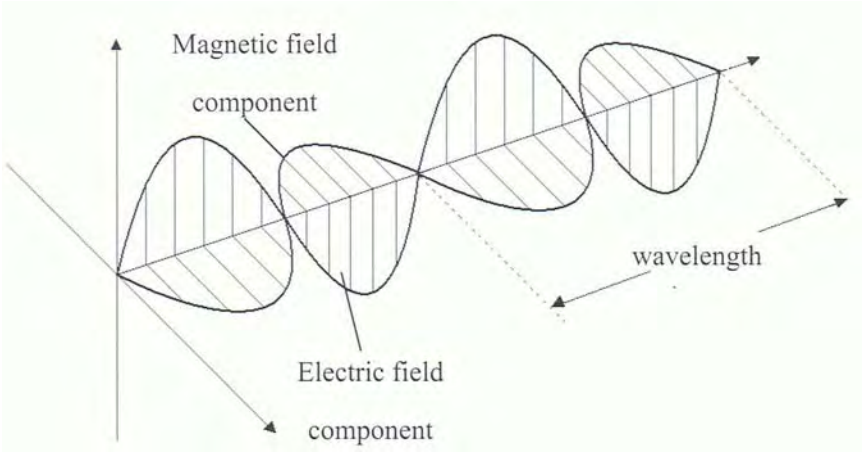
5.2.การทดลอง**ใช้ระบบท่อนำแสงนำแสงเข้าสู่อาคารจากทางด้านข้างเท่านั้น**

5.3.วัสดุที่ใช้ทำ**แบบจำลองต่าง ๆต้องทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน**

# บทที่ 2

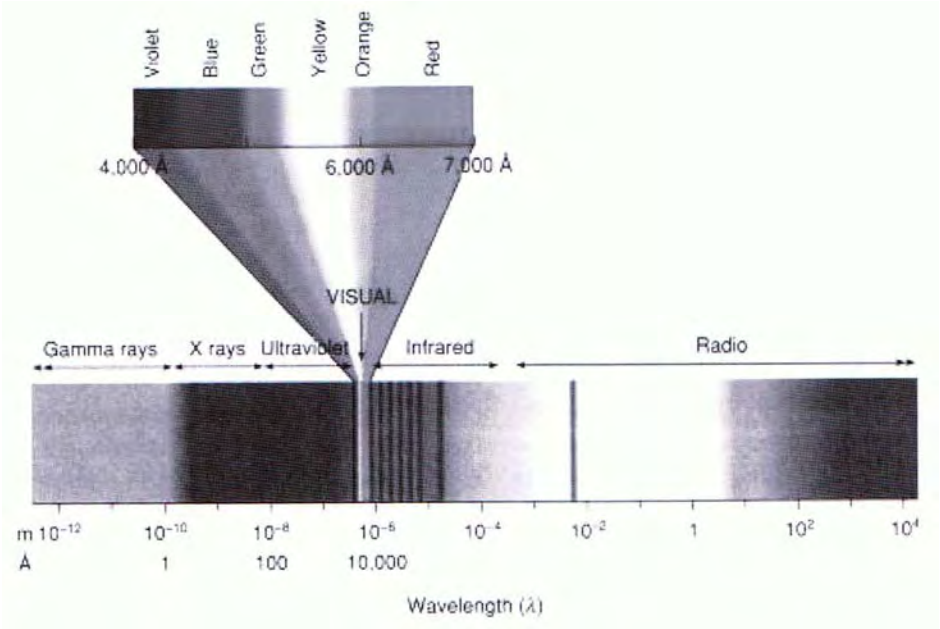
## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวางที่ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าซึ่งตั้งฉากกัน และเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า โดยมีความเร็วในสุญญากาศ เท่ากับ $3 \times 10^8$ m/s




ภาพที่ 23 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 3.

ในกรณีทั่วไป คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติซึ่งสามารถทำนายหรืออธิบายได้ด้วยสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equation) โดยคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ การหักเห (refraction) การสะท้อน (reflection) การเลี้ยวเบน (diffraction) และการแทรกสอด (interference) สำหรับกรณีของปรากฏการณ์เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับอะตอมจะต้องพิจารณาว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอนุภาค (particle) และต้องใช้ทฤษฎีควอนตัมในการอธิบายปรากฏการณีต่างๆที่เกี่ยวข้อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นไม่จำกัด โดยสามารถพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ รังสีอุลตราไวโอเลต แสงสว่าง รังสีอินฟราเรด และคลื่นวิทยุ



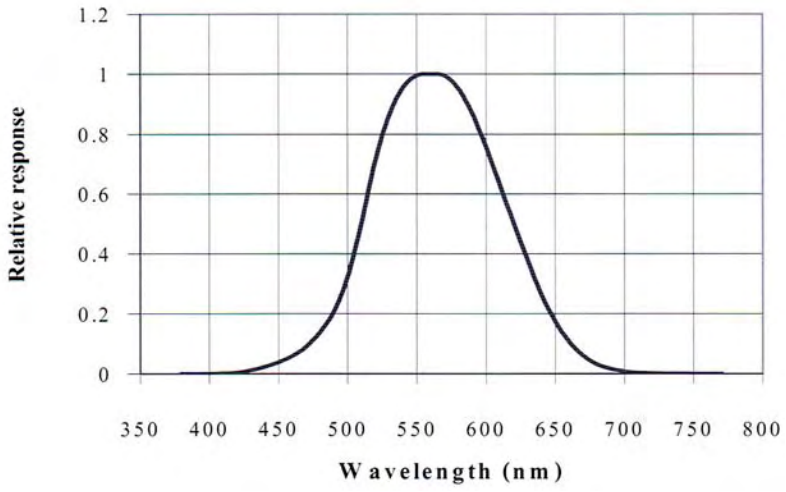

ภาพที่ 24 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นช่วงต่างๆ
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 4.

**1.แสงสว่าง**

**1.1.การตอบสนองของสายตามนุษย์**

แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 0.38 – 0.77 μm ซึ่งสามารถรับรู้ได้ด้วยสายตาของมนุษย์ โดยทั่วไป ตาของมนุษย์จะตอบสนองต่อแสงสว่างที่ความยาวคลื่นต่างๆ ไม่

เท่ากัน โดยจะตอบสนองแสงสีเขียวได้ดีกว่าแสงสีแดงหรือสีม่วง โดย International Commission Illumination (Centre International d' Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานการตอบสนองของสายตามนุษย์ในสภาพแสงปกติ ดังแสดงในรูป




กราฟที่ 1 แสดงการตอบสนองของมนุษย์ตามมาตรฐานของ CIE (Murdoch, 1985)
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 5.

### 1.2. ปริมาณแสงสว่าง

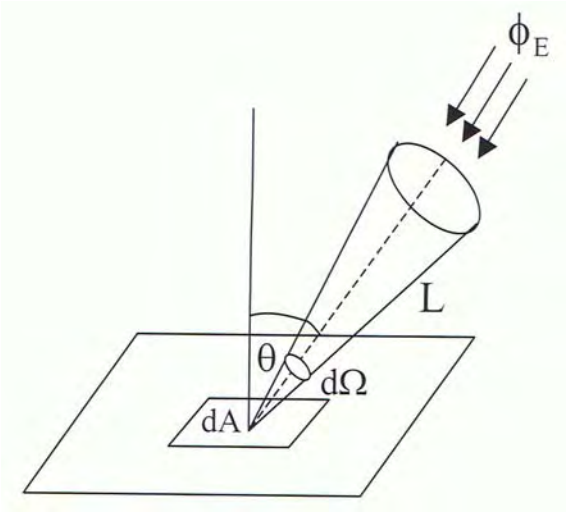
แสงสว่างโดยทั่วไปซึ่งรวมถึงแสงสว่างธรรมชาติจะมีการกำหนดศัพท์ทางเทคนิค ซึ่งใช้ในการบอกปริมาณต่างๆ ดังนี้

1.2.1. ฟลักซ์ (flux) โดยทั่วไปฟลักซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นอัตราการไหลของพลังงาน ซึ่งมีหน่วยเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา (J/s หรือ Watt) เมื่อฟลักซ์ของแสงสว่างตกกระทบตาของมนุษย์ ประสาทตาจะรับรู้ในรูปของฟลักซ์ของแสงสว่าง (luminous flux) ในหน่วย ลูเมน (lumen) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับฟลักซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (radiant flux) ที่เข้ามา ดังนี้

683 lumen = 1 W ที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร

ฟลักซ์ของแสงสว่างอาจเป็นฟลักซ์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงหรือฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นที่ต่างๆ หรือเป็นฟลักซ์ของแสงสว่างที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ในตัวกลางต่างๆ

1.2.2. ลูมิแนนซ์ (luminance) เป็นฟลักซ์ของแสงสว่างที่พุ่งเข้าหรือพุ่งออกจากจุดบนพื้นที่ตั้งฉากกับทางเดินของแสงหนึ่งหน่วยพื้นที่ ในกรวยแคบๆ ซึ่งมีมุมตัน 1 สเตอเรเดียน (steradian)




ภาพที่ 25 แสดงการให้คำจำกัดความของลูมิแนนซ์ (luminance)
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 6.

$$L = \frac{d^2\Phi_E}{dA \cos\theta d\Omega}$$

เมื่อ $L$ = ลูมิแนนซ์ ($cd/m^2$)

$\Phi_E$ = ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)

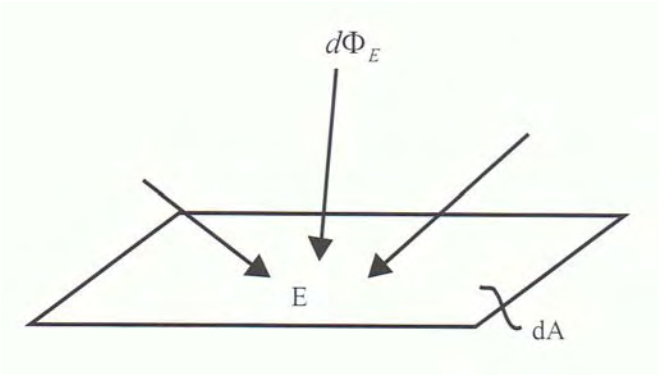
$\Omega$ = มุมตัน (steradian)

$A$ = พื้นที่ ($m^2$)

$\theta$ = มุมระหว่างเส้นตั้งฉากของพื้นราบกับทิศที่แสงเดินทาง

ลูมิแนนซ์มีหน่วยเป็น lumen/sr-$m^2$ หรือมีหน่วยอีกอย่างหนึ่งว่า Candela/$m^2$ แสงในท้องฟ้าในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆจะมีค่าลูมิแนนซ์ประมาณ 10 – 12 kCd/$m^2$ สำหรับแสงตรงจากดวงอาทิตย์จะมีค่าลูมิแนนซ์ได้สูงถึง 20 – 50 kCd/$m^2$

1.2.3. อิลูมิแนนซ์ (illuminance) เป็นปริมาณของฟลักซ์แสงสว่างที่ตกกระทบต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็น lumen/$m^2$ ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ลักซ์ (lux)

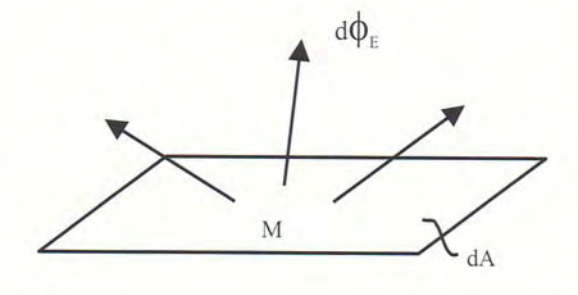



ภาพที่ 26 แสดงการให้คำจำกัดความของอิลูมิแนนซ์ (illuminance)
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 7.

$$E = \frac{d\Phi_E}{dA}$$

เมื่อ E = อิลูมิแนนซ์ (lux)
$\Phi_E$ = ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)
A = พื้นที่ ($m^2$)

1.2.4. Luminous exitance เป็นปริมาณแสงสว่างที่คล้ายกับอิลูมิแนนซ์จะคิดในกรณีที่แสงพุ่งออกจากพื้นที่ซึ่งเกิดจากการสะท้อนหรือการแผ่รังสี




ภาพที่ 27 แสดงการให้คำจำกัดความของ luminous exitance

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 7.

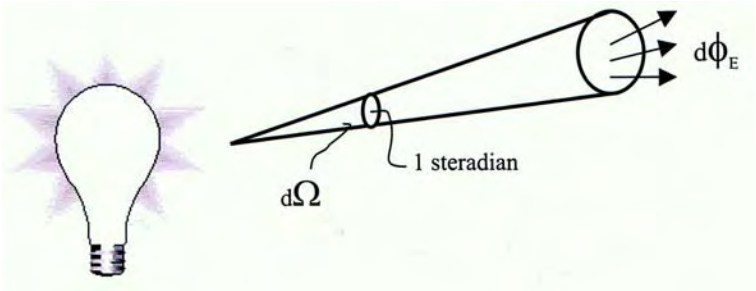
$$M = \frac{d\Phi_E}{dA}$$

เมื่อ M = Luminous exitance (lux)

$\Phi_E$ = ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)

A = พื้นที่ ($m^2$)

1.2.5. Luminous intensity เป็นปริมาณแสงสว่างที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งบอกในรูปของฟลักซ์ของแสงสว่างที่แปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดในกรวยแคบๆ หนึ่งหน่วยมุมตัน ดังแสดงในรูป




ภาพที่ 28 แสดงการให้คำจำกัดความของ luminouse intensity

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 8.

$$I_E = \frac{d\Phi_E}{d\Omega}$$

เมื่อ $I_E$ = Luminous intensity (lumen/steradian)

$\Phi_E$ = ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)

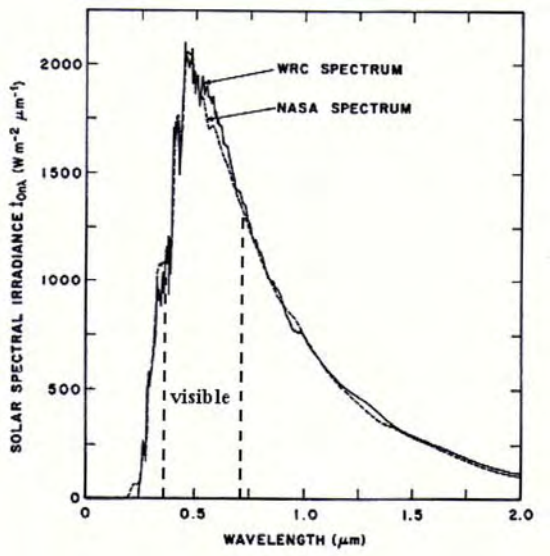
$\Omega$ = มุมตัน (steradian)

โดย Luminous intensity มีหน่วยเป็น lumen/steradian

### 1.3.**แสงสว่างธรรมชาติ** (daylight)

1.3.1.แหล่งกำเนิดของแสงสว่างธรรมชาติ

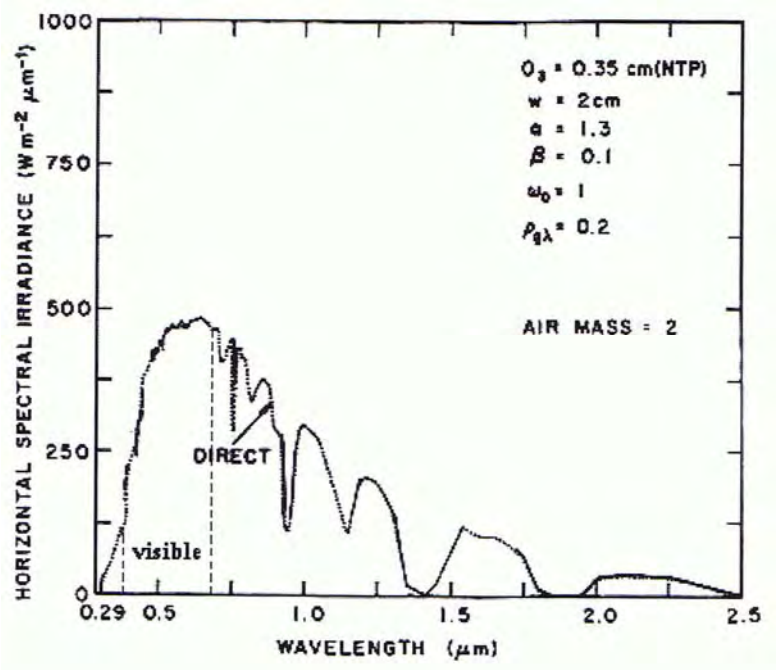
ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาติ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ โดยจะเป็นส่วนที่ตามนุษย์รับรู้ได้ โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.38 – 0.77 μm ที่นอกบรรยากาศคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนนี้จะมีความเข้มสูง ซึ่งสังเกตได้จากสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก




กราฟที่ 2 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Iqbal, 1983)

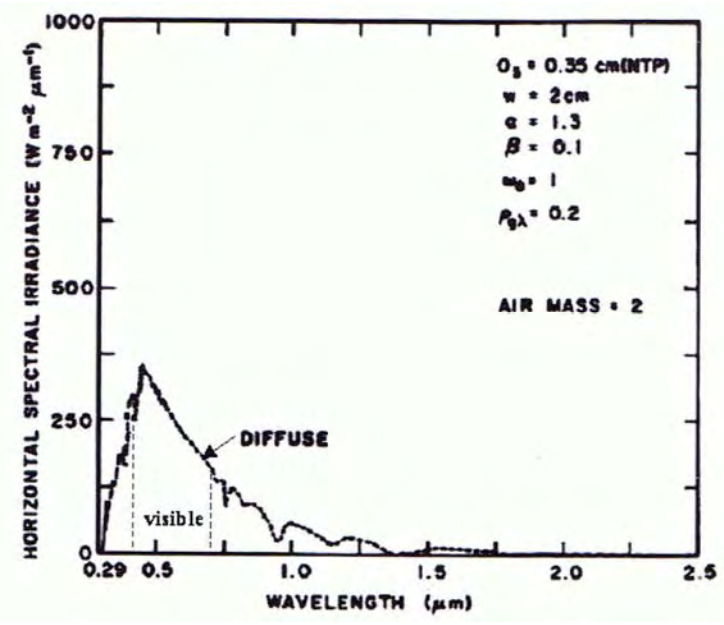
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 9.

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก จะถูกโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง (aerosol) และเมฆ ดูดกลืน (absorb) และการกระเจิง (scatter) ส่วนที่ถูกกระเจิงจะทำให้เกิดรังสีกระจาย (diffuse radiation) และส่วนที่เหลือพุ่งตรงมายังผู้สังเกตจะเรียกว่า รังสีตรง (direct radiation) ผลรวมของรังสีทั้งสองจะเรียกว่า รังสีรวม (global radiation) สเปกตรัมของรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของบรรยากาศที่สำคัญ ได้แก่ โอโซน (ozone) ไอน้ำ ฝุ่นละออง และก๊าซต่างๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับมวลอากาศ (air mass) ที่รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่าน ตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆดังนี้



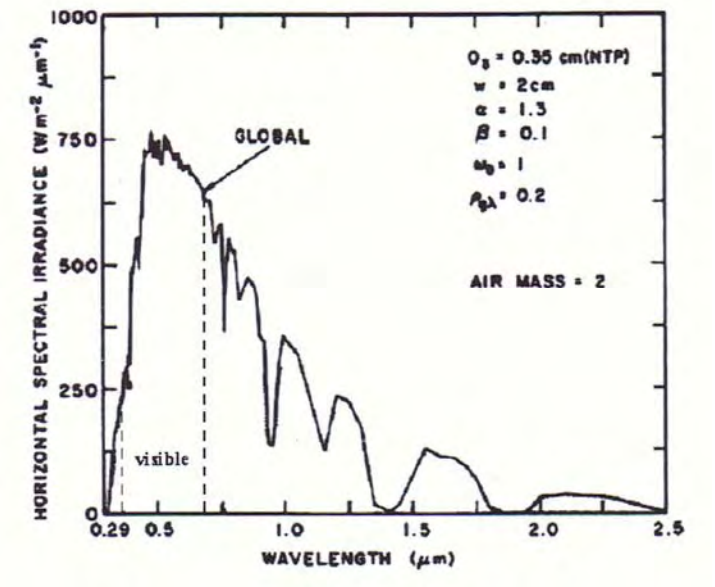

กราฟที่ 3 แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีตรง (Iqbal, 1983)

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 10.




กราฟที่ 4 แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีกระจาย (Iqbal, 1983)

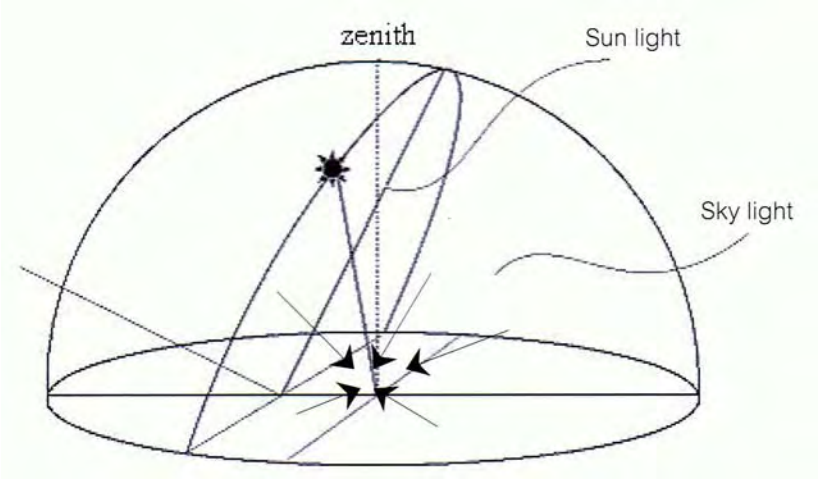
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 10.




กราฟที่ 5 แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีรวม (Iqbal, 1983)

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 11.

ส่วนสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่สายตามนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จะเรียกว่า แสงสว่างธรรมชาติ (daylight) ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct light) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light) แสงตรงจากดวงอาทิตย์จะเป็นส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศของโลกมายังตำแหน่งที่พิจารณา ส่วนแสงกระจายจากท้องฟ้าจะเป็นแสงที่เกิดจากการกระเจิง (scattering) ของแสงตรงจากดวงอาทิตย์โดยโมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆดังแสดงในรูป




ภาพที่ 29 แสดงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct light) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light)

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 12.

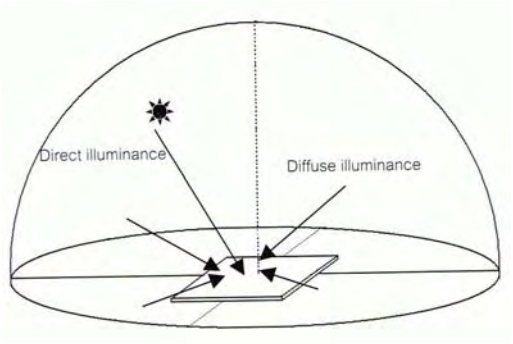
เมื่อแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้าตกกระทบพื้นดิน ต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ จะมีการสะท้อน ซึ่งแสดงว่าส่วนนี้ยังคงเป็นแสงสว่างธรรมชาติอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าแสงสว่างธรรมชาติซึ่งสะท้อนจากพื้นผิวโลก

1.3.2.ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

1.Direct Illuminance และ Diffuse Illuminance

Illuminance เป็นปริมาณของแสงสว่างในรูปของฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยถ้าเป็นฟลักซ์ของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ จะเรียกว่า direct illuminance หรือ beam illuminance กรณีที่

เป็นฟลักซ์ของแสงกระจายจากท้องฟ้า จะเรียกว่า diffuse illuminance และเรียกผลรวมของปริมาณทั้งสองว่า global illuminance

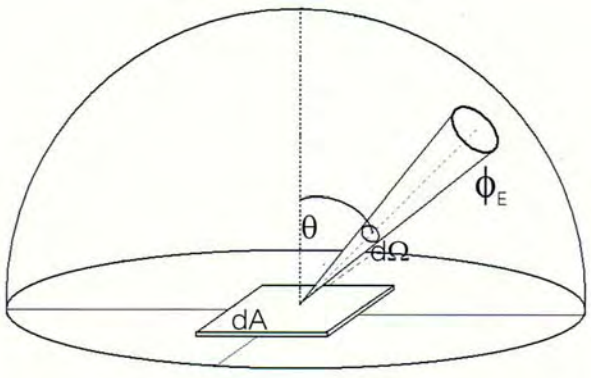



ภาพที่ 30 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ direct illuminance และ diffuse illuminnance

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 12.

2.sky luminance

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศของโลกจะถูกกระเจิงโดยโมเลกุลของ อากาศ ฝุ่นละออง และเมฆ เกิดเป็นรังสีกระจาย ซึ่งสายตามนุษย์สามรถรับรู้ได้ในรูปของความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆของท้องฟ้า หรือ sky luminance ดังรูป




ภาพที่ 31 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆของท้องฟ้า หรือ sky luminance

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 13.

โดยทั่วไปสภาพท้องฟ้าแบบหนึ่งและดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆของท้องฟ้าจะมีค่าขึ้นอยู่กับระยะห่างเชิงมุม (angular distance) ระหว่างจุดๆนั้นกับ ดวงอาทิตย์และมุมเซนิทของจุดๆนั้น (Kittler, 1967)

## 2. กลุ่มทฤษฎีเรื่องแสงธรรมชาติ

### 2.1. แสงธรรมชาติ (Daylighting)

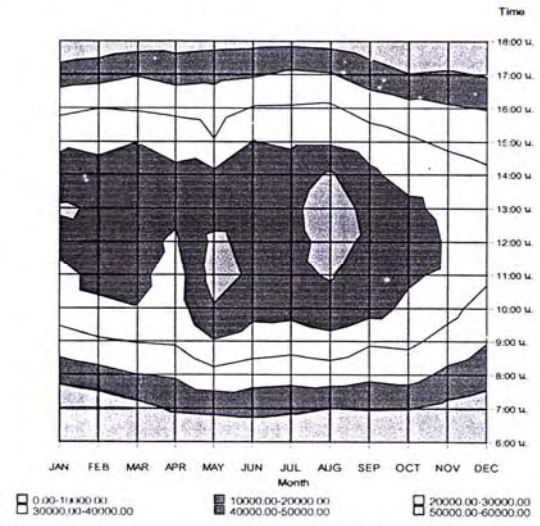
แสงธรรมชาติ เป็นแสงที่ได้มาโดยเปรียบเสมือนได้เปล่าซึ่งสามารถนำแสงสว่างมาใช้ในอาคารได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ในเชิงจิตวิทยานั้นแสงธรรมชาติส่งผลให้เกิดความรู้สึกมีชีวิตชีวา กระตุ้นให้เกิดการตื่นตัวและเป็นแสงที่ให้พลังงานคลื่นแสงครบถ้วนโดยวัตถุที่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสงธรรมชาติจะให้สีของวัตถุที่ถูกต้องที่สุดเมื่อเทียบกับแสงประดิษฐ์ ในแสงธรรมชาติประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ แสงแดดตรง (Direct sun) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse illuminance) ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำมาใช้ในอาคาร

เมื่อพิจารณาจากสภาพที่ตั้งของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (Tropical zone) ทำให้มีปริมาณแสงสว่างที่จ้าเกือบตลอดทั้งปีโดยปกติแล้วปริมาณของแสงแดดตรงนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณความส่องสว่าง หากปริมาณของแสงแดดตรงมาก ปริมาณความสว่างก็จะมีค่ามากเช่นกัน การนำแสงธรรมชาติไปใช้ในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพต้องทำการป้องกันแสงแดดตรงที่ส่งผลให้เกิดความร้อน และแสงบาดตา ควรใช้เพียงความส่องสว่างจากแสงกระจาย ซึ่งได้นำข้อมูลสถิติการวัดค่าปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร (Jirattananon and Chaiwiwatworakul, 2001: A-3) มาใช้ในการศึกษาประเมินค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติ โดยจะแสดงปริมาณแสงกระจายตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคมในช่วงเวลา 6.00 – 18.00 น. มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 1 แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าปี ค.ศ. 2001 เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน

| Month | Hourty mean values of diffuse illuminance (Klux) by calendar month (Solar time ) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6.00 น. | 7.00 น. | 8.00 น. | 9.00 น. | 10.00 น. | 11.00 น. | 12.00 น. | 13.00 น. | 14.00 น. | 15.00 น. | 16.00 น. | 17.00 น. | 18.00 น. |
| JAN | 0.00 | 0.00 | 13.75 | 25.71 | 35.07 | 35.18 | 45.42 | 51.46 | 41.77 | 39.07 | 27.05 | 15.06 | 0.00 |
| FEB | 0.00 | 3.01 | 16.18 | 28.97 | 37.23 | 44.41 | 47.28 | 48.71 | 43.43 | 37.54 | 29.77 | 15.87 | 3.40 |
| MAR | 0.00 | 6.82 | 19.74 | 30.40 | 39.67 | 42.50 | 41.98 | 44.74 | 40.92 | 39.86 | 28.73 | 19.23 | 5.24 |
| APR | 0.00 | 11.43 | 20.96 | 31.02 | 35.52 | 35.48 | 38.92 | 41.80 | 41.16 | 37.98 | 27.12 | 16.53 | 5.66 |
| MAY | 0.00 | 12.46 | 26.98 | 39.38 | 49.31 | 54.23 | 52.30 | 44.84 | 41.94 | 30.47 | 25.47 | 17.54 | 6.99 |
| JUN | 0.00 | 13.47 | 24.10 | 36.10 | 42.77 | 48.27 | 46.57 | 44.91 | 46.39 | 40.24 | 30.46 | 18.80 | 7.14 |
| JUL | 0.00 | 12.01 | 23.32 | 34.36 | 43.17 | 48.07 | 47.25 | 47.66 | 45.33 | 38.49 | 30.80 | 21.78 | 7.62 |
| SEP | 0.00 | 10.42 | 22.23 | 31.06 | 43.77 | 43.98 | 48.48 | 47.04 | 42.25 | 35.19 | 25.91 | 14.82 | 3.95 |
| OCT | 0.00 | 10.31 | 23.53 | 32.02 | 37.70 | 41.56 | 48.90 | 43.12 | 35.00 | 31.32 | 23.52 | 10.22 | 0.00 |
| NOV | 0.00 | 7.36 | 17.51 | 26.11 | 33.44 | 37.94 | 38.28 | 35.75 | 34.18 | 28.34 | 21.22 | 11.30 | 0.00 |
| DEC | 0.00 | 4.75 | 14.35 | 20.30 | 24.76 | 32.53 | 33.32 | 33.03 | 31.65 | 26.49 | 19.47 | 9.24 | 0.00 |

ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 15.




แผนภูมิที่ 1 แสดงค่าปริมาณแสงสว่างของท้องฟ้า (lux) เฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน ปี ค.ศ. 2001

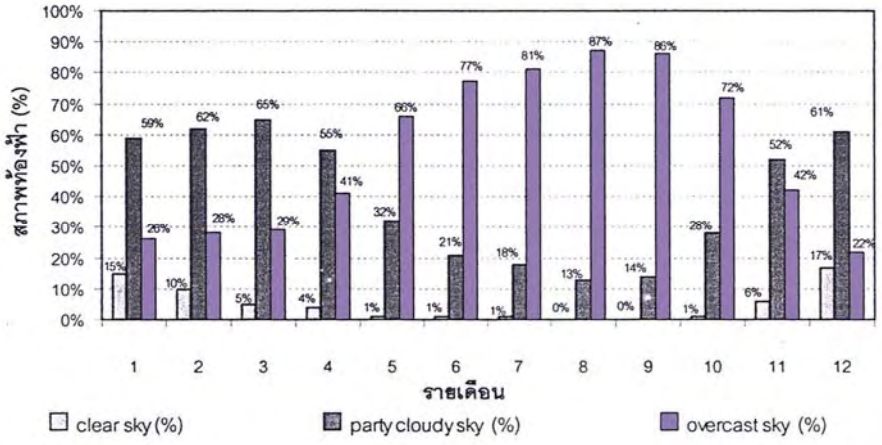
ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 15.

2.2. **สภาพทองฟ้า** (Sky Condition)

ปริมาณแสงสว่างและความจ้าของท้องฟ้าจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เป็นผลจาก ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ปริมาณเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น ควัน ไอน้ำ โดยจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยสามารถแบ่งท้องฟ้าออกได้เป็น 3ลักษณะ คือ สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky) สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Party cloudy sky) และสภาพท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky)

2.2.1.สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky)

ความสว่างของท้องฟ้า จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ความสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง (Direct sun) และความสว่างจากการกระจายแสง (Diffuse illuminance) ของท้องฟ้า โดยองค์ประกอบทั้งสองนี้จะแปรผันตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) เป็นหลัก ความสว่างของท้องฟ้าจะมีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งที่ระดับสูงสุดของท้องฟ้าจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าที่ระนาบล่างของท้องฟ้า โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นเป็น 3 เท่า ที่ระดับระนาบล่างสุดของท้องฟ้าและท้องฟ้าประเภทนี้จะมีความสว่างสูงสุด ณ ตำแหน่งตรงกับดวงอาทิตย์ และมีความสว่างต่ำสุดที่ตำแหน่งตรงข้ามกับดวงอาทิตย์




แผนภูมิที่ 2 แสดงสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยรายเดือน
ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 16.

จากการที่ความสว่างของท้องฟ้าแจ่มใส มีความแปรผันตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ เหนือแนวระนาบ ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาได้จากสูตร

$$LA = LZ (1 + 2 \sin A) 3$$

เมื่อ LA = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือแนวระนาบของดวงอาทิตย์

LZ = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุด

ความสว่างที่ตำแหน่งมุม A = 0 องศา จะมีค่าเท่ากับ 3LZ

จากองค์ประกอบของท้องฟ้า ที่ประกอบด้วยแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun illuminance) และแสงกระจาย (Diffuse Sun illuminance) ซึ่งสมการจะมีลักษณะ ดังนี้

กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์

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

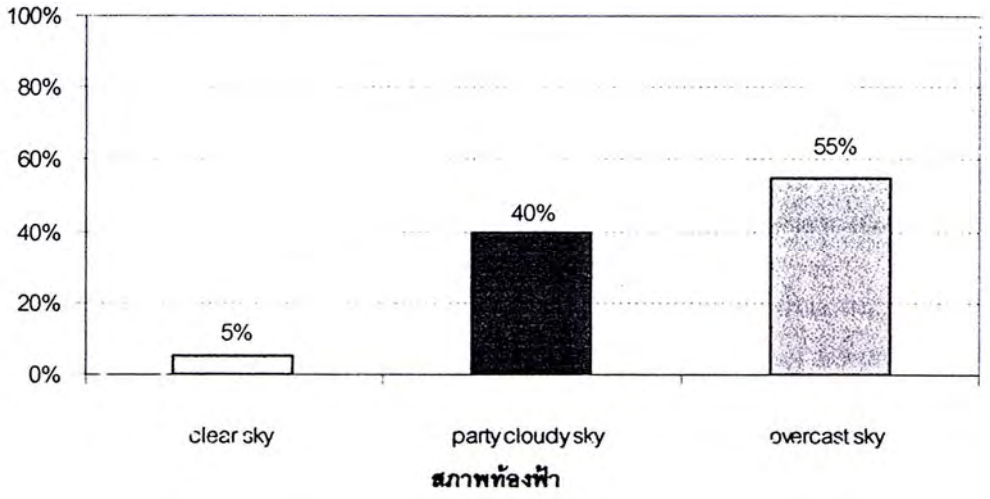
เมื่อ Eh = ความสว่างของท้องฟ้า

กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงกระจายของท้องฟ้า

$$Eh = 1{,}345 + 14{,}795 \sin A \text{ (lux)}$$

เมื่อ Eh = ความสว่างของท้องฟ้า

หากพิจารณาแสงกระจายจากท้องฟ้าเพียงครึ่งระนาบของท้องฟ้าจะมีความสว่างอยู่ประมาณ 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล (เฉลี่ย 1,000 ฟุตแคนเดิล)




แผนภูมิที่ 3 แสดงสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยทั้งปี
ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 17.

2.2.2.สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Party cloudy sky)

การพิจารณาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้ทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Dynamic) สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Party cloudy sky) จะมีความส่องสว่างของท้องฟ้ามากกว่าสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky) ประมาณ 10 – 15 % ซึ่งปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการที่แสงจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบก้อนเมฆและสะท้อนไปมาระหว่างก้อนเมฆ ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะของท้องฟ้าที่เมฆปกคลุมบางส่วนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570\ A$$

เมื่อ $E_{HP}$ = ความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบ ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วย เป็นกิโลลักซ์

A = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) ของดวงอาทิตย์

ถึงแม้ว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนจะให้ปริมาณของแสงสว่างมากกว่าท้องฟ้าโปร่ง แต่ในบางกรณีหากกลุ่มเมฆฝน หรือกลุ่มเมฆที่มีสีดำทึบก็อาจทำให้แสงถูกกั้น หรือถูกดูดซึมมากกว่าที่จะสะท้อนหรือเกิดการกระจายของแสงทำให้ค่าความสว่างของท้องฟ้ามีค่าลดลง และจากการศึกษาโดยอาศัยดัชนีของเมฆ (Cloud Ratio) มาพิจารณาหาความสัมพันธ์ของการส่องสว่างของท้องฟ้าที่เกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้าจะมีความสัมพันธ์กัน ของความสว่างเฉลี่ยของระนาบนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางสามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$E_H = 0.35\ Es + 0.89\ Ec$$

เมื่อ $E_H$ = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วยเป็น ลักซ์

Es = ความส่องสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

Ec = ความส่องสว่างที่ได้จากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์

2.2.3.สภาพท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky)

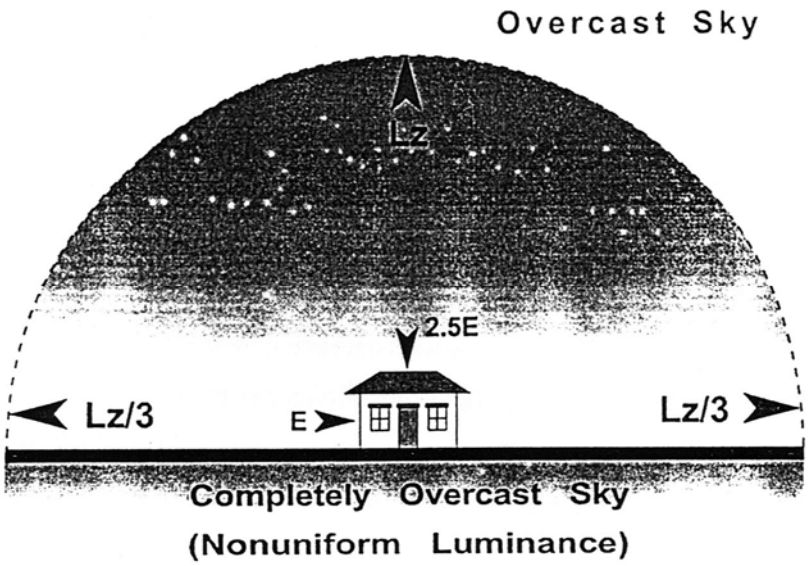
ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้าในแถบสแกนิเนเวียและตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก เช่น ประเทศอังกฤษ ความสว่างของสภาพท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky) จะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก โดยความสว่างจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากระนาบพื้น (Horizon-Brightness) ความสว่างจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุดของท้องฟ้า ที่ระดับเซนิท(Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าความสว่างที่ระนาบพื้นประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดใดๆ จะพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณาจากมุมอัลซิมุท ของดวงอาทิตย์ โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ $L_A$ = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือระดับแนวระนาบในทุกๆทิศทาง

$L_Z$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ระดับสูงสุด ที่ระดับเซนิท (Zenith)

ดังนั้น ความสว่าง ณ ตำแหน่งในแนวระนาบ หรือที่มุม A = 0 องศา จะมีความสว่าง เพียงหนึ่งในสามของความสว่างที่ระดับสูงสุด $L_A = L_Z / 3$




ภาพที่ 32 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky
ที่มา : อวิรุทธ์ อุรุพงศา, “การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียนในชนบท” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมบัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544), 37.

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ จะแปรเปลี่ยนไปตามมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ก็ยังมีท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบในอีกลักษณะหนึ่ง ที่มีความสว่างของท้องฟ้าที่เท่ากันทั่วทั้งท้องฟ้าและทุกระดับความสูง (Uniform-Brightness) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่ (Uniform sky) ซึ่งเป็นท้องฟ้าในอุดมคติ โดยความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบจะมีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง ซึ่งอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ $E_H$ = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วยเป็น ลักซ์

A = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์

**3. ลักษณะของช่องเปิดที่มีผลกับแสงสว่างธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร**

**3.1. การให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ**

ในการพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติ สามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 แนวทาง คือ

3.1.1. การพิจารณาจากปริมาณค่าความสว่างรวม (Absolute Illuminance) เป็นการพิจารณา ระดับความสว่างภายในอาคาร ณ ตำแหน่งต่างๆ ในความสูงที่กำหนดจากระดับพื้นห้องนั้น โดยวัดค่าความสว่างออกมาเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc) หรือลักซ์ (lux) ซึ่งค่าของความสว่างที่เกิดภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับเวลา ทิศทางเปิดช่องแสง และสภาพแสงท้องฟ้า

3.1.2. การพิจารณาโดยอาศัยอัตราส่วนของระดับความสว่างของภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance) ภายใต้สภาพเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky) ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งมีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามช่วงเวลา หรือทิศทางการเปิดช่องแสง หากแยกการพิจารณาวิธีการวิเคราะห์ การให้แสงสว่างภายในอาคารโดยการใช้แสงธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ Lumen Method, Daylight Factor Method และ Flux Transfer Method ซึ่งในการศึกษานี้จะกล่าวเพียง วิธี Daylight Factor Method เท่านั้น

Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติ ที่เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่าง และปริมาณความเข้มของแสงภายนอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่แต่ละพื้นที่ (Altitude และAzimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวัน และเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติโดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบ ได้แก่

1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component, SC) โดยสภาพของท้องฟ้าจะเห็นได้ว่าเกิดขึ้นได้หลากหลายสภาพ เช่น ท้องฟ้าแบบท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ (Clear sky) หรือที่ปกคลุมด้วยเมฆ

จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (completely overcast sky) เหล่านี้มีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิขึ้น

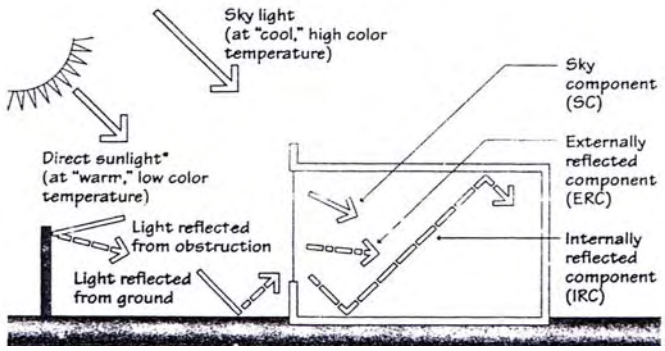
2. องค์ประกอบภายนอก (Externally Reflected Component, ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียง แสงส่องผ่านเข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางแสงที่สะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ

3. องค์ประกอบภายใน (Internally Reflected Component, IRC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ ที่ตั้งอยู่ภายในอาคารโดยได้รับแสงจาก SC และ ERC และปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ เช่นเดียวกับ ERC

การกำหนดค่า Daylight Factor (DF) คือ ค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใดๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ไม่รวมแสงแดดตรงจากดวงอาทิตย์

$$DF\ (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน } (E_i) \times 100\ \%}{\text{ความสว่างภายนอก(Eeไม่รวมแสงแดดตรง)}}$$

เช่น ค่า DF มีค่าเท่ากับ 10 % หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้นๆ ได้รับปริมาณแสงเท่ากับ 10 % ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับ ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่โปร่ง ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ




ภาพที่ 33 แสดง Daylight Factor (SC) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (ERC) องค์ประกอบภายนอกอาคาร เช่น อาคารข้างเคียง และองค์ประกอบภายใน (IRC)

ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 21.

มาตรฐานระดับการส่องสว่าง การกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆ กันนั้นโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA), IES (BA) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพ

อากาศ ดังนั้น ค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่ง ได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่า ใช้ในกรณีอื่นๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย หรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ เช่น ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิวหรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปรกติ ให้ใช้ความสว่างมากขึ้น ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก หรือ ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

| พื้นที่ใช้งาน (a) | CIE (lux) | IES (lux) | พื้นที่ใช้งาน (b) |
|---|---|---|---|
| ทางเดิน และพื้นที่ทำงานภายนอก | 20 – 30 – 50 | 20 – 30 – 50 | Public spaces with dark surrounding |
| ทางเดินภายใน และการแวะผ่านระยะสั้น | 50 – 75 – 100 | 50 – 75 – 100 | Simple orientation for shot temporary visits |
| ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่อง เป็นเวลานาน | 100 – 150 – 200 | 100 – 150 – 200 | Working space where visual tasks are only occasionally performed |
| งานที่ใช้สายตาไม่มากนัก เช่น โรงงาน งานชิ้นใหญ่ | 200 – 300 – 500 | 200 – 300 – 500 | Performance of visual tasks of high contrast or large size |
| งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน | 300 – 500 – 750 | | |
| งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียนแบบ | 500 – 750 – 1000 | 500 – 750 – 1000 | Performance of visual tasks of medium contrast or small size |
| งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน | 750 – 1000 – 1500 | | |
| งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ | 1000 – 1500 – 2000 | 1000 – 1500 – 2000 | Performance of visual tasks or very small size |
| | | 2000 – 3000 – 5000 | Performance of visual tasks of low contrast and very small size, Prolonged period |
| งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด | มากกว่า 2000 | 5000 – 7500 – 10000 | Performance of very prolonged and exacting visual tasks |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| พื้นที่ใช้งาน (a) | CIE (lux) | IES (lux) | พื้นที่ใช้งาน (b) |
|---|---|---|---|
| | | 10000 up | Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size |

ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 22.

นอกจากการกำหนดระดับความส่องสว่างเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล แล้วการกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

ตาราง 3 เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน

| **พื้นที่ใช้งาน** | **ค่าการส่องสว่าง (lux) ตามมาตรฐาน CIE (a)** | **ค่าการส่องสว่าง (lux) ตามมาตรฐาน IES (b)** | **ค่า Daylight Factor (%) (c)** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | **เฉลี่ย** | **ต่ำ** | **จุดที่วัด** |
| **อาคารทั่วไป** | | | | | |
| ทางเดิน | 50 – 100 – 150 | 50 – 75 – 100 | 2.0 | 0.6 | พื้น |
| บันได-บันไดเลื่อน | 100 – 150 – 200 | 100 – 150 – 200 | 2.0 | 0.6 | ลูกนอน |
| ห้องเก็บของ | 100 – 150 – 200 | 100 – 150 – 200 | 1.5 | 0.5 | Work plane |
| ห้องน้ำ | 100 – 150 - 200 | 100 – 150 - 200 | 1.5 | 0.5 | Work plane |
| **สำนักงาน** | | | | | |
| พื้นที่ทั่วไป, พิมพ์ดีด | 300 – 500 – 750 | 500 – 750 – 1000 | 5.0 | 2.5 | Work plane |
| คอมพิวเตอร์ | | | | | |
| เขียนแบบ | 500 – 750 – 1000 | 500 – 750 – 1000 | 5.0 | 2.5 | Work plane |
| ห้องประชุม | 300 – 500 - 750 | 200 – 300 – 500 | | | |
| โถงทางเข้า | | 100 – 150 - 200 | 2.0 | 0.6 | Work plane |

ตาราง 3 (ต่อ)

| พื้นที่ใช้งาน | ค่าการส่องสว่าง (lux) ตามมาตรฐาน CIE (a) | ค่าการส่องสว่าง (lux) ตามมาตรฐาน IES (b) | ค่า Daylight Factor (%) (c) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | เฉลี่ย | ต่ำ | จุดที่วัด |
| เคาน์เตอร์ | 200 – 300 - 500 | 200 – 300 - 500 | 5.0 | 2.0 | Work plane |
| **ห้องประชุม** | | | | | |
| เอนกประสงค์ | 150 – 200 -300 | 200 – 300 - 500 | 5.0 | 2.5 | Work plane |

ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, “ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 23.

### 3.2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติ

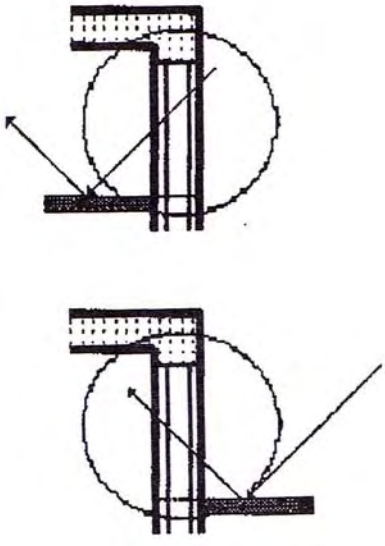
การให้แสงธรรมชาติในอาคารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างอย่างมีคุณภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วยังช่วยให้เกิดความมีชีวิตชีวา ซึ่งก่อนจะทำการศึกษาเทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจำแนกตามทิศทางได้ 2 รูปแบบ คือ แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร (side lighting) และแสงธรรมชาติจากด้านบน (top lighting) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะทำการศึกษาเฉพาะการให้แสงธรรมชาติจากทางด้านข้างของอาคาร

แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร (side lighting) เป็นแสงที่ผ่านเข้ามาจากแหล่งกำเนิดแสงที่มาได้หลายทาง เช่น แสงจากท้องฟ้า (SC) แสงจากพื้นดินภายนอกที่เป็นตัวสะท้อนแสง (ERC) และการสะท้อนแสงภายในอาคาร (IRC) จากการศึกษาพบว่า ข้อดี คือ ช่วยสร้างทัศนะวิศัยที่ดีเหมาะสมแก่การทำงาน แต่ยังมีข้อเสียเนื่องจาก หน้าต่าง หรือช่องเปิดประเภทนี้อยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถทนต่อความจ้าเมื่อมอง ในการใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องใช้กระจกของช่องแสงที่ตัดแสงได้ (มีค่า SC ต่ำ) เพื่อให้เกิดการสบายตาในการมองออกสู่ภายนอก แต่จะส่งผลให้แสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งานในระยะเพียง 2-3 เมตร ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่า

### 3.3. การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบ

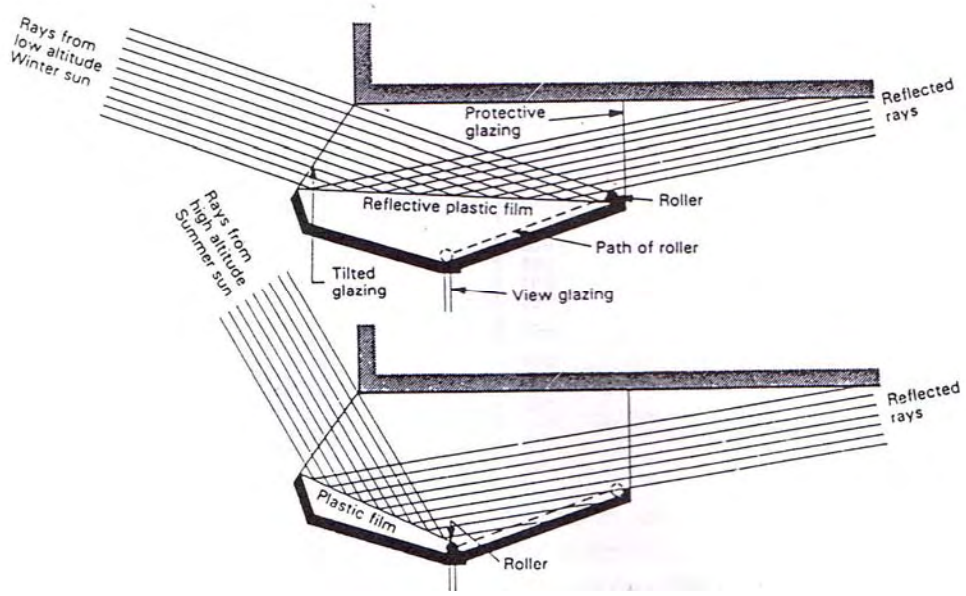
การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบ ต้องคำนึงถึงรูปแบบของแสงธรรมชาติ 3 รูปแบบ คือ ความไม่สม่ำเสมอของแสงธรรมชาติ การหลีกเลี่ยงแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และ ผนังด้านนอกเท่านั้นที่จะได้รับแสง ซึ่งการพยายามในการแก้ปัญหาจากข้อจำกัดทั้ง 3 ข้อในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารโดยวิธีต่างๆสามารถทำได้ ดังนี้

1.หิ้งสะท้อนแสง (Light shelves) แสงธรรมชาติจากทางด้านข้างส่วนใหญ่จะผ่านเข้าอาคารทางหน้าต่าง และปริมาณแสงจะลดลงเมื่อห่างออกจากหน้าต่าง ในเขตที่มีแสงมากแผงกันแดดสามารถที่จะสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้มากขึ้น หิ้งสะท้อนแสงจึงได้พัฒนามาจากแนวคิดนี้ โดยใช้แผงสะท้อนแสงที่ผิวสะท้อนด้านบนสะท้อนแสงจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งโดยปกติ จะติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงที่ความสูง 2/3 ของความสูงหน้าต่าง (ขั้นต่ำ 1–2 เมตรจากพื้น) ซึ่งจะสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังฝ้าเพดาน และกระจายไปยังพื้นที่ต่างๆภายในห้อง



ภาพที่ 34 แสดงลักษณะของหิ้งสะท้อนแสง

ที่มา : András Majoros, Daylighting (Queensland : University of Queensland Printery,1998), 70.

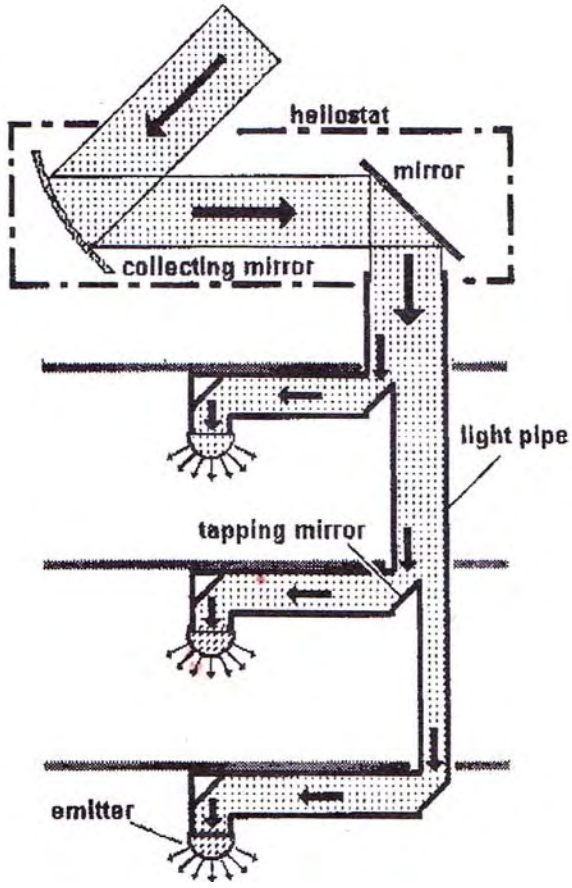



ภาพที่ 35 แสดงหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถปรับมุมได้ตามทิศทางของแสงอาทิตย์
ที่มา : András Majoros, Daylighting (Queensland : University of Queensland Printery,1998), 70.

2.บานเกร็ดสะท้อนแสง (Reflective louvres) ใช้หลักการสะท้อนแสงโดย ใช้แผงสะท้อนแสงขนาดเล็กหลายตัวช่วยในการสะท้อนแสง ซึ่งอาจทำการติดตั้งแบบตายตัว หรือติดตั้งแบบที่สามารถปรับมุมได้โดยการใช้คนหรือโปรแกรมอิเล็กโทรนิคในการปรับมุม ซึ่งผลของการสะท้อนแสงที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับหิ้งสะท้อนแสง (Light shelves) ในแง่ของการสะท้อนแสง ซึ่งจะทำการสะท้อนแสงจากภายนอกผ่านบานเกร็ดสะท้อนแสงไปยังฝ้าเพดานภายในห้อง จากนั้นแสงจะกระจายจากฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในห้องแต่บานเกร็ดสะท้อนแสงจะให้คุณภาพแสงที่ดีกว่าเนื่องจากใช้หิ้งสะท้อนแสงหลายตัวในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคาร

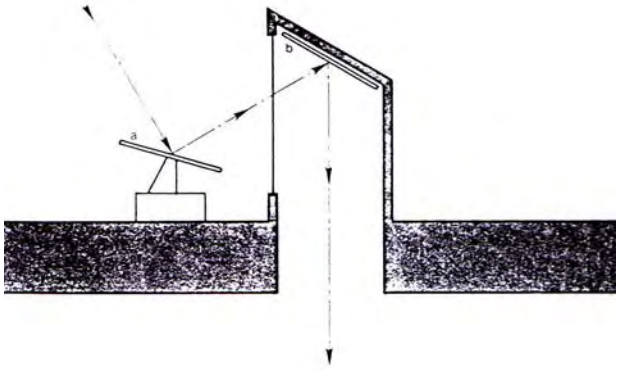
3.ปริซึ่ม (Prismatic glazing) ปริซึ่มจะนำแสงเข้าสู่อาคารโดยการสะท้อนแสง ปริซึ่มโดยทั่วไปจะเป็นรูปสามเหลี่ยม แต่ปริซึ่มรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแสงจะหักเหผ่านด้านที่บางของปริซึ่มซึ่งจะให้การสะท้อนแสงที่ดีกว่า Prismatic glazing เป็นแผ่นที่มีช่องเป็นรูปปริซึ่ม ซึ่งช่องทางด้านแคบของปริซึ่มโดยทั่วไปด้านหนึ่งจะเรียบ ส่วนอีกด้านหนึ่งผิวจะไม่เรียบ แผ่นปริซึ่มนี้สามารถที่จะใส่ไว้ระหว่างแผ่นกระจก ของกระจกสองชั้น โดยส่วนใหญ่จะใส่ไว้ส่วนบนประมาณ 1/3 ของความสูงหน้าต่าง ซึ่งแสงที่สะท้อนเข้าสู่ภายในห้อง จะมีลักษณะคล้ายกับหิ้งสะท้อนแสง คือ แสงจะสะท้อนจากภายนอกเข้าสู่ฝ้าภายในอาคารและกระจายเข้าสู่ภายในห้อง

4.ระบบท่อนำแสง (Light pipe system) ระบบนี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์, ท่อนำแสง และส่วนกระจายแสงภายในห้อง ซึ่งระบบนี้เหมาะสมกับพื้นที่แดดจัด โดยระบบท่อนำแสงนี้จะใช้การสะท้อนแสงของกระจกสะท้อนแสงซึ่งอาจปรับทิศทางได้ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เพื่อสะท้อนแสงอาทิตย์เข้าสู่ท่อนำแสง และกระจายเข้าสู่พื้นที่ภายในห้อง ซึ่งสามารถมีได้มากกว่า 1 จุด




ภาพที่ 36 ระบบท่อนำแสงแบบหัวกระจายแสงหลายหัว

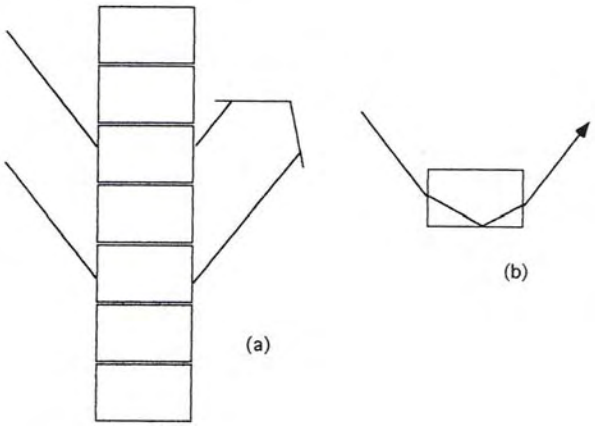
ที่มา : András Majoros, Daylighting (Queensland : University of Queensland Printery,1998), 72.



ภาพที่ 37 แสดงระบบการสะท้อนแสงโดยใช้แผ่นกระจกสะท้อนแสงเข้าสู่ท่อนำแสง

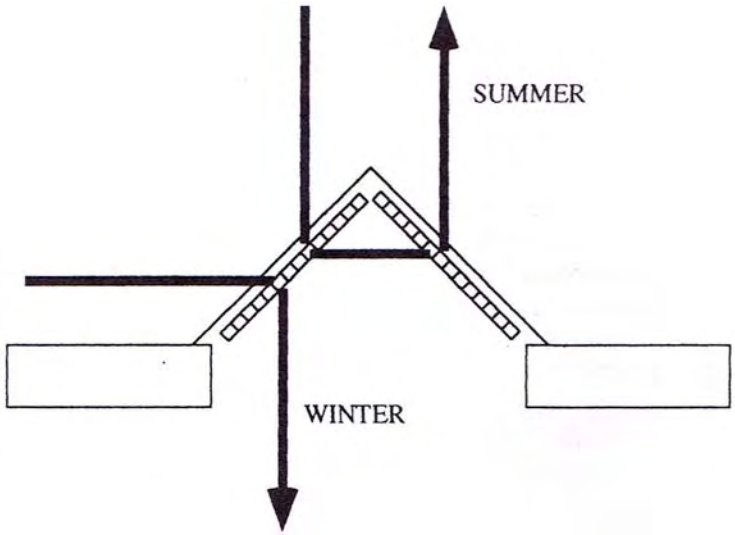
ที่มา : András Majoros, Daylighting (Queensland : University of Queensland Printery,1998), 72.

5.Laser cut panels คือ แผ่นอคิลิคใสแผ่นบางๆ สามารถที่จะเปลี่ยนทิศทางการสะท้อนแสงโดยการใช้เลเซอร์ตัดผ่านอคิลิค ทำให้สามารถสะท้อนแสงได้ 2 ทิศทาง วึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าปริซึ่ม หรือหิ้งสะท้องแสงซึ่งแผ่นอคิลิคนี้สามารถทำให้บางได้ถึง 3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถนำมาใส่ระหว่างแผ่นกระจกได้




ภาพที่ 38 แสดงการสะท้อนของแสงผ่านแผ่นอคิริคใส (a) , การสะท้อนของแสงผ่านแผ่นอคิลิคใสที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ (b)

ที่มา : András Majoros, Daylighting (Queensland : University of Queensland Printery,1998), 74.




ภาพที่ 39 แสดงการสะท้อนของแสงผ่านแผ่นอคิลิคใสที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ในฤดูต่างๆ
ที่มา : András Majoros, Daylighting (Queensland : University of Queensland Printery,1998), 74.

**4. การศึกษาวิธีการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง**

**4.1. Skylighting and Retail Sales : George Loisos, Pacific Gas and Electric Company California**

การทดลองชิ้นนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างยอดขายของร้านขายส่งกับการใช้แสงธรรมชาติโดยได้มีการวัดค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการใช้แสงธรรมชาติ แบบสกายไลท์เข้าช่วย โดยนอกจากจะมีการใช้แสงธรรมชาติโดยตรงแล้วยังมีการใช้แผงสะท้อนแสงเพื่อช่วยในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารอีกด้วย

ซึ่งแสงที่มีการใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

1.แสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์

2.แสงจากช่องเปิดจากผนังอาคาร

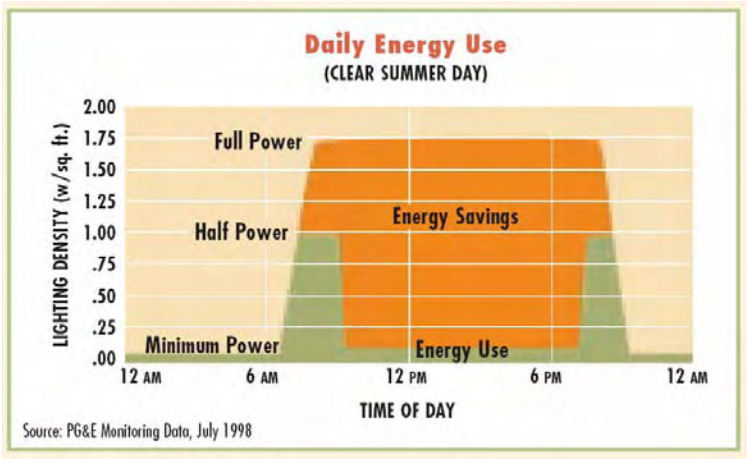
3.แสงจากการสะท้อนของแผงสะท้อนแสง

4.แสงประดิษฐ์

ภาพที่ 40 แสดงการให้แสงธรรมชาติในร้านค้าที่ทำการทดลอง

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 20 October 2004. Available from http://www.daylighting.com/articles.asp

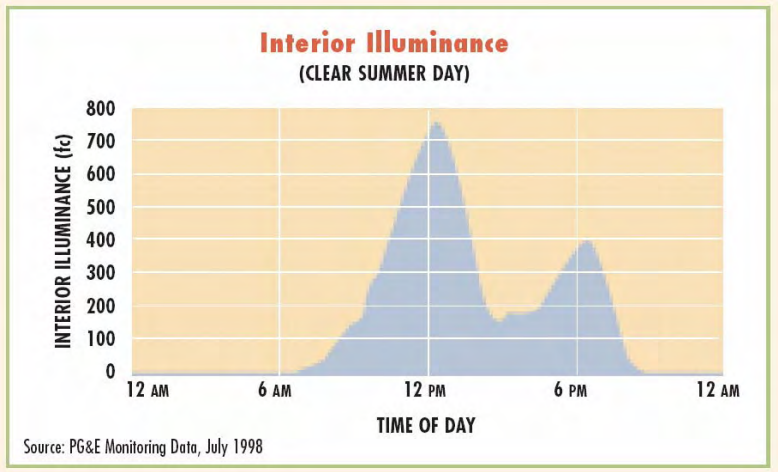
โดยจากการทดลองพบว่าหลังจากที่ใช้แสงธรรมชาติเข้าช่วยยอดขายของร้านขายปลีกสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าพลังงานที่ใช้ในการส่องสว่างพบว่าในช่วงเวลาที่มีการใช้แสงธรรมชาติเข้าช่วยมีการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์น้อยมาก




กราฟที่ 6 แสดงการใช้พลังงานในการส่องสว่างใน 1 วัน(ท้องฟ้าโปร่งในฤดูร้อน)

ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 20 October 2004. Available from http://www.daylighting.com/articles.asp

นอกจากค่าการใช้พลังงานจากแสงสว่างใน 1 วันแล้วจากการทดลองยังพบอีกว่าในการใช้แผงสะท้อนแสงช่วยในการนำแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคารสามารถช่วยให้ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารในช่วงเย็นสูงขึ้นในระดับที่ใช้งานได้อีกด้วย



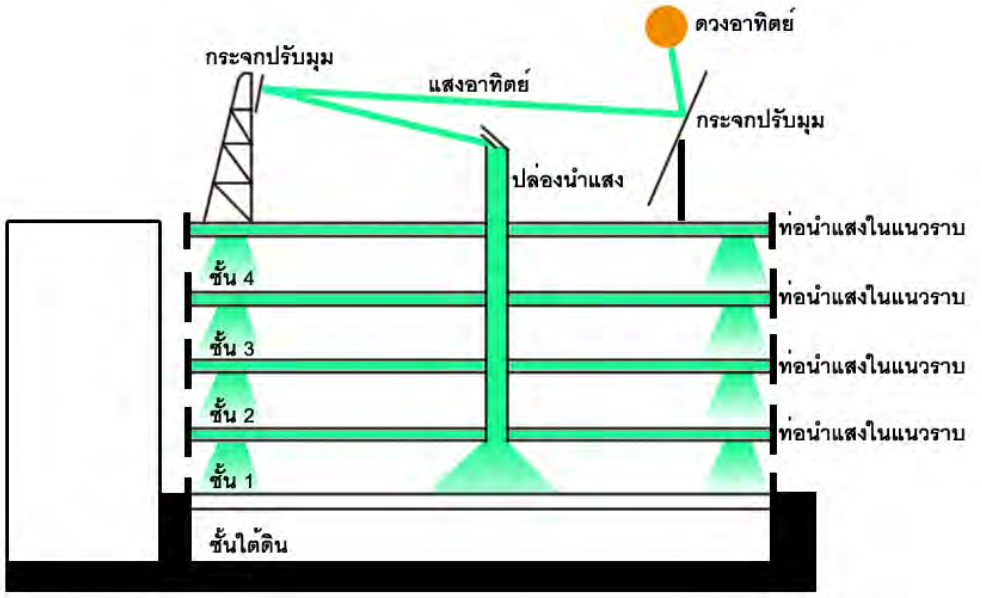

กราฟที่ 7 แสดงค่าความสว่างภายในร้านค้าใน 1 วัน (ท้องฟ้าโปร่งในฤดูร้อน)
ที่มา : Natural lighting co.,inc., Passive Daylighting [Online], accessed 20 October 2004. Available from http://www.daylighting.com/articles.asp

แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองวัดค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารพบว่าในช่วงเวลาที่แสงสว่างเข้าสู่อาคารได้นำความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยทำให้ภาระในการปรับอากาศในช่วงเทียงและบ่ายสูงขึ้น

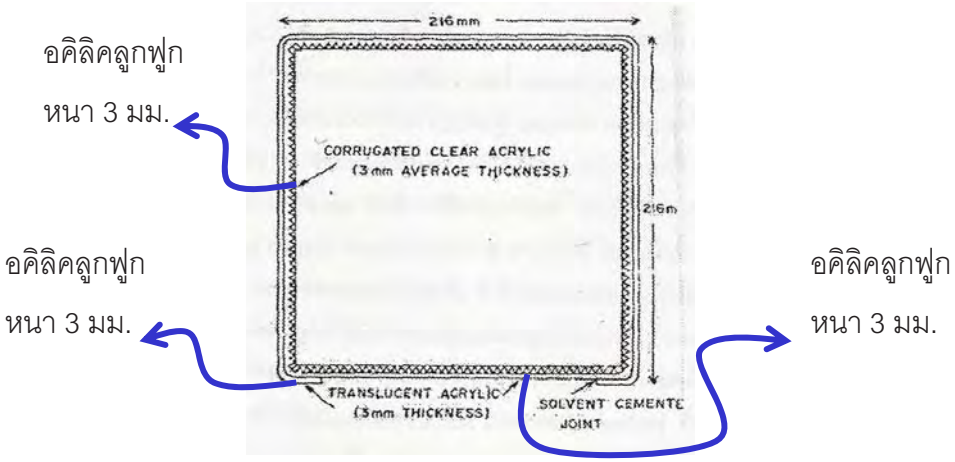
4.2. Whitehed.L.A, 1989.

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองระบบท่อนำแสง โดยสร้างแบบจำลองอาคารสูง 4 ชั้น และมี 1 ชั้นอยู่ใต้ดิน ขนาดพื้นที่อาคาร 7.6x30.5 เมตร กำหนดให้ด้านข้างของอาคารติดอาคารข้างเคียง ในการออกแบบได้ทำการกำหนดระดับความสว่างภายในไว้ที่ 807 ลักซ์ หรือประมาณ 75 ฟุตแคนเดิล ที่ระดับพื้นที่ทำงาน และให้มีความสว่างสม่ำเสมอภายในห้อง 15 % มีการรวมระบบแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติโดยใช้ระบบอัตโนมัติที่ใช้การปรับหมุนการรับแสงจากดวงอาทิตย์ และจากไฟฟ้าประดิษฐ์เมื่อกรณีที่ความส่องสว่างไม่เพียงพอ ซึ่งมีการใช้ปล่องนำแสง และพื้นที่รวมความเข้มแสงด้วยกระจกรวมแสงขนาดประมาณ 7.0x7.0 เมตร ในการรวมแสงจากดวง

อาทิตย์ก่อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร โดยผ่านท่อลมในแนวดิ่ง และเพื่อที่จะใช้ในการแยกรังสีที่มองเห็น ออกจากรังสีอินฟาเรด เพื่อที่จะไม่ให้ความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคาร นอกจากนั้นยังมีตัวดูดเก็บความร้อนที่จุดนี้เพื่อที่จะได้มีการกักเก็บความร้อนที่เกิดขึ้น และนำไปใช้ในระบบทำความร้อนของอาคารได้ ซึ่งควบคุมระบบทั้งหมดโดยระบบคอมพิวเตอร์

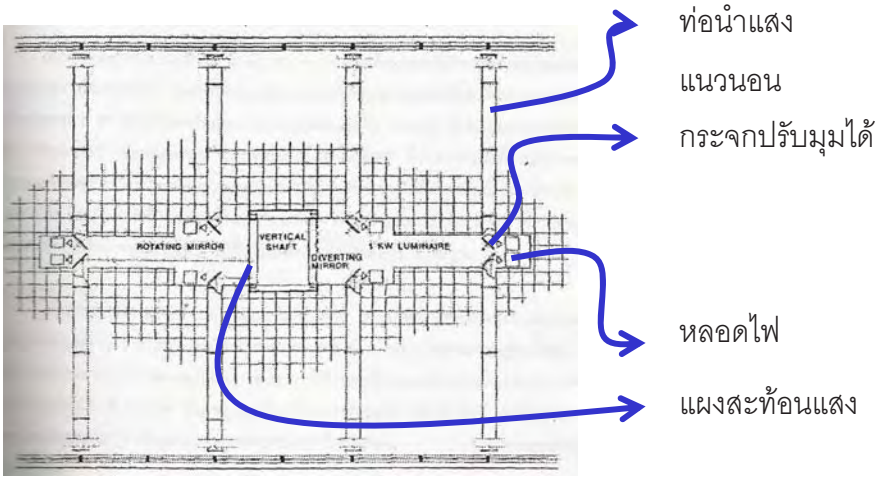



ภาพที่ 41 แสดงแบบหุ่นจำลองเพื่อทดสอบระบบท่อนำแสง




ภาพที่ 42 แสดงรูปหน้าตัดท่อนำแสง

ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 33.




ภาพที่ 43 แสดงแบบผังอาคาร และการกระจายแสงสู่ท่อนำแสงในแต่ละชั้น
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 33.

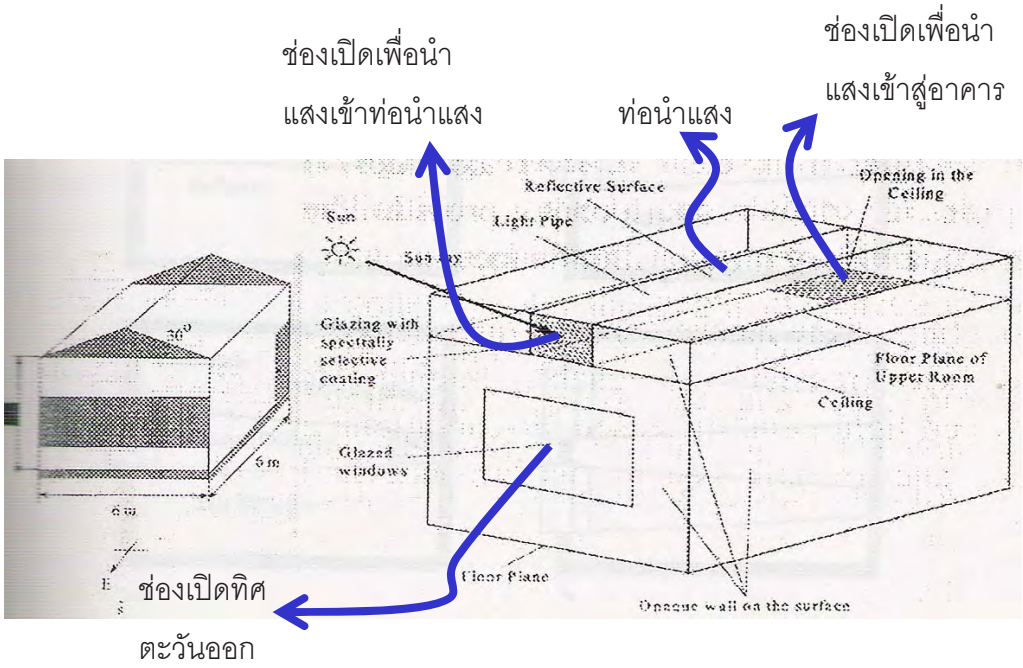
เมื่อแสงลงสู่ท่อในแนวดิ่งแล้วให้มีการนำกระจกสะท้อนแสงเพื่อที่จะสะท้อนแสงเข้าสู่ท่อนำแสงในแนวราบต่อไป แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นปริมาณแสงที่เกิดขึ้นจากธรรมชาตินั้นมีค่าความส่องส่วางไม่คงที่ ทำได้ต้องมีการติดตั้งกระจกปรับมุมที่ปลายช่องท่อเพื่อที่จะสลับการรับแสงธรรมชาติจากท่อในแนวดิ่ง และจากแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ ซึ่งการติดตั้งระบบนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมความสว่างให้คงที่ที่ระดับ 75 ฟุตแคนเดิล ที่ระดับพื้นที่ทำงานตลอดเวลา ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้พบว่าประสิทธิภาพรวมของระบบทั้งหมดคิดเป็นประมาณ 30 % ซึ่งเทียบได้กับแสงประดิษฐ์แบบพื้นฐาน

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ระบบท่อนำแสงนี้ใช้หลักการรวมแสงจากการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ เพื่อให้สามารถรวมเข้าสู่ปล่องนำแสง และกระจายสู่ท่อนำแสง ในแต่ละชั้น การนำแสงไปยังตำแหน่งต่างๆของอาคารใช้การสะท้อนแสงด้วยกระจกเงาสะท้อนแสงปรับมุมการสะท้อนได้ที่ปลายท่อ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนการรับแสงจากดวงอาทิตย์ มาเป็นการสะท้อนแสงจากแสงประดิษฐ์เมื่อแสงจากสภาพท้องฟ้าไม่เพียงพอซึ่งระบบถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

4.3. Hien VD., 1998:4

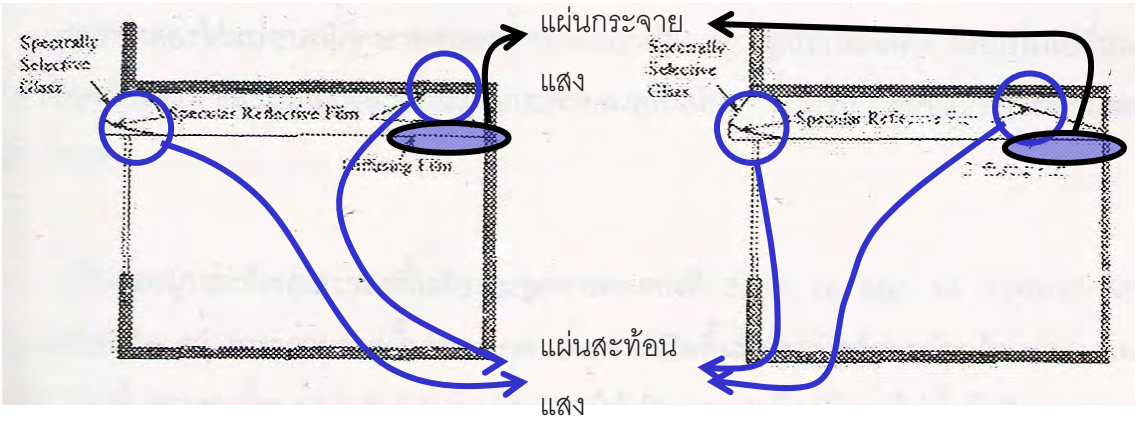
ระบบนำแสงภายใต้ฝ้าเพดานถูกออกแบบเพื่อเสริมปริมาณความส่องสว่างให้กับระดับพื้นที่ทำงาน ในพื้นที่ส่วนที่ลึกเข้าไป ซึ่งการใช้แสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์หรือลักษณะแสงที่เป็นลำแสงนั้นจะให้ความสว่างต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าแสงกระจายจากสภาพท้องฟ้าโปร่ง หรือสภาพท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน แสงลักษณะนี้จะทำให้พื้นที่ช่องเปิดหรือช่องแสงน้อยกว่าปกติในปริมาณความต้องการแสงส่วางที่เท่ากัน การใช้ระบบนำพาแสงนี้จะช่วยในการลดปริมาณความร้อนจากแสงสว่าง ภาระการทำความเย็นของอาคาร ประสิทธิภาพการทำความเย็นของอาคาร และประสิทธิภาพการทำงานของระบบทั้งหมด และราคาค่าก่อสร้าง

หุ่นจำลองที่ใช้สำหรับทดลองระบบท่อนำแสงทำส่วนผนังด้วยวัสดุทึบแสง มีหน้าต่างกระจก 1 ด้าน โดยส่วนของท่อนำแสงจะอยู่บนช่องฝ้าเพดาน ผนังภายในทำด้วยวัสดุสะท้อนแสง มีช่องเปิดรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศตะวันออก และส่วนช่องเปิดสำหรับกระจายแสงลงสู่พื้นห้องด้านล่าง



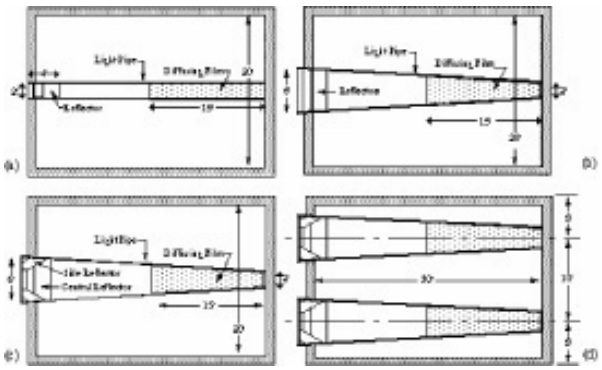

ภาพที่ 44 แสดงแบบหุ่นจำลองอาคารจำลองระบบท่อนำแสง
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 35.

จากรูปตัดด้านข้างแสดงรูปแบบการทดสอบการกระจายแสงลงสู่พื้นที่ด้านล่างผ่านฟิลม์กระจายแสง ที่มีทั้งการใช้ท่อนำแสงที่ไม่มีการปาดมุมเอียง และที่มีการปาดมุมเอียงเพื่อช่วยในการกระจายแสงลงสู่พื้น




ภาพที่ 45 แสดงรูปตัดอาคาร และการวางแนวท่อนำแสง
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 36.

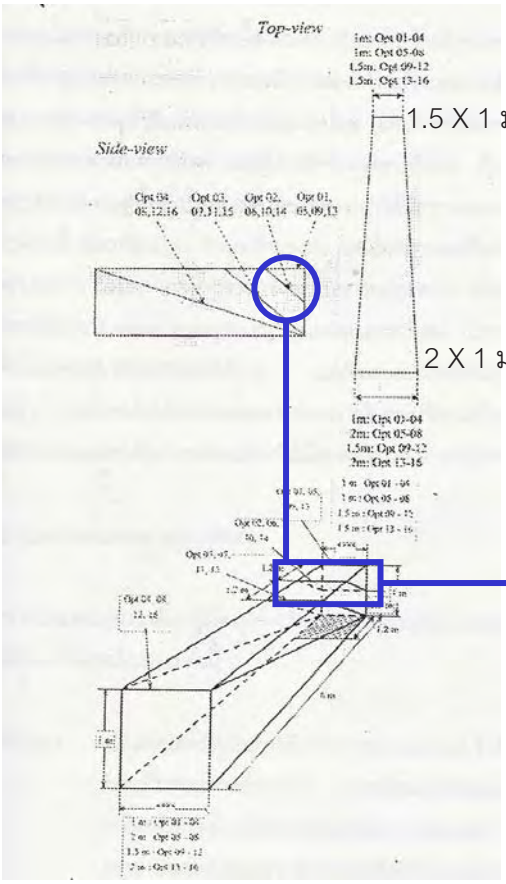
จากรูปแบบแปลนแสดงรูปแบบการทดสอบลักษณะท่อนำแสง และตัวสะท้อนแสงเข้าภายในท่อนำแสงทั้งรูปแบบตรงปกติ และปาดมุมเอียงเข้าเมื่อระยะห่างมากขึ้น



ภาพที่ 46 แสดงผังอาคาร และแนวการวางท่อนำแสง
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 36.

การทดสอบได้แบ่งกรณีศึกษาทดลองทั้งหมดออกเป็น 16 ชุดการทดลอง โดยปรับเปลี่ยนสัดส่วนของท่อนำแสง และมุมเอียงสะท้อนแสงกระจายลงสู่พื้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า

เมื่อเอียงมุมสะท้อนลงสู่พื้นห้องในชุดการทดลองที่ 2,6,10 และ 14 พบว่า จะให้ปริมาณความส่องสว่างกระจายลงสู่พื้นมากที่สุด และการเปิดพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้ากว้าง 2x1 เมตร และเอียงเข้าที่ปลายท่อที่ขนาด 1.5x1 เมตร จะส่งผลให้ปริมาณแสงที่ถูกนำพาไปนั้นมีปริมาณมากขึ้น




ภาพที่ 47 แสดงแบบท่อนำแสงในชุดการทดลองต่างๆ
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 37.

ดังนั้นสามารถสรุปผลการศึกษาการวิจัยเบื้องต้นเรื่องระบบท่อนำแสงจากงานวิจัยนี้ได้ว่า ลักษณะของท่อนำแสงที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการนำแสงให้ได้ปริมาณแสงมากที่สุดนั้น ท่อนำแสงควรจะมีค่าสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้บุผิวด้านในมากที่สุด และการปาดความลาดเอียงของท่อ

ลงจากต้นท่อมายังปลายท่อจะช่วยให้การนำพาแสงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ถึงกระนั้นก็ตาม การปาดมุมเอียงเพื่อการสะท้อนแสงลงสู่พื้นที่เบื้องล่างนั้นต้องพิจารณาให้มีความสอดคล้อง และเหมาะสมกับมุมของแสงที่สะท้อนพื้นที่สะท้อนแสงด้านหน้าของท่อ แต่เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพและการนำไปใช้ของความส่องสว่างพบว่า ยังมีความแปรปรวนของระดับความส่องสว่างเมื่อกระจายแสงลงภายในตัวห้องแล้ว เนื่องจากได้ทำการทดลองโดยการวางหุ่นจำลองอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออกทำให้ในช่วงเวลาเช้าจะมีปริมาณแสงได้มาก แต่เมื่อดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งปริมาณแสงจะค่อยๆลดลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งานจริงส่งผลให้เกิดการแปรปรวน และยากต่อความควบคุมระดับความส่องสว่างให้มีความสม่ำเสมอสำหรับการประกอบกิจกรรม

### 4.4. การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง : รัฐพล รุญเจริญ

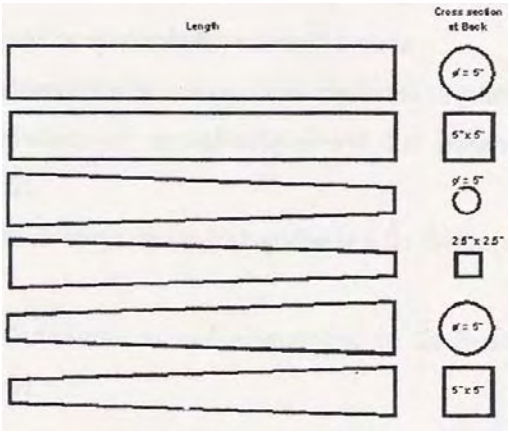
การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารโดยทั่วไปมีข้อจำกัดของความสว่างในระยะลึกไม่เกิน 5 เมตรจากแนวขอบหน้าต่าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการนำเสนอเทคนิคในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในส่วนที่ระดับความส่องสว่างไม่เพียงพอต่อการใช้งานพื้นฐานโดยใช้ระบบท่อนำแสง

ขั้นตอนในการศึกษาท่อนำแสงประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1.ขั้นตอนการรวมแสง ศึกษาเทคนิคการรวมแสงโดยอาศัยหลักการสะท้อนแสงบนรูปทรงพาราโบลาเพื่อเพิ่มความเข้มแสง

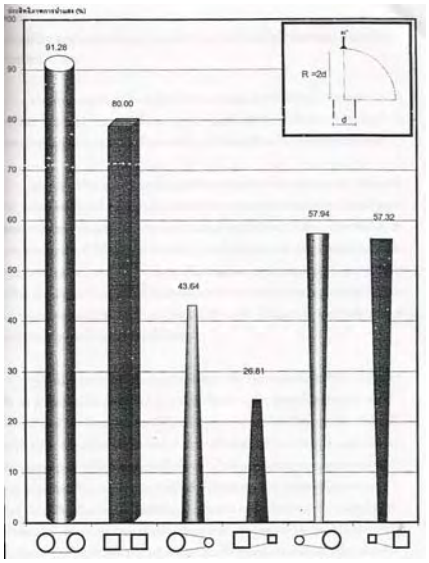
2.ระบบนำพาแสง ทำการศึกษาอิทธิพลของมุมและทิศทางของแสงที่กระทำต่อผนังภายในท่อ 6 รูปแบบ คือ รูปแบบที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม 3 รูปแบบ และสี่เหลี่ยมจตุรัส 3 รูปแบบ โดยทำการศึกษาทั้งรูปทรงกระบอก และรูปทรงกรวยและทิศทางการนำแสงโดยผ่านข้อเชื่อมต่อท่อนำแสง

3.ระบบการกระจายแสง ทำการศึกษาทิศทางการสะท้อนแสงภายในและการกระจายจากท้องฟ้าเป็นตัวแปรหลัก หลีกเลี่ยงอิทธิพลจากแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ที่มีความแปรปรวนสูง ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสะท้อนแสงนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อหารูปแบบของระบบท่อนำแสงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

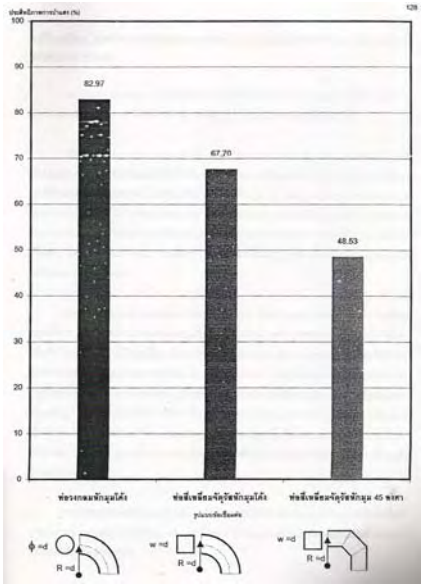



ภาพที่ 48 แสดงรูปแบบของท่อนำแสงทั้ง 6 แบบที่ทำการทดสอบ
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 44.

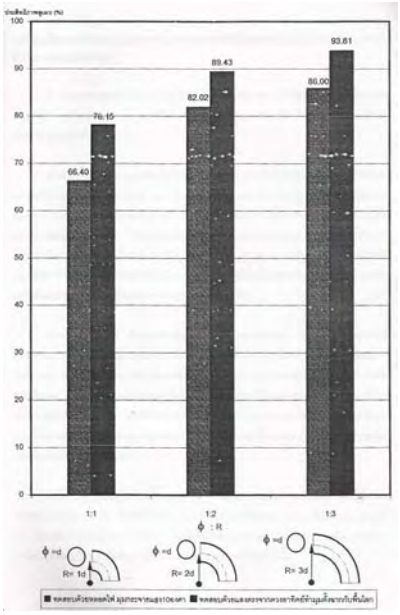
ผลการวิจัยพบว่า ระบบรวมแสงต้องคำนึงถึงมุม ทิศทางการสะท้อนของแสงและอิทธิพลของมุมเปิดเห็นท้องฟ้าเป็นหลัก การรวมแสงที่ได้จากการใช้ตัวแปรดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพประมาณ 38 %




แผนภูมิที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำแสงที่มุมตกกระทบ 90 องศา
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 119.




แผนภูมิที่ 5 แสดงประสิทธิภาพการนำแสงของข้อเชื่อมแบบต่างๆ
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 128.




แผนภูมิที่ 6 แสดงประสิทธิภาพการนำแสงผ่านข้อเชื่อมหน้าตัดวงกลมที่รัศมีวงโค้งต่างๆ
ที่มา : รัฐพล รุญเจริญ, “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), 130.

การวิจัยระบบนำพาแสงพบว่าแสงที่ขนานกับแนวท่อจะมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยจะแปรผกผันตามอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อต่อความยาวของท่อนำแสง โดยท่อที่มีหน้าตัดวงกลมและมีรูปทรงกระบอกจะให้ประสิทธิภาพการนำพาแสงประมาณ 90 % เมื่ออัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางต่อความยาวท่อเท่ากับ 1 ต่อ 10 เท่า อย่างไรก็ตามปริมาณแสงจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการนำพาแสงแต่ละครั้งโดยจะแปรผันตามอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อต่อรัศมีโค้ง โดยข้อเชื่อมต่อที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลมจะมีประสิทธิภาพลดลงในการหักมุมแต่ละครั้งประมาณ 6 % เมื่อมีอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อต่อรัศมีโค้งเท่ากับ 1 ต่อ 3 เท่า

การวิจัยระบบกระจายแสงพบว่า การกระจายแสงที่ปลายท่อจะขึ้นกับทิศทางและมุมแสงที่กระทำภายในท่อนำแสงเป็นหลัก

จากผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่า**ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบท่อนำแสงจะขึ้นกับศักยภาพของการรวมแสง อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อต่อความยาวท่อนำแสง อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อต่อรัศมีโค้งข้อเชื่อมต่อ ที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลมรูปทรงกระบอก มุมและทิศทางการสะท้อนแสง** ในการประยุกต์ใช้สามารถที่จะนำเอาระบบท่อนำแสงมาใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อลดการติดตั้งแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร

# บทที่ 3

# การดำเนินการวิจัย

## 1. สภาพแสงกรุงเทพมหานคร

ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยการวัดค่ามุมเงยและมุมอาซีมุทจากเงาของดวงอาทิตย์จะพบว่าค่ามุมเงยของดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดแล้วจึงค่อยลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าไป สำหรับมุมอาซีมุทก็จะมีการเปลี่ยนค่าไปด้วยทุกครั้งที่วัด แสดงว่าดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งตลอดเวลาเส้นที่ลากเชื่อมจุดต่าง ๆ บนแบบจำลองทรงกลมท้องฟ้าคือ แนวเคลื่อนที่ปรากฏของ ดวงอาทิตย์ในรอบวัน เส้นทางที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ปรากฏไปบนท้องฟ้าตลอดปี เรียกว่าเส้นสุริยวิถีหรือ ที่เรียกว่าเส้นอีคริปติก(Ecliptic) จากการสังเกตตำแหน่งขึ้นและตกของดวงอาทิตย์และเส้นทางโคจรปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าตลอดปี พบว่าความจริงนั้นตำแหน่งขึ้น-ตกและเส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปทุกฤดูกาล จากการวัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขึ้นและตกพบว่าตำแหน่งเปลี่ยนไปทุกวัน วันละประมาณ 15ลิปดา

ตาราง 4 แสดงค่ามุมอาซิมุทขณะขึ้น ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ วัดที่กรุงเทพมหานคร

| วัน เดือน | มุมอาซิมุท (องศา) | | มุมเงยสูงสุด(องศา) |
|---|---|---|---|
| | ขณะขึ้น | ขณะตก | |
| 21-มี.ค. | 90 | 270 | 76 |
| 27-เม.ย. | 76 | 284 | 90 |
| 20-พ.ค. | 70 | 290 | 84 |
| 22-มิ.ย. | 67 | 293 | 81 |
| 20-ก.ค. | 69 | 291 | 83 |
| 16-ส.ค. | 76 | 284 | 90 |
| 23-ก.ย. | 90 | 270 | 76 |
| 20-ต.ค. | 100 | 260 | 66 |
| 20 –พ.ย. | 110 | 250 | 56 |

ตาราง 4 (ต่อ)

| วัน เดือน | มุมอาซิมุท (องศา) | | มุมเงยสูงสุด(องศา) |
|---|---|---|---|
| | ขณะขึ้น | ขณะตก | |
| 22-ธ.ค. | 113 | 247 | 52 |
| 20-ม.ค. | 110 | 250 | 56 |
| 20-ก.พ. | 101 | 259 | 67 |

ที่มา : สมยศ แม้นสงวน, โลกและดวงดาว [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 9 ตุลาคม 2550. เข้าถึงได้จาก http://ns1.wt.ac.th/~somyos/earth4011.html

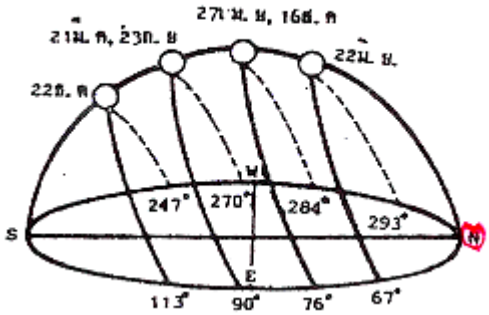
จากข้อมูลในตารางสามารถสรุปได้ว่า

1.ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงจุดทิศตะวันออกและตกตรงจุดทิศตะวันตกพอดีคือมีมุมอาซีมุทขณะขึ้น 90 องศา และขณะตก 270 องศา
ในวันที่21มีนาคม และ23กันยายน เรียกว่า วันอิควินอก(Equinoke)เป็นวันที่มีกลางวันและกลางคืนยาวเท่ากันวันที่ 21 มีนาคม เป็นวัน
เริ่มต้นฤดูใบไม้ผลิเรียกว่า เวอร์นอล อิควินอก (Vernal Equinox) ส่วนวันที่23กันยายน เป็นวันเริ่มต้นฤดูใบไม้ร่วงเรียกว่าออตัมนอลอิควินอก (Autumnal Equinox)

2.ดวงอาทิตย์ผ่านจุดเหนือศีรษะของคนกรุงเทพพอดี ในวันที่27 เมษายน และ16สิงหาคมมุมอาซีมุทขณะขึ้น 76 องศา ขณะตก 284 องศา

3.ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกค่อนไปทางเหนือสุดในวันที่ 22 มิถุนายน วันนี้เวลากลางวันจะยาวกว่าเวลากลางคืนเรียกว่า ซัมเมอร์โซลติส(Summer Solstice)มีมุมอาซีมุทขณะขึ้น 67 องศา ขณะตก 293 องศา

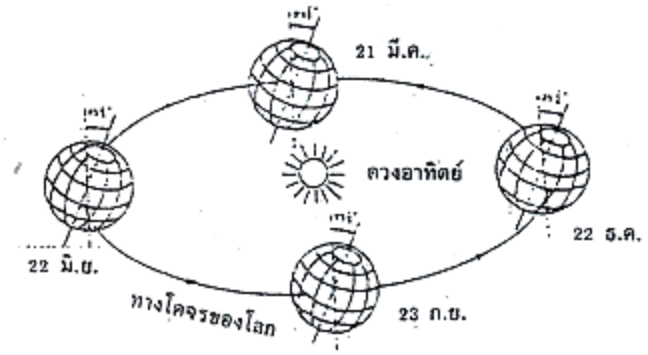
4.ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกค่อนไปทางใต้สุดวันที่ 22 ธันวาคม เป็นช่วงฤดูหนาวเรียกว่าวินเทอร์โซลติส (Winter Solstice)มีมุมอาซิมุทขณะขึ้น 113 องศาและขณะตก 247 องศา เรียกว่า"ตะวันอ้อมข้าว" วันนี้จะมีเวลากลางคืนยาวกว่ากลางวัน




ภาพที่ 49 ตำแหน่งขึ้น,ตกและมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ในรอบปีที่กรุงเทพมหานคร
ที่มา : สมยศ แม้นสงวน, โลกและดวงดาว [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 9 ตุลาคม 2550. เข้าถึงได้จาก http://ns1.wt.ac.th/~somyos/earth4011.html

ในวันที่21มีนาคมดวงอาทิตย์ขึ้นที่จุดทิศตะวันออกและตกที่จุดทิศตะวันตกพอดีหลังจากวันนี้ไปดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนตำแหน่งไปวันละ 15 ลิปดา ขึ้นไปทางเหนือจนถึงเหนือสุดประมาณ 23.5 องศา ในวันที่ 22 มิถุนายน ต่อจากนั้นดวงอาทิตย์จะมีการขึ้นและตกลดต่ำลงมาจากทางเหนือจนถึง วันที่ 23 กันยายน จะขึ้นและตกทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกพอดี หลังจากวันที่ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์จะขึ้นตกค่อนไปทางใต้มากที่สุดประมาณ 23 องศา หลังจากวันนี้ดวงอาทิตย์จะค่อย ๆ ขึ้นตกสูงขึ้นจากทางใต้จนกระทั่งมา ขึ้นตกตรงจุดทิศตะวันออกและทิศตะวันตกอีกครั้งหนึ่งในวันที่ 21 มีนาคม ต่อจากนั้นก็จะเปลี่ยนตำแหน่งขึ้นตกซ้ำรอยเดิมอีกเป็นเช่นนี้เรื่อยไป

ผลจากการที่ดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งการขึ้นตกไปตลอดทั้งปีและโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี จึงทำให้ระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์ไม่เท่ากันนอกจากนี้แกนหมุนของโลกเอียงทำมุม23.5 องศา กับแนวที่ตั้งฉากกับระนาบวงโคจรของโลก ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของโลกได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงเกิดฤดูกาลขึ้น โดยพื้นที่ที่อยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะได้รับแสงและความร้อนจากดวงอาทิตย์มากเกือบตลอดปีจึงมีเพียง 2 ฤดูคือฤดูร้อนกับฤดูฝน ส่วนทางซีกโลกเหนือจะเป็นเขตอบอุ่นจึงมี 4 ฤดู คือ ฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาว




ภาพที่ 50 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ที่มา : สมยศ แม้นสงวน, โลกและดวงดาว [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 9 ตุลาคม 2550. เข้าถึงได้จาก http://ns1.wt.ac.th/~somyos/earth4011.html

## 2.เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

### 2.1.เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการทดลองนี้ได้ใช้อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล ดังนี้

1. ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter) รุ่น Testo 545 โดยเครื่องมือวัดชนิดนี้ใช้วัดความส่องสว่างที่มีช่วงระหว่าง 5 - 100,000 ลักซ์ โดยใช้วัดความส่องสว่าง จากกล่องทดลองเพื่อใช้การทดลองเกี่ยวกับปริมาณแสงสว่างกับทิศทางของท่อนำแสง

ภาพที่ 51 เครื่องวัดความส่องสว่าง (Lux Meter) รุ่น Testo 545

2.ดาต้าล๊อกเกอร์ รุ่น LI-1400 ลักซ์ โดยใช้วัดความส่องสว่าง จากกล่องทดลองเพื่อใช้การทดลองเกี่ยวกับปริมาณแสงสว่างกับทิศทางของท่อนำแสง

ภาพที่ 52 เครื่องวัดความส่องสว่าง ดาต้าล๊อกเกอร์ รุ่น LI-1400

3.หัววัดแสง

ภาพที่ 53 หัววัดแสงสำหรับต่อกับเครื่องวัดความส่องสว่าง ดาต้าล๊อกเกอร์ รุ่น LI-1400

4.กล้องถ่ายรูป

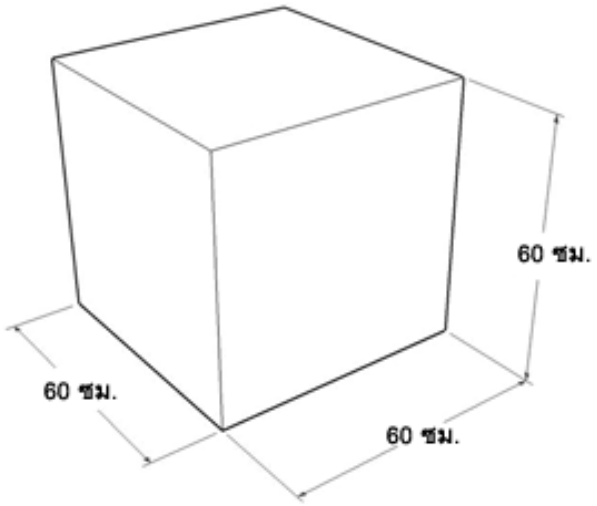
ภาพที่ 54 กล้องถ่ายรูป SONY รุ่น Cyber shot P-8

5. เข็มทิศ

6. คอมพิวเตอร์

**2.2.หุ่นจำลองระบบท่อนำแสง**

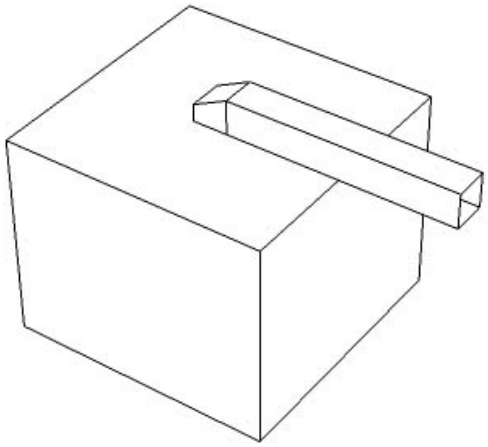
กล่องทดลองที่ใช้ในการทดลองระบบท่อนำแสงมีลักษณะดังนี้ เป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 0.60 เมตร เนื่องจากใช้มาตราส่วน 1 : 3 ซึ่งเทียบมาจากระยะห่างระหว่างพื้นที่ใช้งานถึงฝ้า คือ ระยะ 180 เซนติเมตร โดยเทียบความสูงห้องจากพื้นถึงฝ้า 2.60 เมตร จาก พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ปี พ.ศ. 2543 อาคารประเภทพักอาศัย และพื้นที่ใช้งานสูงจากพื้น 80 เซนติเมตร




ภาพที่ 55 กล่องทดลอง

ผนังกล่อง 5 ด้านบุด้วยแผ่นยิปซั่มเพื่อป้องกันมิให้มีแสงลอดเข้ามาภายในกล่อง ส่วนด้านบนกล่องเปิดว่างไว้เพื่อนำท่อนำแสงมาติดตั้ง

ภายในกล่องทาด้วยสีเทาเพื่อลดการสะท้อนของแสงจากผนังกล่องทำให้ค่าที่วัดเป็นค่าปริมาณแสงที่ได้เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนผ่านท่อนำแสงเข้าสู่กล่องมากที่สุด



ภาพที่ 56 กล่องทดลองเมื่อประกอบกับท่อนำแสง

**2.3.ระบบท่อนำแสง**

วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำท่อนำแสงใช้แผ่นอลูมิเนียมเรียบ เงา มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ 95 % และมีค่าการสะท้อนแสงกระจายต่ำประมาณ 5% (ข้อมูลจากโรงงาน) ทำให้การสะท้อนของแสงที่ตกกระทบ และสะท้อนกลับมีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงสามารถกำหนดทิศทางการสะท้อนแสงได้ง่าย และแสงไม่เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนสงในแต่ละครั้ง อีกทั้งการใช้แผ่นอลูมิเนียมสามารถม้วนเป็นท่อกลม และสามารถพับเป็นท่อสี่เหลี่ยมได้

ในส่วนของข้อต่อ และข้อพับต่างๆที่เชื่อมต่อระหว่างท่อนำแสงกับฝาครอบใช้สังกะสีเรียบ เงา เนื่องจาก อลูมิเนียมไม่สามารถเชื่อมต่อเป็นข้อพับต่างๆได้

**อลูมิเนียม** เป็นโลหะที่สำคัญ ได้รับการใช้งานมากที่สุด ในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) ทั้งนี้เพราะ อลูมิเนียมมีคุณสมบัติ ที่ดีเด่นหลายประการ

1. ความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้ไม้สอยตลอดจนชิ้นส่วนบางอย่าง ในเครื่องบิน จรวด ขีปนาวุธ และอุปกรณ์ในรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนัก
2. มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และรุนแรง โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
3. เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย และไม่มีค่าการนำความร้อนสูง ใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร และห่อรองรับอาหาร
4. ผิวหน้าของ อลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อน ในแฟลชถ่ายรูป , จานสะท้อนแสงในโคมไฟ และไฟหน้ารถยนต์

5. ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิม และการผุกร่อน ในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดีมาก แต่ไม่ทนทาน ต่อการกัดกร่อนของกรดแก่ และด่างทั่วๆไป

6. ซื้อหาได้ง่าย ในท้องตลาด และราคาไม่แพงนัก

เป็นโลหะที่ยังมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง

ภาพที่ 57 อลูมิเนียมที่ใช้ในการทำท่อนำแสงในการทดลอง

**ข้อจำกัดในการผลิตท่อนำแสง**

1.อลูมิเนียมไม่สามารถเชื่อมได้การขึ้นรูปจึงอาศัยการพับแผ่นอลูมิเนียมในการขึ้นรูปท่อนำแสง

2.ข้อต่อท่อนำแสงและฝาครอบกล่องทดลองใช้สังกะสีในการผลิตเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ต้องเชื่อมต่อ ซึ่งอลูมิเนียมไม่สามารถเชื่อมได้ ซึ่งการใช้สังกะสีในส่วนข้อต่อท่อนำแสงนี้อาจมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการนำพงแสงลดลง

3.ส่วนโคมรวมแสงและโคมกระจายแสง เป็นส่วนที่ต้องอาศัยการขึ้นรูปจากผู้ผลิตรายใหญ่ซึ่งทำให้มูลค่าการผลิตต่อชิ้นสูงเมื่อทำการผลิตในจำนวนไม่มากในการทดลองครั้งนี้จึงตัดส่วนนี้ออกโดยทำการทดลองเฉพาะในส่วนของท่อนำแสง

# บทที่ 4

## การวิเคราะห์และผลการทดลองโดยใช้หุ่นจำลอง

### 1. แนวความคิดในการออกแบบช่องเปิด

โดยกำหนดเป็นกรอบของตัวแปร คือ ตัวแปรควบคุม ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม ดังนี้

**1.1 ตัวแปรควบคุม** ได้แก่

1.1.1. ภูมิภาคที่ตั้งของการทดลองระบบท่อนำแสงเข้าสู่อาคารจากทางด้านข้างได้กำหนดให้ทำการทดลอง ณ จังหวัดกรุงเทพมหานคร บริเวณดาดฟ้าอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดโล่งไม่มีการบังเงาจากสภาพแวดล้อมลอบข้าง

1.1.2.ลักษณะการวางทิศทางของช่องเปิดของท่อนำแสง ได้ทำการกำหนดทิศเหนือเป็นทิศทางของการรับแสง เนื่องจากเป็นทิศที่เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนจากทิศทางต่างๆทำให้แสงมีความสม่ำเสมอกว่าทิศทางอื่นๆ **ยกเว้นในการทดลองในหัวข้อทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางการหันท่อนำแสง ต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง ซึ่งทิศทางการวางท่อนำแสงจะเป็นตัวแปรอิสระในการทดลองนี้**

1.1.3.ลักษณะของกล่องทดลอง เป็นกล่องสี่เหลี่ยมกว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.60 เมตร และสูง 0.60 เมตร ผนังกล่องปิดด้วยยิปซั่มบอร์ดภายนอกทาสีขาว และภายในกล่องทาด้วยสีเทา และด้านบนกล่องทดลองปิดด้วย ฝาสังกะสีที่เชื่อมกับท่อนำแสงอลูมิเนียม

ภาพที่ 58 แสดงกล่องทดลองขณะประกอบเข้ากับท่อนำแสง

1.1.4. ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้ทำการทดลองในช่วงเวลา 10.00 น. ถึงช่วงเวลา 16.00 น.

1.1.5.จุดที่ทำการวัดแสงทำการวัดแสง ณ ก้นกล่องทดลอง ยกเว้นการทดลองในเรื่องทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางการหันท่อนำแสง ต่อประสิทธิภาพการนำพาแสงที่ทำการวัดแสง ณ ปลายท่อนำแสงในกล่องทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือในการทดลอง

1.1.6.วัสดุที่ใช้ทำท่อนำแสงใช้อลูมิเนียม

1.1.7.จำนวนวันที่ทำการเก็บข้อมูลโดยจะทำการเก็บข้อมูลหัวข้อละ 3 วัน

1.2 **ตัวแปรอิสระ** ได้แก่

1.2.1 **ทิศทางของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง** จะมีการปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงเข้าสู่ท่อนำแสงโดยจะมีการกำหนดทิศทางต่างๆ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 คือ ทิศตะวันออก

ตำแหน่งที่ 2 คือ ทิศเหนือ

ตำแหน่งที่ 3 คือ ทิศใต้

ตำแหน่งที่ 4 คือ ทิศตะวันตก

โดยในการทดลองจะใช้ท่อทดลองแบบท่อกลม ข้อต่อโค้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 1.20 เมตร

ภาพที่ 59 แสดงทัศนียภาพทางทิศเหนือของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

ภาพที่ 60 แสดงทัศนียภาพทางทิศใต้ของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

ภาพที่ 61 แสดงทัศนียภาพทางทิศตะวันออกของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

ภาพที่ 62 แสดงทัศนียภาพทางทิศตะวันตกของดาดฟ้าชั้น 6 ตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

1.2.2 **รูปแบบของท่อนำแสง** จะมีการกำหนดรูปแบบท่อนำแสงทั้งหมด 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 คือ ท่อกลม รัศมี 5 นิ้ว ข้อต่อโค้ง ยาว 1.20 เมตร

รูปแบบที่ 2 คือ ท่อสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ข้อต่อโค้ง ยาว 1.20 เมตร

รูปแบบที่ 3 คือ ท่อสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ข้อต่อแบบตัด ยาว 1.20 เมตร

โดยในการทดลองจะทำการหันทิศทางการรับแสงไปทางทิศเหนือ

ภาพที่ 63 แสดงท่อนำแสงแบบท่อสี่เหลี่ยมจตุรัสข้อต่อโค้ง ยาว 1.20 เมตร

ภาพที่ 64 แสดงท่อนำแสงแบบท่อสี่เหลี่ยมจตุรัส ข้อต่อแบบตัด ยาว 1.20 เมตร

ภาพที่ 65 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลม ข้อต่อโค้ง ยาว 1.20 เมตร

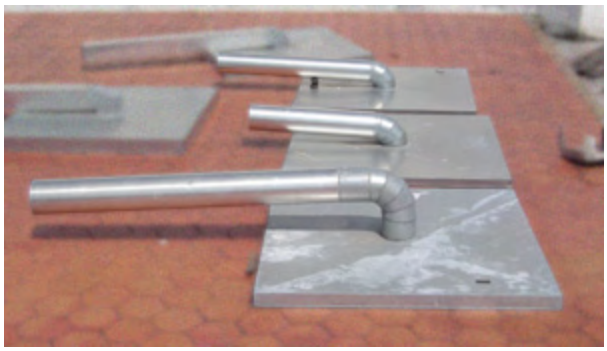
1.2.3. **ความยาวของท่อนำแสง** มีการกำหนดความยาวของท่อนำแสงทั้งหมด 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 คือ ท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 1.20 เมตร

รูปแบบที่ 2 คือ ท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 0.90 เมตร

รูปแบบที่ 3 คือ ท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 0.60 เมตร

โดยในการทดลองจะทำการหันทิศทางการรับแสงไปทางทิศเหนือ



ภาพที่ 66 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องความยาวท่อนำแสง

1.2.4. **ขนาดท่อนำแสง** มีการกำหนดขนาดของท่อนำแสงกลมยาว 0.90 เมตร ข้อต่อโค้ง ทั้งหมด 3 ขนาด ดังนี้

ขนาดที่ 1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว

ขนาดที่ 2 คือ เส้นผ้าศูนย์กลาง 10 นิ้ว

ขนาดที่ 3 คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 นิ้ว

โดยในการทดลองจะทำการหันทิศทางการรับแสงไปทางทิศเหนือ

ภาพที่ 67 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องขนาดท่อนำแสง

1.2.5. **จุดที่ทำการวัดปริมาณแสงสว่างภายในท่อนำแสง** มีการกำหนดจุดในการวัดแสงจกาแสงที่ผ่านท่อนำแสงจากทางด้านข้างผ่านท่อกลมข้อต่อโค้ง เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว ยาว 0.90 เมตร จำนวน 3 จุด ดังนี้

จุดที่ 1 คือ วัดที่ตำแหน่งพื้นกล่องทดลอง

จุดที่ 2 คือ วัดที่ตำแหน่งสูงจากพื้นกล่องทดลอง 0.15 เมตร

จุดที่ 3 คือ วัดที่ตำแหน่งสูงจากพื้นกล่องทดลอง 0.30 เมตร

โดยในการทดลองจะทำการหันทิศทางการรับแสงไปทางทิศเหนือ

### 1.3 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตามในการทดลอง ได้แก่ ระดับแสงสว่างที่ผ่านท่อนำแสงเข้าสู่กล่องทดลอง และค่าต่างๆที่ทำการเก็บข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย

1.3.1.ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด มีหน่วยเป็นลักซ์

1.3.2.ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด มีหน่วยเป็นลักซ์

1.3.3.ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน มีหน่วยเป็นลักซ์

1.3.4.ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน มีหน่วยเป็นลักซ์

1.3.5.ความสม่ำเสมอของแสงค่า โดยใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าวัดการกระจายที่สำคัญทางสถิติ เพราะเป็นค่าที่ใช้บอกถึงการกระจายของข้อมูล ซึ่งจากการทดลองเทียบได้กับการกระจายตัวของค่าแสงหรือความสม่ำเสมอของแสง

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ S.D. = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$X_i$ = ข้อมูลที่ i หรือค่าของปริมาณแสงที่วัดได้จากการทดลอง

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล หรือค่าเฉลี่ยของแสงจากการทดลอง

n = จำนวนข้อมูล

## 4.2. การทดลองและผลการทดลอง

### 4.2.1. ทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

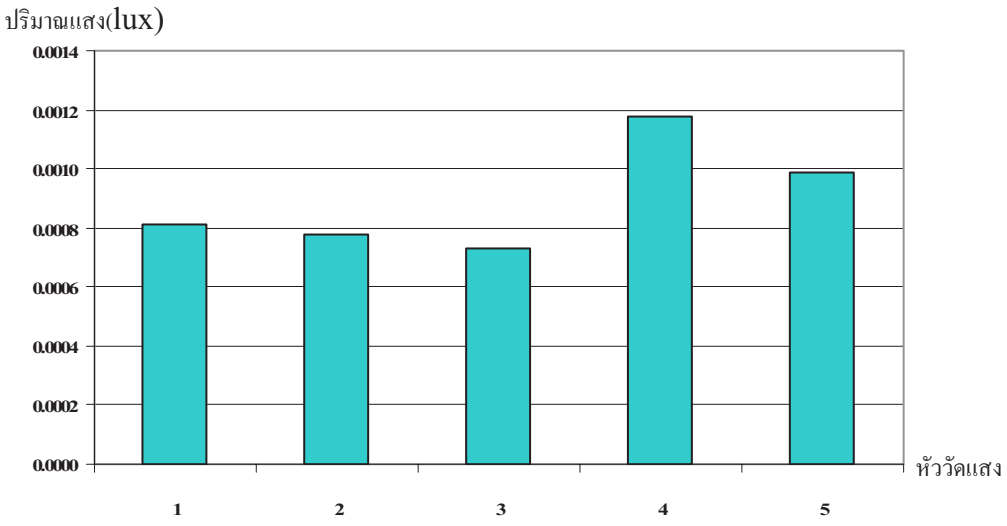
ก่อนทำการทดลอง ต้องทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่นำมาวัดแสง ให้มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันให้มากที่สุดเสียก่อน โดยในการทดลองนี้เลือกใช้ ดาต้าล๊อกเกอร์ รุ่น LI-1400 ซึ่งต้องใช้หัววัดแสงจำนวน 3 ตัว ทำการทดสอบโดยการวัดค่าแสงเปรียบเทียบกัน ในเวลาและสถานที่เดียวกัน เพื่อให้สามารถนำค่าแสงที่วัดได้มาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลการทดลองและสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

ภาพที่ 68 แสดงหัววัดแสงที่ใช้ในการทดสอบ

**ผลการทดลอง**

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการทดสอบหัววัดแสงทำการทดลองวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2548

| เดือน/วัน/ค.ศ. เวลา | หัวทดลอง | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1/9/2005 14:15 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0011 | 0.0009 |
| 1/9/2005 14:20 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0012 | 0.0009 |
| 1/9/2005 14:25 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0011 | 0.0010 |
| 1/9/2005 14:30 | 0.0009 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0012 | 0.0010 |
| 1/9/2005 14:35 | 0.0009 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0012 | 0.0010 |
| 1/9/2005 14:40 | 0.0009 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0012 | 0.0010 |
| 1/9/2005 14:45 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0012 | 0.0010 |
| **เฉลี่ย** | 0.0008 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0012 | 0.0010 |




แผนภูมิที่ 7 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการทดสอบหัววัดแสงทำการทดลองวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2548

จากการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ในแต่ละหัวมีความเข้มแสงไม่เท่ากันโดยเฉลี่ย ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| หัวที่ 1 ความเข้มแสงเฉลี่ย | 0.0008 | กิโลลักซ์ |
| หัวที่ 2 ความเข้มแสงเฉลี่ย | 0.0008 | กิโลลักซ์ |
| หัวที่ 3 ความเข้มแสงเฉลี่ย | 0.0007 | กิโลลักซ์ |
| หัวที่ 4 ความเข้มแสงเฉลี่ย | 0.0012 | กิโลลักซ์ |
| หัวที่ 5 ความเข้มแสงเฉลี่ย | 0.0010 | กิโลลักซ์ |

**ซึ่งจากค่าดังกล่าวจะพบว่า หัวที่ 1,2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน จึงนำหัววัดแสงที่ 1,2 และ 3 มาใช้ในการวัดแสงในการทดลองวัดค่าความสว่างภายในกล่องทดลองในหัวข้อต่างๆต่อไป**

### 4.2.2. ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางการหันท่อนำแสง ต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง

ทำการวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางของท่อนำแสง ที่มีความเหมาะสมต่อการทดลอง และการนำไปใช้สำหรับงานจริง เปรียบเทียบการรับแสงของท่อนำแสงในทิศทางต่างๆกัน โดย**ใช้ท่อนำแสงทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ท่อยาว 120 เซนติเมตร (4 ฟุต) และทำการวัดแสงโดยใช้ลักซ์มิเตอร์ รุ่น Testo 545 โดยทำการวัดแสงในทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก** โดยทำการเก็บค่าปริมาณแสงทุก 30 นาที วัดแสงที่บริเวณช่องแสงในกล่องทดลองเนื่องจากข้อจำกัดด้านความยาวของสายเครื่องมือลักซ์มิเตอร์ รุ่น Testo 545

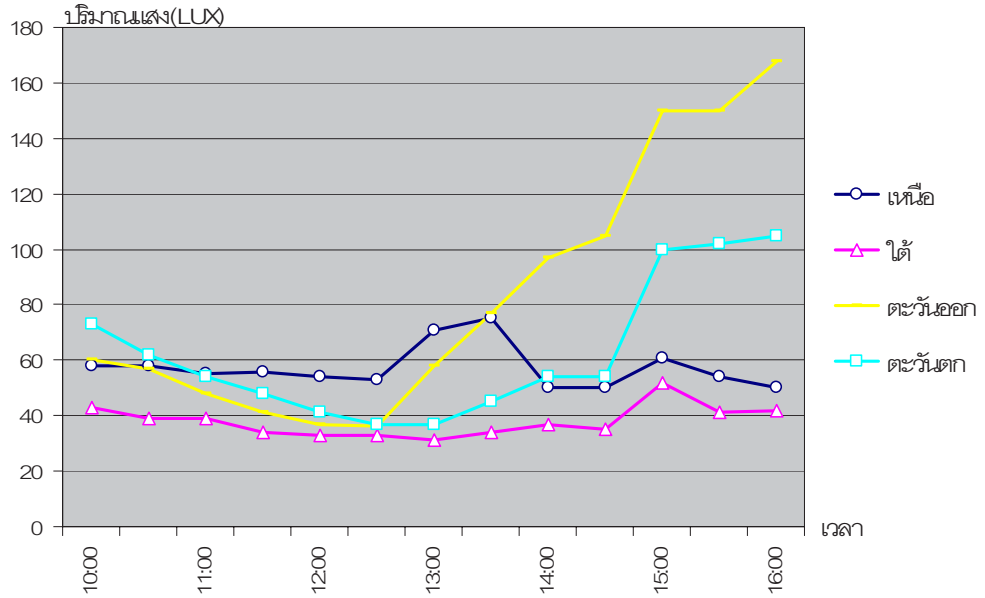
ภาพที่ 69 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องทิศทางของการหันท่อนำแสง

**ผลการทดลอง**

**การทดลองในวันที่ 1**

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ทิศ (lux) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | เหนือ | ใต้ | ตะวันออก | ตะวันตก |
| 17/08/2548 | 10:00 | 58 | 43 | 60 | 73 |
| | 10:30 | 58 | 39 | 57 | 62 |
| | 11:00 | 55 | 39 | 48 | 54 |
| | 11:30 | 56 | 34 | 41 | 48 |
| | 12:00 | 54 | 33 | 37 | 41 |
| | 12:30 | 53 | 33 | 36 | 37 |
| | 13:00 | 71 | 31 | 58 | 37 |
| | 13:30 | 75 | 34 | 77 | 45 |
| | 14:00 | 50 | 37 | 97 | 54 |
| | 14:30 | 50 | 35 | 105 | 54 |
| | 15:00 | 61 | 52 | 150 | 100 |
| | 15:30 | 54 | 41 | 150 | 102 |
| | 16:00 | 50 | 42 | 168 | 105 |
| | **เฉลี่ย** | 57.3077 | 37.9231 | 83.3846 | 62.4615 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 8.24 | 5.74 | 46.6 | 24.8 |




กราฟที่ 8 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 57.31 | ลักซ์ |
| ทิศใต้ | 37.92 | ลักซ์ |
| ทิศตะวันออก | 83.38 | ลักซ์ |
| ทิศตะวันตก | 62.46 | ลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ทิศตะวันออก ปริมาณแสง 83.38 ลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ทิศใต้ ปริมาณแสง 37.92 ลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ทิศตะวันออก ในช่วงเวลา 16:00 น.ปริมาณแสง 168 ลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ทิศใต้ ในช่วงเวลา 13:00 น. ปริมาณแสง 31 ลักซ์

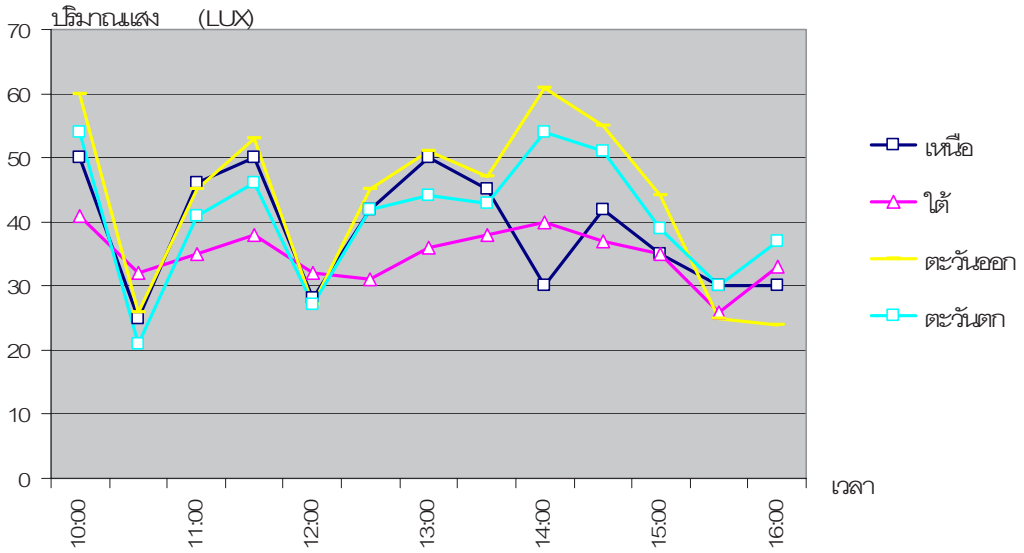
ทิศที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ทิศใต้ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.74

ทิศที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุดที่สุด คือ ทิศตะวันออก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 46.6

**การทดลองในวันที่ 2**

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ทิศ (lux) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | เหนือ | ใต้ | ตะวันออก | ตะวันตก |
| 19/08/2548 | 10:00 | 50 | 41 | 60 | 54 |
| | 10:30 | 25 | 32 | 26 | 21 |
| | 11:00 | 46 | 35 | 45 | 41 |
| | 11:30 | 50 | 38 | 53 | 46 |
| | 12:00 | 28 | 32 | 27 | 27 |
| | 12:30 | 42 | 31 | 45 | 42 |
| | 13:00 | 50 | 36 | 51 | 44 |
| | 13:30 | 45 | 38 | 47 | 43 |
| | 14:00 | 30 | 40 | 61 | 54 |
| | 14:30 | 42 | 37 | 55 | 51 |
| | 15:00 | 35 | 35 | 44 | 39 |
| | 15:30 | 30 | 26 | 25 | 30 |
| | 16:00 | 30 | 33 | 24 | 37 |
| | **เฉลี่ย** | 38.6923 | 34.9231 | 43.3077 | 40.6923 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 3.46 | 4.11 | 13.23 | 10.05 |




กราฟที่ 9 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 38.69 | ลักซ์ |
| ทิศใต้ | 34.92 | ลักซ์ |
| ทิศตะวันออก | 43.31 | ลักซ์ |
| ทิศตะวันตก | 40.69 | ลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ทิศตะวันออก ปริมาณแสง 43.31 ลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ทิศใต้ ปริมาณแสง 34.92 ลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ทิศตะวันออก ในช่วงเวลา 10:00 น.ปริมาณแสง 60 ลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ทิศตะวันตก ในช่วงเวลา 10:30น. ปริมาณแสง 21 ลักซ์

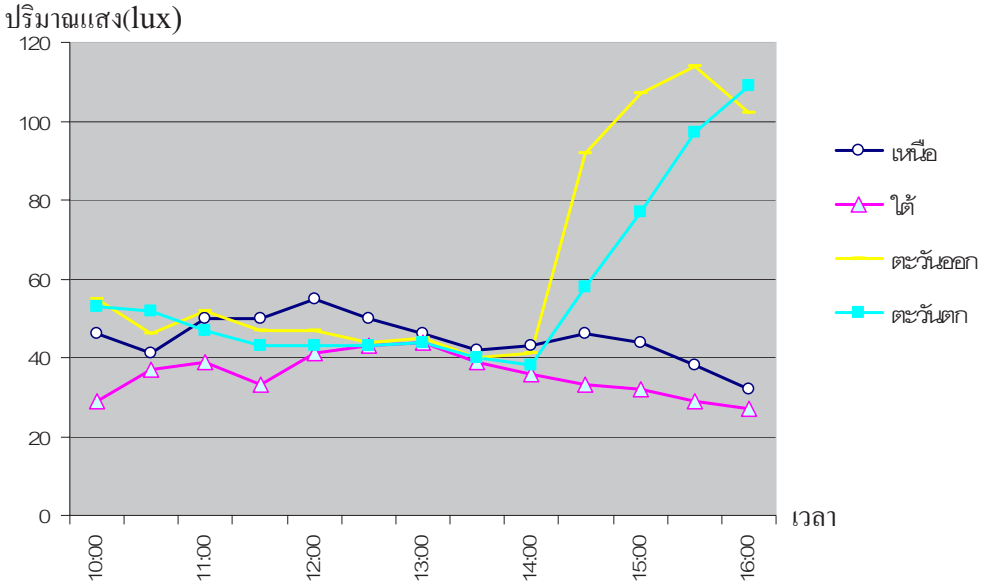
ทิศที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ทิศเหนือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.46

ทิศที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.23

**การทดลองในวันที่ 3**

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ทิศ (lux) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | เหนือ | ใต้ | ตะวันออก | ตะวันตก |
| 22/08/2548 | 10:00 | 46 | 29 | 55 | 53 |
| | 10:30 | 41 | 37 | 46 | 52 |
| | 11:00 | 50 | 39 | 52 | 47 |
| | 11:30 | 50 | 33 | 47 | 43 |
| | 12:00 | 55 | 41 | 47 | 43 |
| | 12:30 | 50 | 43 | 44 | 43 |
| | 13:00 | 46 | 44 | 45 | 44 |
| | 13:30 | 42 | 39 | 40 | 40 |
| | 14:00 | 43 | 36 | 41 | 38 |
| | 14:30 | 46 | 33 | 92 | 58 |
| | 15:00 | 44 | 32 | 107 | 77 |
| | 15:30 | 38 | 29 | 114 | 97 |
| | 16:00 | 32 | 27 | 102 | 109 |
| | **เฉลี่ย** | 44.8462 | 35.5385 | 64.0000 | 57.2308 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 5.94 | 5.53 | 28.24 | 22.83 |




กราฟที่ 10 แสดงปริมาณแสง ( ลักซ์ ) จากการหันท่อนำแสงเพื่อรับแสงในทิศทางต่างๆทำการทดลองวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 44.84 | ลักซ์ |
| ทิศใต้ | 35.54 | ลักซ์ |
| ทิศตะวันออก | 64.00 | ลักซ์ |
| ทิศตะวันตก | 57.23 | ลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ทิศตะวันออก ปริมาณแสง 64.00 ลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ทิศใต้ ปริมาณแสง 35.54 ลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ทิศตะวันออก ในช่วงเวลา 15:30 น.ปริมาณแสง 114 ลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ทิศใต้ ในช่วงเวลา 16:00 น. ปริมาณแสง 27 ลักซ์

ทิศที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ทิศใต้ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.53

ทิศที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุดคือ ทิศตะวันออก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 28.24

### 4.2.3. ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของรูปแบบหน้าตัดท่อนำแสงต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง

ทำการทดสอบ และวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบ และรูปทรงของท่อนำแสงที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และมีประสิทธิภาพในการนำพาแสงสูง เพื่อให้สามารถนำพาแสงไปได้ไกลที่สุด มีการสูญเสียน้อยที่สุด ทดสอบภายใต้สภาวะท้องฟ้าจริง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ท่อนำแสงทำด้วยอลูมิเนียมแผ่นเรียบ เงา มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 95% จำนวน 3 รูปแบบ ทำการทดสอบโดยใช้วัน เวลา อุปกรณ์ เครื่องมือวัดแสง (ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400) และสถานที่เดียวกัน

การเปรียบเทียบรูปแบบ รูปทรงของท่อนำแสง มีรายละเอียดดังนี้

รูปแบบที่ 1 แบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่มีหน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงเข้า และพื้นที่หน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงออกเท่ากัน ต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อกลมโค้ง ท่อยาว 120 เซนติเมตร

ภาพที่ 70 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมทรงกระบอก

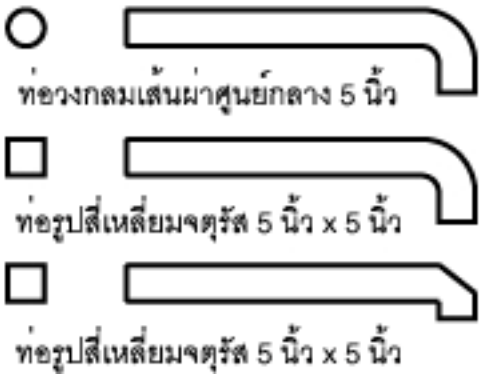
รูปแบบที่ 2 แบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ที่มีหน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงเข้า และพื้นที่หน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงออกเท่ากัน ต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อโค้ง ท่อยาว 120 เซนติเมตร

ภาพที่ 71 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัสต่อกับกล่องลองด้วยท่อโค้ง

รูปแบบที่ 3 แบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ที่มีหน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงเข้า และพื้นที่หน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงออกเท่ากัน ต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อปลายตัด ท่อยาว 120 เซนติเมตร

ภาพที่ 72 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัสต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อปลายตัด

โดยทำการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ทำการทดลองโดยหันท่อนำแสงไปในทิศเหนือ โดยทำการเก็บข้อมูลทุก 15 นาที เป็นเวลา 3 วัน




ภาพที่ 73 แสดงการเปรียบเทียบท่อในรูปแบบต่างๆ

**ผลการทดลอง**

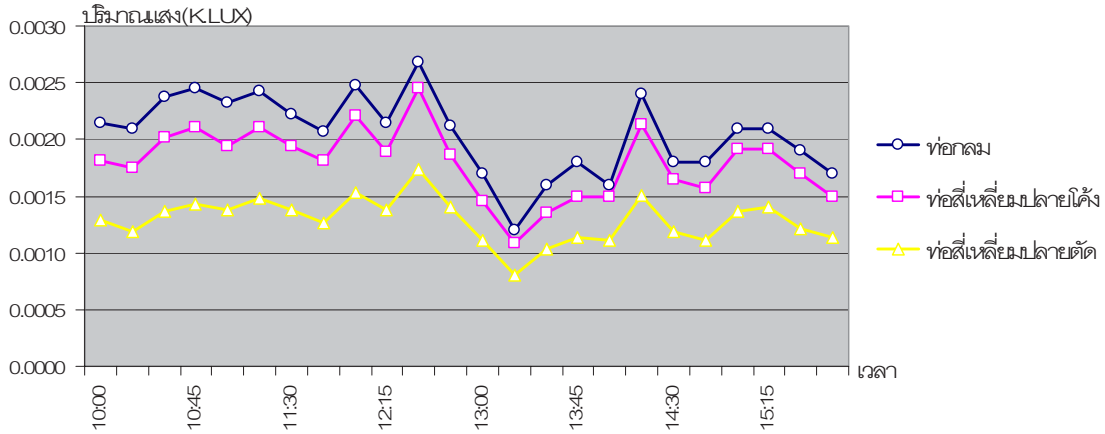
**การทดลองในวันที่** 1

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆ ทำการทดลอง วันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | รูปแบบท่อ(k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ท่อกลม | ท่อสี่เหลี่ยมปลายโค้ง | ท่อสี่เหลี่ยมปลายตัด | |
| 15/09/2548 | 10:00 | 0.0021 | 0.0018 | 0.0013 | 80.8840 |
| | 10:15 | 0.0021 | 0.0017 | 0.0012 | 76.7740 |
| | 10:30 | 0.0024 | 0.0020 | 0.0014 | 96.2860 |
| | 10:45 | 0.0024 | 0.0021 | 0.0014 | 109.4000 |
| | 11:00 | 0.0023 | 0.0019 | 0.0014 | 113.6100 |
| | 11:15 | 0.0024 | 0.0021 | 0.0015 | 100.4000 |
| | 11:30 | 0.0022 | 0.0019 | 0.0014 | 66.1590 |
| | 11:45 | 0.0021 | 0.0018 | 0.0013 | 42.4640 |
| | 12:00 | 0.0025 | 0.0022 | 0.0015 | 82.2890 |
| | 12:15 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0014 | 45.2600 |

ตารางที่ 9 (ต่อ)

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | รูปแบบท่อ(k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ท่อกลม | ท่อสี่เหลี่ยมปลายโค้ง | ท่อสี่เหลี่ยมปลายตัด | |
| 15/09/2548 | 12:30 | 0.0027 | 0.0025 | 0.0017 | 61.6060 |
| | 12:45 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0014 | 43.6660 |
| | 13:00 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0011 | 46.4990 |
| | 13:15 | 0.0012 | 0.0011 | 0.0008 | 26.0630 |
| | 13:30 | 0.0016 | 0.0014 | 0.0010 | 32.9990 |
| | 13:45 | 0.0018 | 0.0015 | 0.0011 | 33.7350 |
| | 14:00 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0011 | 35.5590 |
| | 14:15 | 0.0024 | 0.0021 | 0.0015 | 70.2440 |
| | 14:30 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0012 | 51.6010 |
| | 14:45 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0011 | 47.5630 |
| | 15:00 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0014 | 90.4320 |
| | 15:15 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0014 | 87.8830 |
| | 15:30 | 0.0019 | 0.0017 | 0.0012 | 58.6410 |
| | 15:45 | 0.0017 | 0.0015 | 0.0011 | 54.4520 |
| | 16:00 | 0.0014 | 0.0012 | 0.0009 | 46.9020 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0020 | 0.0018 | 0.0013 | 64.0548 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.00037 | 0.00034 | 0.00021 | |




กราฟที่ 11 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆทำการทดลองวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อกลม | 0.0020 | กิโลลักซ์ |
| ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อโค้ง | 0.0018 | กิโลลักซ์ |
| ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด | 0.0013 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 64.054 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อกลม ปริมาณแสง 0.0020 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด ปริมาณแสง 0.0013 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อกลม ในช่วงเวลา 12:30 น.ปริมาณแสง 0.0027 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัดในช่วงเวลา 13:30 น. ปริมาณแสง 00.0008 กิโลลักซ์

ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00021

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อกลม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00037

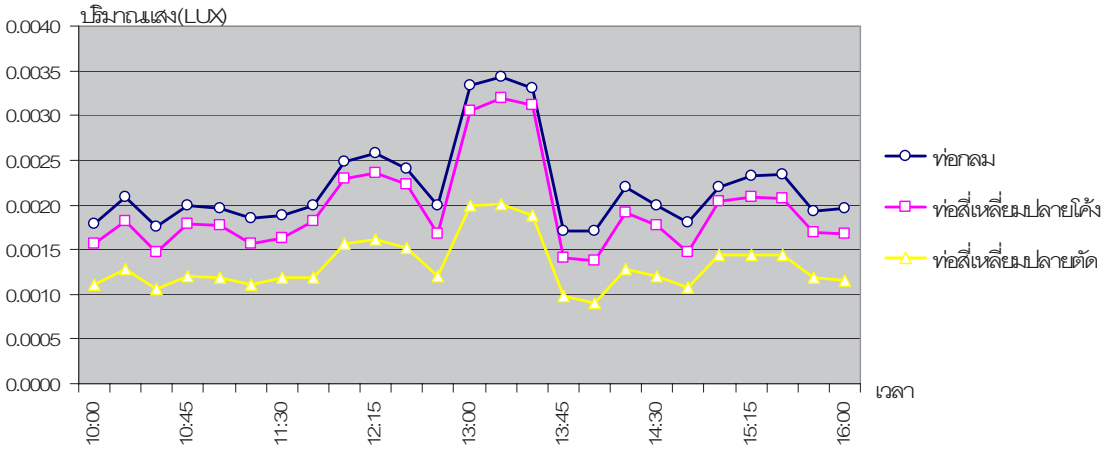
**การทดลองในวันที่** 2

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆทำการทดลองวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | รูปแบบท่อ(K.LUX) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ท่อกลม | ท่อสี่เหลี่ยมปลายโค้ง | ท่อสี่เหลี่ยมปลายตัด | |
| 16/09/2548 | 10:00 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0011 | 101.2800 |
| | 10:15 | 0.0021 | 0.0018 | 0.0013 | 112.1800 |
| | 10:30 | 0.0018 | 0.0015 | 0.0011 | 42.2690 |
| | 10:45 | 0.0020 | 0.0018 | 0.0012 | 108.4400 |
| | 11:00 | 0.0020 | 0.0018 | 0.0012 | 110.5200 |
| | 11:15 | 0.0019 | 0.0016 | 0.0011 | 42.1750 |
| | 11:30 | 0.0019 | 0.0016 | 0.0012 | 47.2740 |
| | 11:45 | 0.0020 | 0.0018 | 0.0012 | 44.3520 |
| | 12:00 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0016 | 133.5400 |
| | 12:15 | 0.0026 | 0.0024 | 0.0016 | 127.3200 |
| | 12:30 | 0.0024 | 0.0022 | 0.0015 | 126.0000 |

ตารางที่ 10 (ต่อ)

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | รูปแบบท่อ(K.LUX) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ท่อกลม | ท่อสี่เหลี่ยมปลายโค้ง | ท่อสี่เหลี่ยมปลายตัด | |
| 16/09/2548 | 12:45 | 0.0020 | 0.0017 | 0.0012 | 43.2420 |
| | 13:00 | 0.0033 | 0.0030 | 0.0020 | 127.9200 |
| | 13:15 | 0.0034 | 0.0032 | 0.0020 | 127.5300 |
| | 13:30 | 0.0033 | 0.0031 | 0.0019 | 120.6600 |
| | 13:45 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0010 | 35.3980 |
| | 14:00 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0009 | 36.6990 |
| | 14:15 | 0.0022 | 0.0019 | 0.0013 | 103.8600 |
| | 14:30 | 0.0020 | 0.0018 | 0.0012 | 89.4960 |
| | 14:45 | 0.0018 | 0.0015 | 0.0011 | 70.2180 |
| | 15:00 | 0.0022 | 0.0020 | 0.0014 | 93.6060 |
| | 15:15 | 0.0023 | 0.0021 | 0.0014 | 87.8830 |
| | 15:30 | 0.0023 | 0.0021 | 0.0014 | 71.6750 |
| | 15:45 | 0.0019 | 0.0017 | 0.0012 | 45.9000 |
| | 16:00 | 0.0020 | 0.0017 | 0.0012 | 35.3790 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0022 | 0.0020 | 0.0013 | 83.3926 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.00048 | 0.00051 | 0.00029 | |




กราฟที่ 12 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆทำการทดลองวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อกลม | 0.0022 | กิโลลักซ์ |
| ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อโค้ง | 0.0020 | กิโลลักซ์ |
| ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด | 0.0013 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 83.393 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อกลม ปริมาณแสง 0.0022 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด ปริมาณแสง 0.0013 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อกลม ในช่วงเวลา 13:15 น. ปริมาณแสง 0.0034 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัดในช่วงเวลา 13:30 น. ปริมาณแสง 00.0010 กิโลลักซ์

ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00029

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบโค้ง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00051

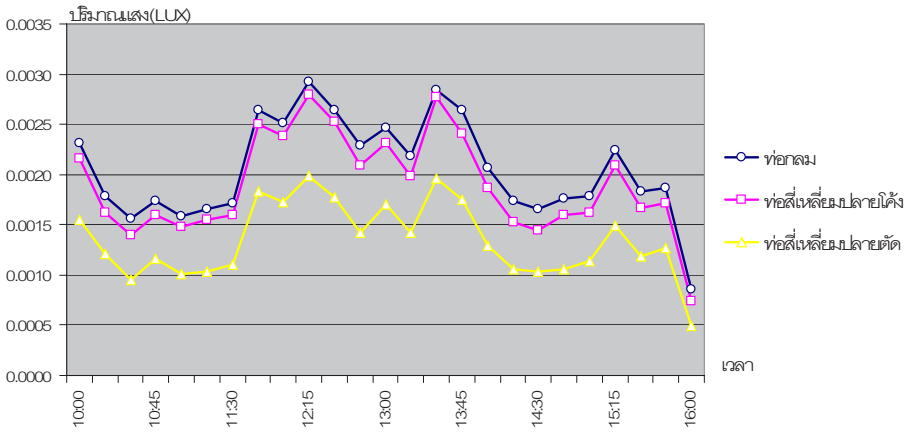
**การทดลองในวันที่** 3

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆทำการทดลองวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | รูปแบบท่อ(K.LUX) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ท่อกลม | ท่อสี่เหลี่ยมปลายโค้ง | ท่อสี่เหลี่ยมปลายตัด | |
| 19/09/2548 | 10:00 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0015 | 12.7090 |
| | 10:15 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0012 | 33.8450 |
| | 10:30 | 0.0016 | 0.0014 | 0.0010 | 27.9700 |
| | 10:45 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0012 | 42.4640 |
| | 11:00 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0010 | 34.3130 |
| | 11:15 | 0.0017 | 0.0015 | 0.0010 | 37.0190 |
| | 11:30 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0011 | 43.6500 |
| | 11:45 | 0.0026 | 0.0025 | 0.0018 | 77.7630 |
| | 12:00 | 0.0025 | 0.0024 | 0.0017 | 64.7280 |
| | 12:15 | 0.0029 | 0.0028 | 0.0020 | 106.9300 |
| | 12:30 | 0.0026 | 0.0025 | 0.0018 | 82.2110 |

ตารางที่ 11 (ต่อ)

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | รูปแบบท่อ(K.LUX) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ท่อกลม | ท่อสี่เหลี่ยมปลายโค้ง | ท่อสี่เหลี่ยมปลายตัด | |
| 19/09/2548 | 12:45 | 0.0023 | 0.0021 | 0.0014 | 51.4940 |
| | 13:00 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0017 | 55.9350 |
| | 13:15 | 0.0022 | 0.0020 | 0.0014 | 35.9750 |
| | 13:30 | 0.0028 | 0.0028 | 0.0020 | 98.8100 |
| | 13:45 | 0.0026 | 0.0024 | 0.0018 | 107.5500 |
| | 14:00 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0013 | 34.6820 |
| | 14:15 | 0.0017 | 0.0015 | 0.0011 | 28.3970 |
| | 14:30 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0010 | 18.2090 |
| | 14:45 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0011 | 35.1400 |
| | 15:00 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0011 | 37.0160 |
| | 15:15 | 0.0022 | 0.0021 | 0.0015 | 76.4620 |
| | 15:30 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0012 | 38.9050 |
| | 15:45 | 0.0019 | 0.0017 | 0.0013 | 53.4890 |
| | 16:00 | 0.0009 | 0.0007 | 0.0005 | 14.3090 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0021 | 0.0019 | 0.0013 | 49.9990 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.00048 | 0.00051 | 0.00037 | |




กราฟที่ 13 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในรูปแบบต่างๆทำการทดลองวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อกลม | 0.0021 | กิโลลักซ์ |
| ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อโค้ง | 0.0019 | กิโลลักซ์ |
| ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด | 0.0013 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 49.999 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อกลม ปริมาณแสง 0.0021 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด ปริมาณแสง 0.0013 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อกลม ในช่วงเวลา 12:15 น. ปริมาณแสง 0.0029 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัดในช่วงเวลา 16:00น. ปริมาณแสง 00.0005 กิโลลักซ์

ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบตัด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00037

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อสี่เหลี่ยมข้อต่อแบบโค้ง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00051

### 4.2.4. ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของ ระยะทางความยาวท่อนำแสง ต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง

ทำการทดสอบ และวิเคราะห์เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปร ความยาวของท่อนำแสงต่อประสิทธิภาพในการนำพาแสง เปรียบเทียบจากท่อที่มีความยาวต่างกัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ท่อนำแสงทำด้วยอลูมิเนียมแผ่นเรียบ เงา มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 95% จำนวน 3 รูปแบบ ทำการทดสอบโดยใช้วัน เวลา อุปกรณ์ เครื่องมือวัดแสง (ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400) และสถานที่เดียวกัน

ท่อนำแสงที่ 1 ท่อนำแสงหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวท่อ 60 เซนติเมตร

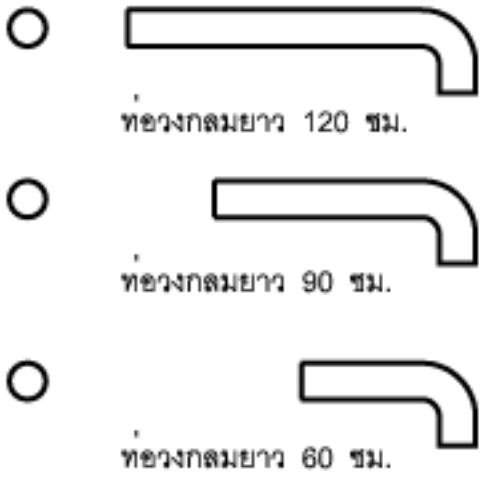
ภาพที่ 74 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงกระบอก ความยาว 60 เซนติเมตร

ท่อนำแสงที่ 2 ท่อนำแสงหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวท่อ 90 เซนติเมตร

ภาพที่ 75 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงกระบอก ความยาว 90 เซนติเมตร

ท่อนำแสงที่ 3 ท่อนำแสงหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวท่อ 120 เซนติเมตร

ภาพที่ 76 แสดงท่อนำแสงแบบรูปทรงกระบอก ความยาว 120 เซนติเมตร




ภาพที่ 77 แสดงการเปรียบเทียบท่อความยาวต่างๆ

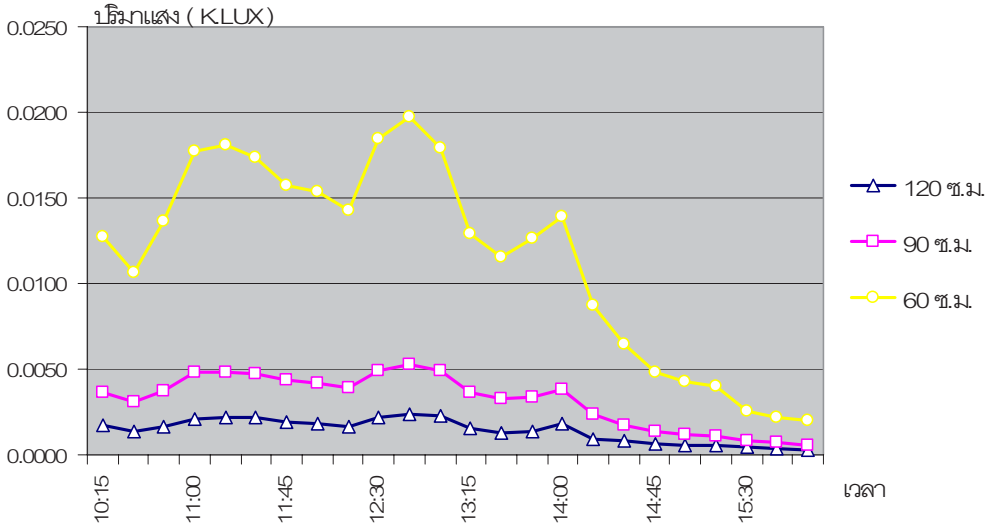
โดยทำการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ทำการทดลองโดยหันท่อนำแสงไปในทิศเหนือ โดยทำการเก็บข้อมูลทุก 15 นาที เป็นเวลา 3 วัน

**ผลการทดลอง**

**การทดลองในวันที่** 1

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆทำการทดลองวันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ความยาวท่อ (k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 120 ซ.ม. | 90 ซ.ม. | 60 ซ.ม. | |
| 17/10/2548 | 10:15 | 0.0017 | 0.0036 | 0.0127 | 93.9450 |
| | 10:30 | 0.0014 | 0.0031 | 0.0107 | 39.8750 |
| | 10:45 | 0.0016 | 0.0037 | 0.0136 | 86.8940 |
| | 11:00 | 0.0021 | 0.0048 | 0.0177 | 101.8300 |
| | 11:15 | 0.0022 | 0.0048 | 0.0181 | 118.0600 |
| | 11:30 | 0.0022 | 0.0047 | 0.0174 | 113.8000 |
| | 11:45 | 0.0019 | 0.0043 | 0.0157 | 85.2030 |
| | 12:00 | 0.0018 | 0.0042 | 0.0154 | 54.0880 |
| | 12:15 | 0.0016 | 0.0039 | 0.0143 | 36.0660 |
| | 12:30 | 0.0022 | 0.0049 | 0.0185 | 101.6500 |
| | 12:45 | 0.0024 | 0.0053 | 0.0198 | 106.7400 |
| | 13:00 | 0.0023 | 0.0049 | 0.0179 | 107.6600 |
| | 13:15 | 0.0015 | 0.0036 | 0.0129 | 38.2360 |
| | 13:30 | 0.0013 | 0.0033 | 0.0115 | 17.6620 |
| | 13:45 | 0.0014 | 0.0033 | 0.0127 | 24.6400 |
| | 14:00 | 0.0018 | 0.0038 | 0.0139 | 73.7040 |
| | 14:15 | 0.0010 | 0.0023 | 0.0087 | 16.6040 |
| | 14:30 | 0.0008 | 0.0017 | 0.0064 | 20.1420 |
| | 14:45 | 0.0006 | 0.0014 | 0.0049 | 8.1405 |
| | 15:00 | 0.0005 | 0.0012 | 0.0042 | 12.6910 |
| | 15:15 | 0.0005 | 0.0011 | 0.0040 | 11.8610 |
| | 15:30 | 0.0004 | 0.0008 | 0.0026 | 3.8572 |
| | 15:45 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0022 | 3.0923 |
| | 16:00 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0020 | 2.6630 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0014 | 0.0032 | 0.0116 | 53.2960 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0007 | 0.0015 | 0.0058 | |




กราฟที่ 14 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆทำการทดลองวันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อยาว 120 ซม. | 0.0014 | กิโลลักซ์ |
| ท่อยาว 90 ซม. | 0.0032 | กิโลลักซ์ |
| ท่อยาว 60 ซม. | 0.0116 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 53.2960 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อยาว 60 ซม. ปริมาณแสง 0.0116 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อยาว 120 ซม.ปริมาณแสง 0.0014 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อยาว 60 ซม.ในช่วงเวลา 12:45 น.

ปริมาณแสง 0.0198 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อยาว 120 ซม.ในช่วงเวลา 15:45 น.และ 16:00 น.

ปริมาณแสง 0.0003 กิโลลักซ์

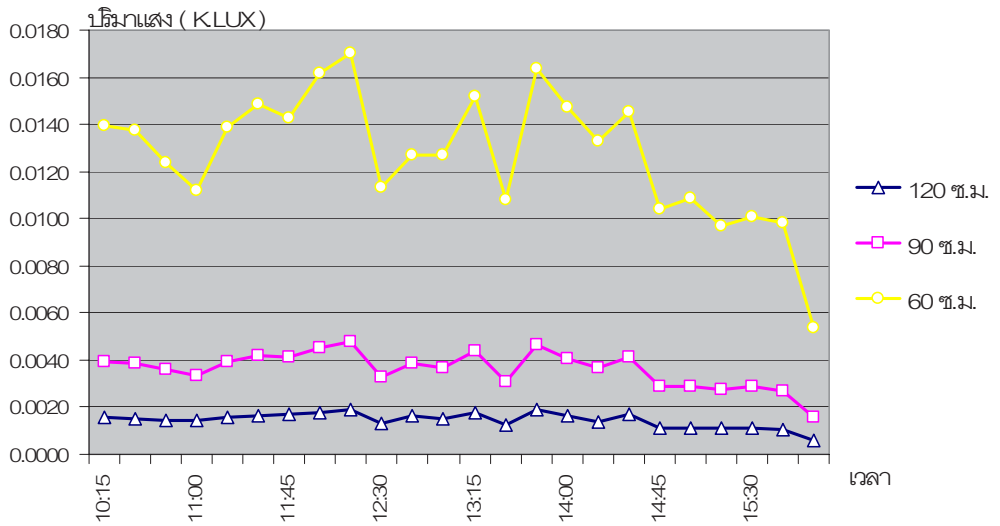
ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อยาว 120 ซม.ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0007

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ ท่อยาว 60 ซม.ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0058

**การทดลองในวันที่ 2**

ตารางที่ 13 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆทำการทดลองวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ความยาวท่อ (k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 120 ซ.ม. | 90 ซ.ม. | 60 ซ.ม. | |
| 18/10/2548 | 10:15 | 0.0015 | 0.0039 | 0.0139 | 78.0490 |
| | 10:30 | 0.0015 | 0.0039 | 0.0137 | 32.6060 |
| | 10:45 | 0.0014 | 0.0036 | 0.0124 | 38.0590 |
| | 11:00 | 0.0014 | 0.0034 | 0.0112 | 37.7340 |
| | 11:15 | 0.0016 | 0.0039 | 0.0139 | 87.3890 |
| | 11:30 | 0.0017 | 0.0042 | 0.0149 | 101.2000 |
| | 11:45 | 0.0017 | 0.0041 | 0.0143 | 94.3610 |
| | 12:00 | 0.0018 | 0.0045 | 0.0162 | 97.6650 |
| | 12:15 | 0.0019 | 0.0048 | 0.0170 | 102.4500 |
| | 12:30 | 0.0013 | 0.0033 | 0.0114 | 32.9160 |
| | 12:45 | 0.0016 | 0.0038 | 0.0127 | 44.9770 |
| | 13:00 | 0.0015 | 0.0037 | 0.0127 | 56.3770 |
| | 13:15 | 0.0018 | 0.0044 | 0.0152 | 79.4280 |
| | 13:30 | 0.0013 | 0.0031 | 0.0108 | 38.1680 |
| | 13:45 | 0.0019 | 0.0047 | 0.0163 | 85.1510 |
| | 14:00 | 0.0016 | 0.0041 | 0.0148 | 76.0450 |
| | 14:15 | 0.0014 | 0.0036 | 0.0133 | 39.1620 |
| | 14:30 | 0.0017 | 0.0041 | 0.0146 | 75.0310 |
| | 14:45 | 0.0011 | 0.0029 | 0.0104 | 12.4070 |
| | 15:00 | 0.0011 | 0.0029 | 0.0109 | 22.2930 |
| | 15:15 | 0.0011 | 0.0027 | 0.0097 | 23.5340 |
| | 15:30 | 0.0011 | 0.0028 | 0.0101 | 20.1440 |
| | 15:45 | 0.0011 | 0.0027 | 0.0098 | 21.3780 |
| | 16:00 | 0.0006 | 0.0015 | 0.0053 | 5.4317 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0014 | 0.0036 | 0.0127 | 54.2482 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0003 | 0.0008 | 0.0027 | |




กราฟที่ 15 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆทำการทดลองวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อยาว 120 ซม. | 0.0014 | กิโลลักซ์ |
| ท่อยาว 90 ซม. | 0.0036 | กิโลลักซ์ |
| ท่อยาว 60 ซม. | 0.0127 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 54.2482 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อยาว 60 ซม. ปริมาณแสง 0.0127 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อยาว 120 ซม.ปริมาณแสง 0.0014 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อยาว 60 ซม.ในช่วงเวลา 12:15 น.

ปริมาณแสง 0.0170 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อยาว 120 ซม.ในช่วงเวลา16:00 น.

ปริมาณแสง 0.0006 กิโลลักซ์

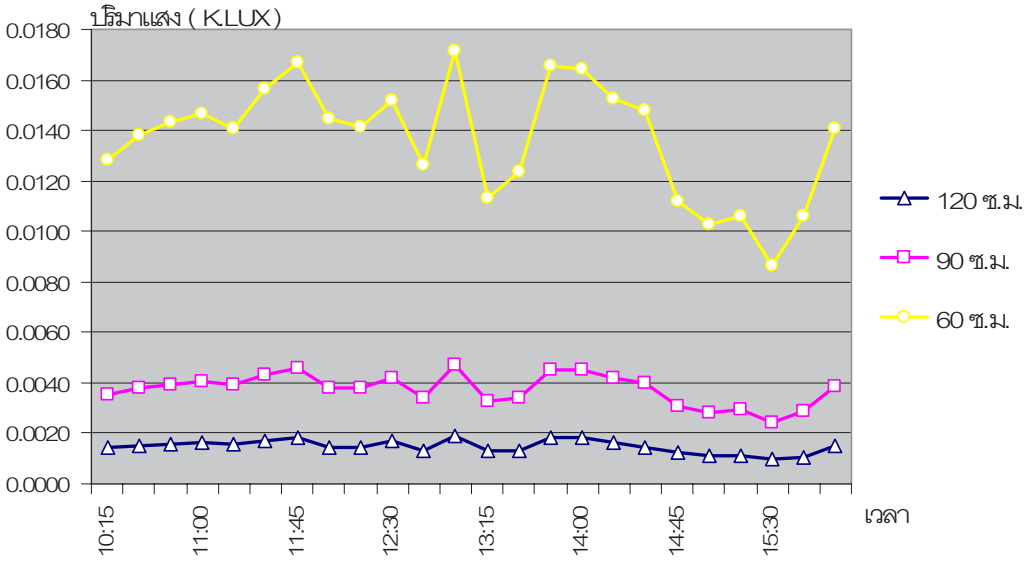
ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อยาว 120 ซม.ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0003

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ ท่อยาว 60 ซม.ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0027

**การทดลองในวันที่** 3

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆทำการทดลองวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ความยาวท่อ (k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 120 ซ.ม. | 90 ซ.ม. | 60 ซ.ม. | |
| 19/10/2548 | 10:15 | 0.0014 | 0.0035 | 0.0128 | 69.9840 |
| | 10:30 | 0.0015 | 0.0038 | 0.0138 | 74.2500 |
| | 10:45 | 0.0016 | 0.0040 | 0.0143 | 82.0550 |
| | 11:00 | 0.0016 | 0.0041 | 0.0147 | 84.4490 |
| | 11:15 | 0.0016 | 0.0040 | 0.0141 | 78.7250 |
| | 11:30 | 0.0017 | 0.0043 | 0.0156 | 89.5220 |
| | 11:45 | 0.0018 | 0.0046 | 0.0167 | 93.2420 |
| | 12:00 | 0.0014 | 0.0038 | 0.0145 | 79.2450 |
| | 12:15 | 0.0014 | 0.0038 | 0.0141 | 69.4890 |
| | 12:30 | 0.0017 | 0.0042 | 0.0152 | 45.3800 |
| | 12:45 | 0.0013 | 0.0034 | 0.0126 | 31.5920 |
| | 13:00 | 0.0019 | 0.0047 | 0.0171 | 91.3430 |
| | 13:15 | 0.0013 | 0.0033 | 0.0114 | 27.5980 |
| | 13:30 | 0.0013 | 0.0034 | 0.0124 | 35.3610 |
| | 13:45 | 0.0018 | 0.0045 | 0.0165 | 73.8080 |
| | 14:00 | 0.0019 | 0.0045 | 0.0164 | 70.4780 |
| | 14:15 | 0.0017 | 0.0042 | 0.0152 | 51.5250 |
| | 14:30 | 0.0015 | 0.0040 | 0.0148 | 39.0660 |
| | 14:45 | 0.0012 | 0.0031 | 0.0112 | 32.9650 |
| | 15:00 | 0.0011 | 0.0028 | 0.0103 | 17.0480 |
| | 15:15 | 0.0011 | 0.0029 | 0.0106 | 22.5690 |
| | 15:30 | 0.0010 | 0.0024 | 0.0086 | 14.5430 |
| | 15:45 | 0.0011 | 0.0028 | 0.0106 | 22.7850 |
| | 16:00 | 0.0015 | 0.0039 | 0.0141 | 51.6840 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0015 | 0.0038 | 0.0137 | 56.1961 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0003 | 0.0007 | 0.0022 | |




กราฟที่ 16 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในความยาวท่อต่างๆทำการทดลองวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อยาว 120 ซม. | 0.0015 | กิโลลักซ์ |
| ท่อยาว 90 ซม. | 0.0038 | กิโลลักซ์ |
| ท่อยาว 60 ซม. | 0.0137 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 56.1961 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อยาว 60 ซม. ปริมาณแสง 0.0137 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อยาว 120 ซม.ปริมาณแสง 0.0015 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อยาว 60 ซม.ในช่วงเวลา 13:00 น.

ปริมาณแสง 0.0171 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อยาว 120 ซม.ในช่วงเวลา15:00 น., 15:15 น.และ 15:45 น.

ปริมาณแสง 0.0011 กิโลลักซ์

ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อยาว 120 ซม.ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0003

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ ท่อยาว 60 ซม.ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0022

### 4.2.5. ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของ ขนาดท่อนำแสง ต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง

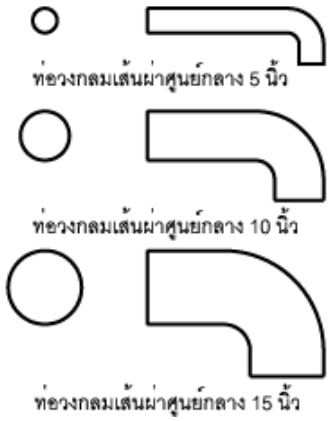
ทำการทดสอบ และวิเคราะห์เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปร ขนาดท่อนำแสงที่มีขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยทำการทดสอบที่ความยาวของท่อเท่ากันที่ 90 เซ็นติเมตร หรือ 3 ฟุต อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ท่อนำแสงทำด้วยอลูมิเนียมแผ่นเรียบ เงา มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 95% จำนวน 3 รูปแบบ ทำการทดสอบโดยใช้วัน เวลา อุปกรณ์ เครื่องมือวัดแสง (ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400) และสถานที่เดียวกันมีรายละเอียด ดังนี้

ขนาดท่อที่ 1 ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว

ขนาดท่อที่ 2 ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว

ขนาดท่อที่ 3 ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 นิ้ว

ภาพที่ 78 แสดงท่อนำแสงแบบท่อกลมที่ใช้ในการทดลองเรื่องขนาดท่อนำแสง




ภาพที่ 79แสดงการเปรียบเทียบท่อนำแสงขนาดต่างๆ

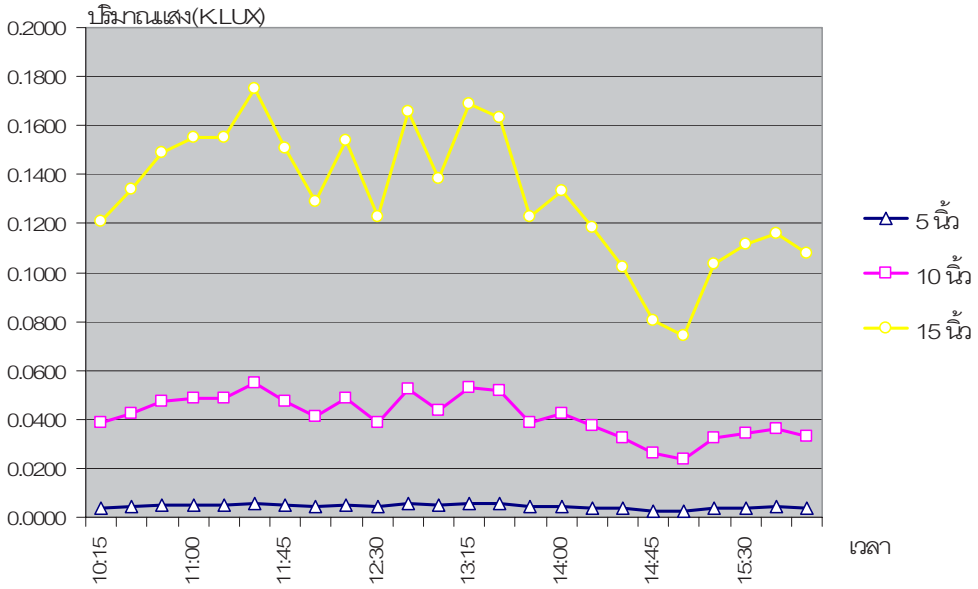
โดยทำการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ทำการทดลองโดยหันท่อนำแสงไปในทิศเหนือ โดยทำการเก็บข้อมูลทุก 15 นาที เป็นเวลา 3 วัน

**ผลการทดลอง**

**การทดลองในวันที่** 1

ตารางที่ 15 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆทำการทดลองวันที่ 1 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ขนาดท่อ (k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 นิ้ว | 10 นิ้ว | 15 นิ้ว | |
| 1/11/2548 | 10:15 | 0.0040 | 0.0384 | 0.1209 | 56.2210 |
| | 10:30 | 0.0045 | 0.0426 | 0.1338 | 67.8500 |
| | 10:45 | 0.0049 | 0.0471 | 0.1490 | 82.5500 |
| | 11:00 | 0.0051 | 0.0488 | 0.1553 | 85.6190 |
| | 11:15 | 0.0052 | 0.0484 | 0.1554 | 84.1630 |
| | 11:30 | 0.0059 | 0.0547 | 0.1749 | 90.5630 |
| | 11:45 | 0.0052 | 0.0476 | 0.1509 | 67.9540 |
| | 12:00 | 0.0046 | 0.0411 | 0.1288 | 48.5120 |
| | 12:15 | 0.0053 | 0.0485 | 0.1536 | 77.6580 |
| | 12:30 | 0.0043 | 0.0386 | 0.1225 | 45.0080 |
| | 12:45 | 0.0057 | 0.0523 | 0.1658 | 89.1580 |
| | 13:00 | 0.0048 | 0.0433 | 0.1381 | 58.3540 |
| | 13:15 | 0.0057 | 0.0531 | 0.1688 | 82.1070 |
| | 13:30 | 0.0055 | 0.0516 | 0.1635 | 70.0100 |
| | 13:45 | 0.0042 | 0.0388 | 0.1226 | 39.8100 |
| | 14:00 | 0.0045 | 0.0422 | 0.1336 | 50.4140 |
| | 14:15 | 0.0040 | 0.0375 | 0.1182 | 40.1480 |
| | 14:30 | 0.0034 | 0.0326 | 0.1021 | 34.6640 |
| | 14:45 | 0.0027 | 0.0260 | 0.0807 | 23.2870 |
| | 15:00 | 0.0025 | 0.0235 | 0.0740 | 21.1690 |
| | 15:15 | 0.0036 | 0.0323 | 0.1033 | 39.8200 |
| | 15:30 | 0.0039 | 0.0345 | 0.1115 | 26.5260 |
| | 15:45 | 0.0041 | 0.0358 | 0.1157 | 18.3440 |
| | 16:00 | 0.0038 | 0.0333 | 0.1075 | 16.7410 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0045 | 0.0414 | 0.1313 | 54.8604 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0009 | 0.0085 | 0.0273 | |




กราฟที่ 17 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆทำการทดลองวันที่ 1 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อ 5 นิ้ว | 0.0045 | กิโลลักซ์ |
| ท่อ 10 นิ้ว | 0.0414 | กิโลลักซ์ |
| ท่อ 15 นิ้ว | 0.1313 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 54.860 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อ 15 นิ้ว ปริมาณแสง 0.1313 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อ 5 นิ้ว ปริมาณแสง 0.0045 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อ 15 นิ้ว ในช่วงเวลา 11:30 น. ปริมาณแสง 0.1749 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อ 5 นิ้ว ในช่วงเวลา 15:00น. ปริมาณแสง 0.0025 กิโลลักซ์

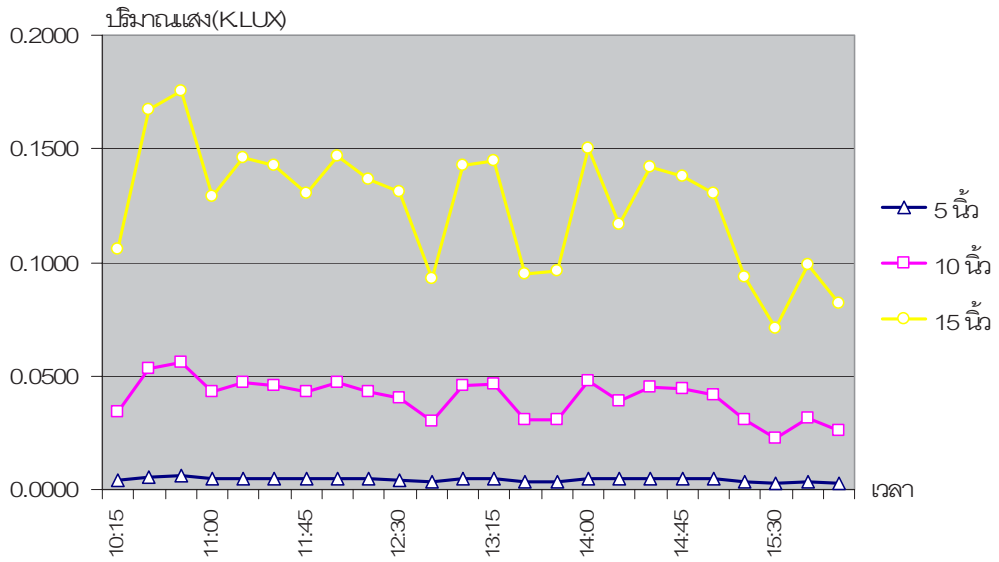
ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อ 5 นิ้ว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0009

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ 15 นิ้ว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0273

**การทดลองในวันที่** 2

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆทำการทดลองวันที่ 2 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ขนาดท่อ (k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 นิ้ว | 10 นิ้ว | 15 นิ้ว | |
| 2/11/2548 | 10:15 | 0.0038 | 0.0341 | 0.1058 | 40.0570 |
| | 10:30 | 0.0055 | 0.0534 | 0.1671 | 93.2420 |
| | 10:45 | 0.0059 | 0.0559 | 0.1755 | 102.1100 |
| | 11:00 | 0.0049 | 0.0428 | 0.1293 | 44.7530 |
| | 11:15 | 0.0050 | 0.0469 | 0.1460 | 99.5640 |
| | 11:30 | 0.0049 | 0.0458 | 0.1424 | 100.8400 |
| | 11:45 | 0.0047 | 0.0427 | 0.1303 | 75.1610 |
| | 12:00 | 0.0050 | 0.0473 | 0.1469 | 103.9100 |
| | 12:15 | 0.0050 | 0.0429 | 0.1363 | 94.5170 |
| | 12:30 | 0.0042 | 0.0403 | 0.1312 | 88.2470 |
| | 12:45 | 0.0035 | 0.0304 | 0.0929 | 27.5170 |
| | 13:00 | 0.0049 | 0.0458 | 0.1427 | 93.8670 |
| | 13:15 | 0.0050 | 0.0464 | 0.1449 | 92.7740 |
| | 13:30 | 0.0035 | 0.0306 | 0.0947 | 24.0230 |
| | 13:45 | 0.0035 | 0.0309 | 0.0960 | 27.7230 |
| | 14:00 | 0.0050 | 0.0477 | 0.1499 | 77.7370 |
| | 14:15 | 0.0045 | 0.0389 | 0.1166 | 34.0990 |
| | 14:30 | 0.0050 | 0.0453 | 0.1422 | 67.0440 |
| | 14:45 | 0.0049 | 0.0441 | 0.1382 | 65.6130 |
| | 15:00 | 0.0046 | 0.0414 | 0.1305 | 58.9530 |
| | 15:15 | 0.0036 | 0.0306 | 0.0938 | 28.4620 |
| | 15:30 | 0.0027 | 0.0226 | 0.0709 | 16.9420 |
| | 15:45 | 0.0035 | 0.0312 | 0.0988 | 21.2710 |
| | 16:00 | 0.0031 | 0.0260 | 0.0821 | 16.3510 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0044 | 0.0402 | 0.1252 | 62.2824 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0008 | 0.0087 | 0.0274 | |




กราฟที่ 18 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆทำการทดลองวันที่ 2 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อ 5 นิ้ว | 0.0044 | กิโลลักซ์ |
| ท่อ 10 นิ้ว | 0.0402 | กิโลลักซ์ |
| ท่อ 15 นิ้ว | 0.1252 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 62.282 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อ 15 นิ้ว ปริมาณแสง 0.1252 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อ 5 นิ้ว ปริมาณแสง 0.0044 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อ 15 นิ้ว ในช่วงเวลา 10:45 น. ปริมาณแสง 0.1755 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อ 5 นิ้ว ในช่วงเวลา 16:00น. ปริมาณแสง 0.0031 กิโลลักซ์

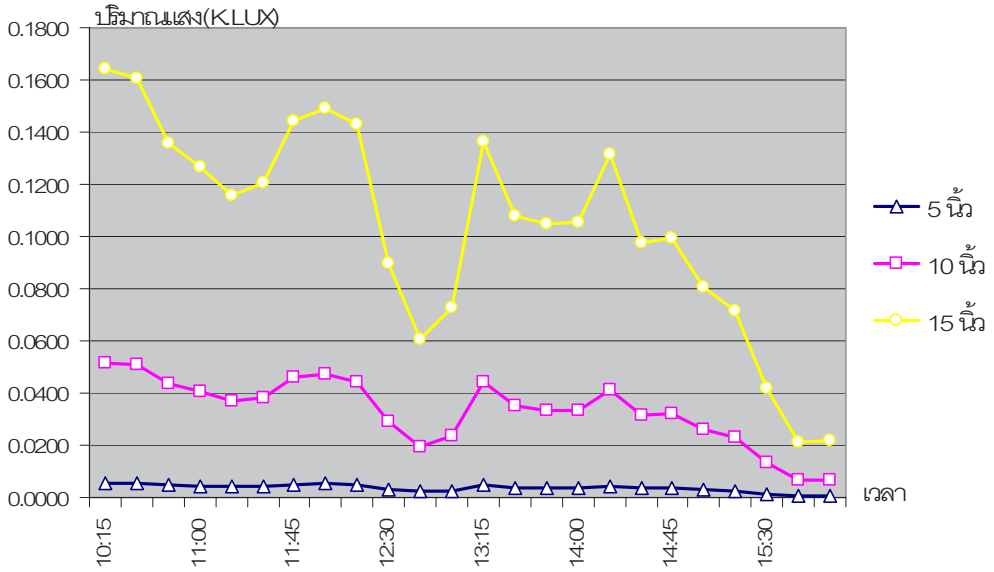
ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อ 5 นิ้ว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0008

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ 15 นิ้ว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0274

**ทดลองในวันที** 3

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆทำการทดลองวันที่ 7 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ขนาดท่อ (k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 นิ้ว | 10 นิ้ว | 15 นิ้ว | |
| 7/11/2548 | 10:15 | 0.0052 | 0.0516 | 0.1644 | 66.4450 |
| | 10:30 | 0.0054 | 0.0511 | 0.1607 | 79.4800 |
| | 10:45 | 0.0049 | 0.0437 | 0.1357 | 74.8750 |
| | 11:00 | 0.0044 | 0.0406 | 0.1266 | 89.4180 |
| | 11:15 | 0.0041 | 0.0368 | 0.1160 | 69.2290 |
| | 11:30 | 0.0041 | 0.0379 | 0.1205 | 91.8890 |
| | 11:45 | 0.0051 | 0.0458 | 0.1441 | 95.4280 |
| | 12:00 | 0.0052 | 0.0476 | 0.1488 | 83.4340 |
| | 12:15 | 0.0047 | 0.0442 | 0.1433 | 70.6340 |
| | 12:30 | 0.0033 | 0.0291 | 0.0895 | 21.3050 |
| | 12:45 | 0.0023 | 0.0192 | 0.0604 | 9.5402 |
| | 13:00 | 0.0026 | 0.0233 | 0.0725 | 22.8030 |
| | 13:15 | 0.0048 | 0.0442 | 0.1361 | 41.1470 |
| | 13:30 | 0.0038 | 0.0350 | 0.1077 | 24.5590 |
| | 13:45 | 0.0039 | 0.0336 | 0.1051 | 30.1450 |
| | 14:00 | 0.0036 | 0.0335 | 0.1056 | 25.4200 |
| | 14:15 | 0.0044 | 0.0415 | 0.1318 | 45.6010 |
| | 14:30 | 0.0034 | 0.0313 | 0.0976 | 29.3720 |
| | 14:45 | 0.0037 | 0.0323 | 0.0993 | 24.4400 |
| | 15:00 | 0.0028 | 0.0260 | 0.0808 | 17.2570 |
| | 15:15 | 0.0025 | 0.0233 | 0.0714 | 10.9320 |
| | 15:30 | 0.0014 | 0.0133 | 0.0421 | 6.1172 |
| | 15:45 | 0.0007 | 0.0066 | 0.0209 | 5.6364 |
| | 16:00 | 0.0008 | 0.0069 | 0.0218 | 6.2007 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0036 | 0.0333 | 0.1043 | 43.3878 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0012 | 0.0123 | 0.0405 | |




กราฟที่ 19 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในขนาดต่างๆทำการทดลองวันที่ 7 พฤษจิกายน พ.ศ. 2548

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| ท่อ 5 นิ้ว | 0.0036 | กิโลลักซ์ |
| ท่อ 10 นิ้ว | 0.0333 | กิโลลักซ์ |
| ท่อ 15 นิ้ว | 0.1043 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 43.387 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ท่อ 15 นิ้ว ปริมาณแสง 0.1043 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ท่อ 5 นิ้ว ปริมาณแสง 0.0036 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อ 15 นิ้ว ในช่วงเวลา 10:15 น. ปริมาณแสง 0.1644 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ ท่อ 5 นิ้ว ในช่วงเวลา 15:45 น. ปริมาณแสง 0.0007 กิโลลักซ์

ทิศที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ ท่อ 5 นิ้ว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0012

ทิศที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ 15 นิ้ว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0405

**4.2.6. ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างจากจุดวัดแสงถึงปลายท่อนำแสงภายในกล่องทดลอง ต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง**

ทำการทดสอบ และวิเคราะห์เพื่อหอิทธิพลของตัวแปร ระยะห่างจากจุดวัดแสงถึงปลายท่อนำแสงภายในกล่องทดลอง ต่อประสิทธิภาพการนำพาแสง เปรียบเทียบจากตำแหน่งของการวัดแสงที่ห่างจากปลายท่อนำแสงภายในกล่องทดลองต่างกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ท่อนำแสงทำด้วยอลูมิเนียมแผ่นเรียบ เงา มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 95% ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 90 เซนติเมตรทำการทดสอบโดยใช้วัน เวลา อุปกรณ์ เครื่องมือวัดแสง (ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400) และสถานที่เดียวกัน

การเปรียบเทียบตำแหน่งการวัดแสงของท่อนำแสงมีรายละเอียด ดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 วัดแสงบริเวณก้นกล่องทดลอง

ตำแหน่งที่ 2 วัดแสงบริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 15 เซนติเมตร

ตำแหน่งที่ 3 วัดแสงบริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 30 เซนติเมตร

ภาพที่ 80 แสดงตำแหน่งในการทำการวัดปริมาณแสง

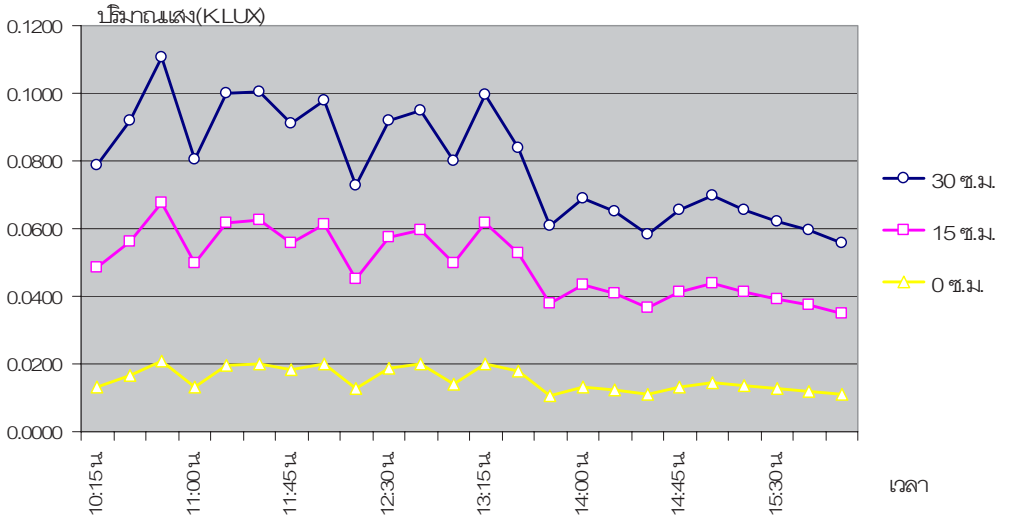
โดยทำการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ทำการทดลองโดยหันท่อนำแสงไปในทิศเหนือ โดยทำการเก็บข้อมูลทุก 15 นาที เป็นเวลา 3 วัน

**ผลการทดลอง**

**การทดลองในวันที่** 1

ตารางที่ 18 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงท่อต่างๆทำการทดลองวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ความสูงของจุดวัดแสง (k.lux) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 30 ซ.ม. | 15 ซ.ม. | 0 ซ.ม. |
| 17/2/2006 | 10:15 น. | 0.0789 | 0.0483 | 0.0130 |
| | 10:30 น. | 0.0918 | 0.0563 | 0.0164 |
| | 10:45 น. | 0.1105 | 0.0679 | 0.0207 |
| | 11:00 น. | 0.0806 | 0.0497 | 0.0134 |
| | 11:15 น. | 0.1001 | 0.0619 | 0.0198 |
| | 11:30 น. | 0.1004 | 0.0624 | 0.0200 |
| | 11:45 น. | 0.0910 | 0.0556 | 0.0183 |
| | 12:00 น. | 0.0980 | 0.0611 | 0.0200 |
| | 12:15 น. | 0.0729 | 0.0451 | 0.0129 |
| | 12:30 น. | 0.0917 | 0.0574 | 0.0188 |
| | 12:45 น. | 0.0951 | 0.0594 | 0.0198 |
| | 13:00 น. | 0.0802 | 0.0496 | 0.0140 |
| | 13:15 น. | 0.0994 | 0.0619 | 0.0200 |
| | 13:30 น. | 0.0840 | 0.0528 | 0.0178 |
| | 13:45 น. | 0.0610 | 0.0378 | 0.0108 |
| | 14:00 น. | 0.0691 | 0.0435 | 0.0132 |
| | 14:15 น. | 0.0651 | 0.0408 | 0.0121 |
| | 14:30 น. | 0.0582 | 0.0367 | 0.0111 |
| | 14:45 น. | 0.0656 | 0.0414 | 0.0132 |
| | 15:00 น. | 0.0698 | 0.0438 | 0.0144 |
| | 15:15 น. | 0.0657 | 0.0412 | 0.0135 |
| | 15:30 น. | 0.0621 | 0.0390 | 0.0126 |
| | 15:45 น. | 0.0596 | 0.0374 | 0.0121 |
| | 16:00 น. | 0.0556 | 0.0348 | 0.0112 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0794 | 0.0494 | 0.0154 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0164 | 0.0099 | 0.0035 |




กราฟที่ 20 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆทำการทดลองวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| จุดวัดแสงที่ 30 ซม. | 0.0794 | กิโลลักซ์ |
| จุดวัดแสงที่ 15 ซม. | 0.0494 | กิโลลักซ์ |
| จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง | 0.0154 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ 30 ซม.ปริมาณแสง 0.0794 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ปริมาณแสง 0.0154 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ จุดวัดแสงที่ 30 ซม.ในช่วงเวลา 10:45 น.

ปริมาณแสง 0.1105 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ในช่วงเวลา15:45 น.

ปริมาณแสง 0.0108 กิโลลักซ์

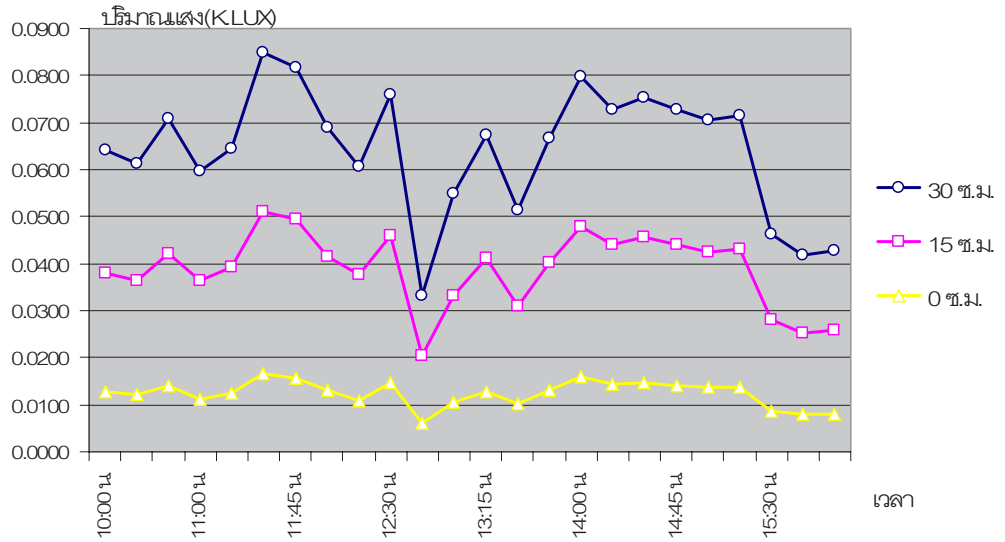
ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0035

ท่อที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ จุดวัดแสงที่ 30 ซม. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0164

**การทดลองในวันที่ 2**

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆทำการทดลองวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ความสูงของจุดวัดแสง(k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 30 ซ.ม. | 15 ซ.ม. | 0 ซ.ม. | |
| 23/2/2006 | 10:00 น. | 0.0642 | 0.0381 | 0.0127 | 64.2110 |
| | 10:30 น. | 0.0614 | 0.0365 | 0.0122 | 66.6820 |
| | 10:45 น. | 0.0708 | 0.0421 | 0.0141 | 73.7450 |
| | 11:00 น. | 0.0597 | 0.0363 | 0.0111 | 38.2400 |
| | 11:15 น. | 0.0645 | 0.0392 | 0.0125 | 38.7470 |
| | 11:30 น. | 0.0848 | 0.0509 | 0.0165 | 82.9570 |
| | 11:45 น. | 0.0818 | 0.0495 | 0.0157 | 71.3820 |
| | 12:00 น. | 0.0690 | 0.0416 | 0.0131 | 55.9400 |
| | 12:15 น. | 0.0606 | 0.0377 | 0.0109 | 29.1090 |
| | 12:30 น. | 0.0761 | 0.0459 | 0.0148 | 72.3490 |
| | 12:45 น. | 0.0332 | 0.0204 | 0.0060 | 13.6560 |
| | 13:00 น. | 0.0548 | 0.0332 | 0.0105 | 43.3900 |
| | 13:15 น. | 0.0675 | 0.0411 | 0.0127 | 49.4090 |
| | 13:30 น. | 0.0515 | 0.0310 | 0.0102 | 39.7350 |
| | 13:45 น. | 0.0666 | 0.0402 | 0.0130 | 67.5680 |
| | 14:00 น. | 0.0797 | 0.0479 | 0.0161 | 79.2770 |
| | 14:15 น. | 0.0727 | 0.0440 | 0.0145 | 62.6540 |
| | 14:30 น. | 0.0753 | 0.0455 | 0.0148 | 63.8620 |
| | 14:45 น. | 0.0728 | 0.0441 | 0.0142 | 55.0270 |
| | 15:00 น. | 0.0704 | 0.0426 | 0.0139 | 55.8330 |
| | 15:15 น. | 0.0714 | 0.0432 | 0.0139 | 56.4230 |
| | 15:30 น. | 0.0462 | 0.0280 | 0.0088 | 29.1190 |
| | 15:45 น. | 0.0418 | 0.0251 | 0.0080 | 29.2590 |
| | 16:00 น. | 0.0427 | 0.0260 | 0.0081 | 28.9150 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0642 | 0.0388 | 0.0124 | 52.8120 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0133 | 0.008 | 0.0027 | |




กราฟที่ 21 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆทำการทดลองวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| จุดวัดแสงที่ 30 ซม. | 0.0642 | กิโลลักซ์ |
| จุดวัดแสงที่ 15 ซม. | 0.0388 | กิโลลักซ์ |
| จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง | 0.0124 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 52.8120 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ 30 ซม.ปริมาณแสง 0.0642 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ปริมาณแสง 0.0124 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ จุดวัดแสงที่ 30 ซม.ในช่วงเวลา 11:30 น.

ปริมาณแสง 0.0848 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ในช่วงเวลา12:45 น.

ปริมาณแสง 0.0060 กิโลลักซ์

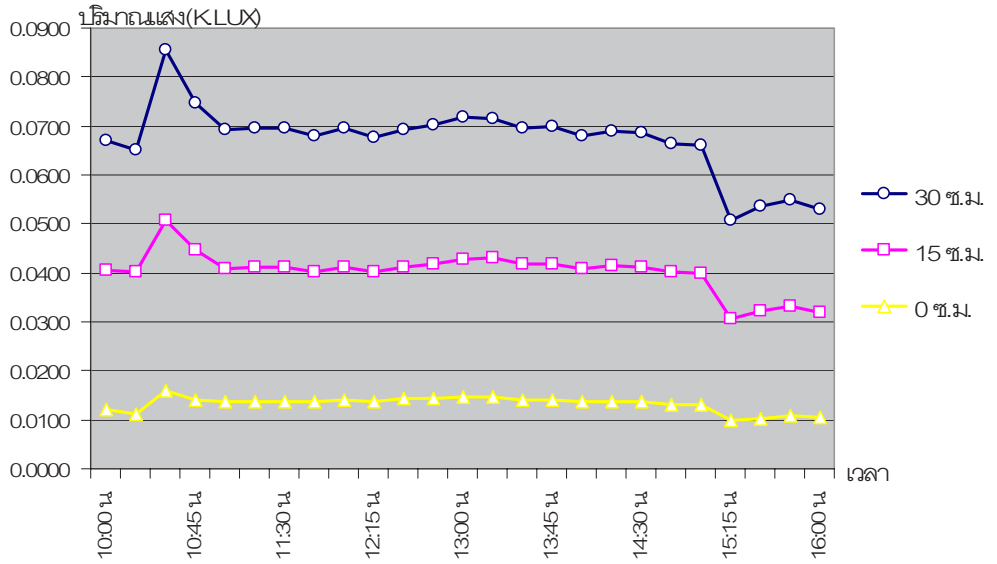
ทิศที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0027

ทิศที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ จุดวัดแสงที่ 30 ซม. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0133

**การทดลองในวันที่** 3

ตารางที่ 20 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆทำการทดลองวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

| วัน/เดือน/พ.ศ. | เวลา | ความสูงของจุดวัดแสง(k.lux) | | | แสงภายนอก |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 30 ซ.ม. | 15 ซ.ม. | 0 ซ.ม. | |
| 24/2/2006 | 10:00 น. | 0.0670 | 0.0406 | 0.0120 | 40.0950 |
| | 10:15 น. | 0.0652 | 0.0402 | 0.0112 | 29.0930 |
| | 10:30 น. | 0.0856 | 0.0509 | 0.0160 | 102.5900 |
| | 10:45 น. | 0.0746 | 0.0446 | 0.0140 | 101.0800 |
| | 11:00 น. | 0.0692 | 0.0408 | 0.0136 | 119.7500 |
| | 11:15 น. | 0.0695 | 0.0410 | 0.0137 | 94.5040 |
| | 11:30 น. | 0.0696 | 0.0411 | 0.0139 | 119.0800 |
| | 11:45 น. | 0.0680 | 0.0402 | 0.0136 | 102.1300 |
| | 12:00 น. | 0.0695 | 0.0412 | 0.0140 | 116.2300 |
| | 12:15 น. | 0.0678 | 0.0403 | 0.0138 | 110.9700 |
| | 12:30 น. | 0.0692 | 0.0412 | 0.0143 | 114.3200 |
| | 12:45 น. | 0.0702 | 0.0418 | 0.0144 | 111.8500 |
| | 13:00 น. | 0.0718 | 0.0427 | 0.0147 | 104.3600 |
| | 13:15 น. | 0.0716 | 0.0430 | 0.0147 | 101.6700 |
| | 13:30 น. | 0.0696 | 0.0418 | 0.0142 | 101.7300 |
| | 13:45 น. | 0.0698 | 0.0419 | 0.0142 | 101.8600 |
| | 14:00 น. | 0.0681 | 0.0409 | 0.0138 | 88.2470 |
| | 14:15 น. | 0.0689 | 0.0414 | 0.0138 | 91.7920 |
| | 14:30 น. | 0.0686 | 0.0412 | 0.0137 | 90.3150 |
| | 14:45 น. | 0.0665 | 0.0401 | 0.0132 | 89.2140 |
| | 15:00 น. | 0.0660 | 0.0398 | 0.0132 | 84.3260 |
| | 15:15 น. | 0.0508 | 0.0307 | 0.0098 | 55.7790 |
| | 15:30 น. | 0.0537 | 0.0322 | 0.0101 | 71.6500 |
| | 15:45 น. | 0.0550 | 0.0333 | 0.0109 | 41.4080 |
| | 16:00 น. | 0.0529 | 0.0320 | 0.0104 | 16.9160 |
| **เฉลี่ย** | | 0.0671 | 0.0402 | 0.0132 | 88.0384 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 0.0075 | 0.0043 | 0.0016 | |




กราฟที่ 22 แสดงปริมาณแสง ( กิโลลักซ์ ) จากท่อนำแสงในจุดวัดแสงต่างๆทำการทดลองวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

ปริมาณแสงเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| จุดวัดแสงที่ 30 ซม. | 0.0671 | กิโลลักซ์ |
| จุดวัดแสงที่ 15 ซม. | 0.0402 | กิโลลักซ์ |
| จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง | 0.0132 | กิโลลักซ์ |
| แสงภายนอก | 88.0384 | กิโลลักซ์ |

ปริมาณแสงเฉลี่ยมากที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ 30 ซม.ปริมาณ0.0671 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ปริมาณแสง 0.0132 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงมากที่สุดในช่วงวัน คือ จุดวัดแสงที่ 30 ซม.ในช่วงเวลา 10:30 น.

ปริมาณแสง 0.0856 กิโลลักซ์

ปริมาณแสงน้อยที่สุดในช่วงวัน คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ในช่วงเวลา15:15 น.

ปริมาณแสง 0.0098 กิโลลักซ์

ทิศที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด คือ จุดวัดแสงที่ก้นกล่องทดลอง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0016

ทิศที่มีแสงสม่ำเสมอน้อยที่สุด คือ ท่อ จุดวัดแสงที่ 30 ซม. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0075

# บทที่ 5

# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## 1. บทสรุป

### 1.1 ทิศทางของท่อนำแสงจากทางด้านข้างของอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งาน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาทิศทางการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารผ่านระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคารเพื่อหาทิศทางที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานโดยใช้เกณฑ์ที่ความสม่ำเสมอของแสงในช่วงเวลาทดลองและปริมาณแสงเฉลี่ย

จากผลการทดลองใช้ ท่อนำแสงแบบท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 4 ฟุต ทำการทดลองวัดปริมาณแสงภายในกล่องทดลองโดยใช้ ลักซ์มิเตอร์ รุ่น Testo 545 เพื่อวัดปริมาณแสง ทำการวัดแสงทั้งหมด 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก จากผลการทดลองพบว่า ทิศทางที่แสงมีความสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองได้แก่ ทิศเหนือ และทิศใต้ โดยปริมาณแสงเฉลี่ยในช่วงที่ทำการทดลอง คือ 38.69 – 44.85 ลักซ์ ส่วนทิศใต้วัดปริมาณแสงเฉลี่ยในช่วงทดลอง คือ 35.54 – 34.92 ลักซ์

**ดังนั้น ทิศทางที่มีความเหมาะสมที่จะทำการติดตั้งระบบท่อนำแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติ เข้าสู่อาคารจากทางด้านข้าง คือ ทิศเหนือ เนื่องจากแสงมีปริมาณที่สม่ำเสมอและมีค่าความสว่างของแสงเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือทิศใต้ ส่วนทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ไม่เหมาะสมที่จะทำการติดตั้งระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้างของอาคารเนื่องจาก แสงไม่มีความสม่ำเสมอของปริมาณแสงในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง**

**1.2 รูปแบบหน้าตัดของท่อนำแสงจากทางด้านข้างของอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งาน**

การศึกษาวิจัยรูปแบบพื้นที่หน้าตัดของท่อนำแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารผ่านระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคารเพื่อหารูปแบบหน้าตัดท่อที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานโดยใช้เกณฑ์ปริมาณแสงเฉลี่ยภายในพื้นที่ทดลองและความสม่ำเสมอของแสงเป็นตัวกำหนด

จากผลการทดลองใช้ ท่อนำแสงทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 แบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่มีหน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงเข้า และพื้นที่หน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงออกเท่ากัน ต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อกลมโค้ง

รูปแบบที่ 2 แบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ที่มีหน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงเข้า และพื้นที่หน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงออกเท่ากัน ต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อโค้ง

รูปแบบที่ 3 แบบรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ที่มีหน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงเข้า และพื้นที่หน้าตัดที่ปลายท่อด้านแสงออกเท่ากัน ต่อกับกล่องทดลองด้วยท่อปลายตัด

ทำการทดลองวัดปริมาณแสงภายในกล่องทดลองโดยใช้ ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400 เพื่อวัดปริมาณแสง ภายในกล่องทดลองทั้งสาม โดยกำหนดให้ท่อนำแสงรับแสงจากทางทิศเหนือ จากผลการทดลองพบว่า **รูปแบบหน้าตัดท่อที่นำแสงเข้าสู่พื้นที่ทดลองได้มากที่สุด ได้แก่ ท่อนำแสงที่ มีหน้าตัดท่อรูปวงกลม** โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 2 – 2.2 ลักซ์ รองลงมาได้แก่ ท่อนำแสงที่มีหน้าตัดท่อรูปสี่เหลี่ยมต่อกับท่อโค้ง โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 1.8 – 2 ลักซ์ และท่อนำแสงที่มีหน้าตัดท่อรูปสี่เหลี่ยมต่อกับท่อปลายตัด โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 1.3 ลักซ์ ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของ**ความสม่ำเสมอของแสงในช่วงที่ทำการทดลองพบว่า ท่อทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน**

**ดังนั้น รูปแบบหน้าตัดท่อที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบท่อนำแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติ เข้าสู่อาคารจากทางด้านข้าง คือ ท่อนำแสงรูปหน้าตัดวงกลม เนื่องจากแสงมีปริมาณค่าความสว่างของแสงเฉลี่ยสูงที่สุด ท่อนำแสงที่มีหน้าตัดท่อรูปสี่เหลี่ยมต่อกับท่อโค้ง ทั้งนี้ในการประยุกต์ใช้งานจริงรูปแบบท่อนำแสงอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น พื้นที่ที่ทำการติดตั้งระบบท่อนำแสง ในการนำไปใช้งานจึงต้องใช้ปัจจัยอื่นในการพิจารณาประกอบด้วย**

### 1.3 ความยาวของท่อนำแสงจากทางด้านข้างของอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งาน

การศึกษาความยาวของท่อนำแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารผ่านระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคารเพื่อศึกษาความยาวท่อที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานโดยใช้เกณฑ์ปริมาณแสงเฉลี่ยภายในพื้นที่ทดลองและความสม่ำเสมอของแสงเป็นตัวกำหนด

จากผลการทดลองใช้ ท่อนำแสงทั้งหมด 3 ท่อ คือ

ท่อนำแสงที่ 1 ท่อนำแสงหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวท่อ 60 เซนติเมตร

ท่อนำแสงที่ 2 ท่อนำแสงหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวท่อ 90 เซนติเมตร

ท่อนำแสงที่ 3 ท่อนำแสงหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวท่อ 120 เซนติเมตร

ทำการทดลองวัดปริมาณแสงภายในกล่องทดลองโดยใช้ ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400 เพื่อวัดปริมาณแสง ภายในกล่องทดลองทั้งสาม โดยกำหนดให้ท่อนำแสงรับแสงจากทางทิศเหนือ จากผลการทดลองพบว่า **ความยาวท่อที่นำแสงเข้าสู่พื้นที่ทดลองได้มากที่สุด ได้แก่ ท่อนำแสงที่ความยาว 60 เซนติเมตร** โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 11.6 – 13.7 ลักซ์ รองลงมาได้แก่ ท่อนำแสงที่ ความยาว 90 เซนติเมตร โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 3.2 – 3.8 ลักซ์ และท่อนำแสงที่ ความยาว 120 เซนติเมตร โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 1.4 – 1.5 ลักซ์ ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของความสม่ำเสมอของแสงในช่วงเวลาที่ทำการทดลองพบว่า **ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุดได้แก่ ท่อนำแสงที่ความยาว 120 เซนติเมตร** รองลงมาได้แก่ ท่อนำแสงที่ ความยาว 90 เซนติเมตร และท่อนำแสงที่ ความยาว 60 เซนติเมตรตามลำดับ

**ดังนั้น การประยุกต์ใช้งานระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้างต้องประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เช่น ท่อที่มีขนาดที่สั้นให้ปริมาณแสงสว่างที่มากแต่แสงไม่ค่อยสม่ำเสมออาจจะใช้งานร่วมกับแสงประดิษฐ์เพื่อให้แสงสว่างมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานได้กับห้องที่ติดกับผนังด้านนอกของอาคาร เช่น ห้องทำงาน ห้องนั่งเล่น เป็นต้น ส่วนท่อนำแสงที่มีความยาวนั้นให้ปริมาณแสงสว่างที่น้องกว่าแต่แสงก็มีความสม่ำเสมอมากกว่า เช่นเดียวกัน การใช้งานจึงเหมาะกับพื้นที่ที่ไม่ต้องการใช้ปริมาณแสงสว่างที่มากนัก เช่น โถงทางเดินของที่มีห้องอยู่ทั้ง 2 ข้างของทางเดินเป็นต้น**

### 1.4 ขนาดของท่อนำแสงจากทางด้านข้างของอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งาน

การศึกษาขนาดของท่อนำแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารผ่านระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคารเพื่อศึกษาขนาดท่อที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานโดยใช้เกณฑ์ปริมาณแสงเฉลี่ยภายในพื้นที่ทดลองและความสม่ำเสมอของแสงเป็นตัวกำหนด

จากผลการทดลองใช้ ท่อนำแสงทั้งหมด 3 ท่อ คือ

ขนาดท่อที่ 1 ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว

ขนาดท่อที่ 2 ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว

ขนาดท่อที่ 3 ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 นิ้ว

ทำการทดลองวัดปริมาณแสงภายในกล่องทดลองโดยใช้ ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400 เพื่อวัดปริมาณแสง ภายในกล่องทดลองทั้งสาม โดยกำหนดให้ท่อนำแสงรับแสงจากทางทิศเหนือ จากผลการทดลองพบว่า **ขนาดท่อที่นำแสงเข้าสู่พื้นที่ทดลองได้มากที่สุด ได้แก่ ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 นิ้ว** โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 104.3 – 131.3 ลักซ์ รองลงมาได้แก่ ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้วโดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 33.3 – 41.4 ลักซ์ และท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 3.6 – 4.5 ลักซ์ ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของความสม่ำเสมอของแสงในช่วงเวลาที่ทำการทดลองพบว่า **ท่อที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุดได้แก่ ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว** รองลงมาได้แก่ ท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว และท่อหน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 นิ้ว ตามลำดับ

**ดังนั้น การประยุกต์ใช้งานระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้างต้องประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เช่น ในพื้นที่ที่ต้องการแสงสว่างกระจายทั้งห้องให้ใช้ท่อนำแสงที่มีขนาดเล็กจำนวนหลายจุด เพื่อให้แสงภายในห้องมีความสม่ำเสมอและให้แสงสว่างรวมมากพอต่อการใช้งาน ส่วนพื้นที่ที่ต้องการแสงสว่างในปริมาณมากในจุดเดียวให้ใช้ท่อนำแสงขนาดใหญ่และใช้แสงประดิษฐ์ช่วยให้แสงมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น**

**1.5 ระยะห่างจากจุดวัดแสงถึงปลายท่อนำแสงภายจากทางด้านข้างของอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งาน**

การศึกษาระยะห่างจากจุดวัดแสงถึงปลายท่อนำแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารผ่านระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคารเพื่อศึกษาความยาวท่อที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานโดยใช้เกณฑ์ปริมาณแสงเฉลี่ยภายในพื้นที่ทดลองและความสม่ำเสมอของแสงเป็นตัวกำหนด

จากผลการทดลองใช้ จุดในการวัดแสงทั้งหมด 3 จุด คือ

ตำแหน่งที่ 1 วัดแสงบริเวณก้นกล่องทดลอง

ตำแหน่งที่ 2 วัดแสงบริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 15 เซนติเมตร

ตำแหน่งที่ 3 วัดแสงบริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 30 เซนติเมตร

ทำการทดลองวัดปริมาณแสงภายในกล่องทดลองโดยใช้ ดาต้าล๊อกเกอร์รุ่น LI-1400 เพื่อวัดปริมาณแสง ภายในกล่องทดลองทั้งสาม โดยกำหนดให้ท่อนำแสงรับแสงจากทางทิศเหนือ จากผลการทดลองพบว่า **จุดที่วัดปริมาณแสงได้มากที่สุด ได้แก่ บริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 30 เซนติเมตร** โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 64.2 – 79.4 ลักซ์ รองลงมาได้แก่ บริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 15 เซนติเมตร โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 38.8 – 49.4 ลักซ์ และบริเวณก้นกล่องทดลอง โดยวัดปริมาณแสงเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 3 วันได้ 12.4 – 15.4 ลักซ์ ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของความสม่ำเสมอของแสงในช่วงเวลาที่ทำการทดลองพบว่า **จุดที่มีความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุดได้แก่ บริเวณก้นกล่องทดลอง** รองลงมาได้แก่ บริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 15 เซนติเมตร และบริเวณสูงจากก้นกล่องทดลอง 30 เซนติเมตรตามลำดับ

**ดังนั้น การติดตั้งท่อนำแสงจึงต้องคำนึงถึงระยะห่างระหว่างปลายท่อนำแสง และพื้นที่ทำงานให้มีระยะที่เหมาะสม เช่น ถ้าระยะห่างระหว่างพื้นที่ทำงานกับท่อนำแสงห่างกันมากต้องใช้ท่อนำแสงจำนวนมากขึ้น หรือถ้าระยะห่างระหว่างพื้นที่ทำงานกับท่อนำแสงน้อยเกินไปต้องใช้แสงประดิษฐ์หรือลดขนาดของท่อนำแสงลงเพื่อให้ได้แสงที่มีความสม่ำเสมอและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ**

## 2. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการทดลองเกี่ยวกับระบบท่อนำแสงเพื่อนำแสงจากทางด้านข้างเข้าสู่ภายในอาคารนั้น นอกเหนือจากการทดลองปัจจัยต่างๆ ดังที่ได้ทำการทดลองไปแล้วนั้น ควรจะทำการทดลองในองค์ประกอบต่างๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงเข้าสู่ภายในบริเวณใช้งาน อื่นๆ เพิ่มเติม เช่น การพิ่มรูปแบบของแผงที่ช่วยสะท้อนแสงจากภายนอกเข้าสู่ภายในท่อนำแสง รูปแบบโคมกระจายแสงที่จะกระจายแสงจากปลายท่อนำแสงเข้าสู่ภายในพื้นที่ใช้งาน หรือ การจำลองการใช้งานจริงของการใช้ระบบท่อนำแสง เช่น การใช้ท่อนำแสงหลายๆท่อร่วมกัน หรือ การทำการทดลองโดยการนำระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้างของอาคารนำมาทดลองติดตั้งในสภาพจริง เพื่อที่จะได้สามารถมองถึงศักยภาพหรือข้อจำกัดต่างๆของระบบท่อนำแสง เพื่อที่จะได้ทำการทดลองเพื่อปรับปรุงให้ระบบท่อนำแสงจากทางด้านข้างของอาคารให้มีประสิทธิภาพต่อไป

# บรรณานุกรม


## ภาษาไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547.

ชัยวัฒน์ มุตติศานต์. "ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

มงคล ทองสงคราม. วิศวกรรมการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร: รามาการพิมพ์, 2536.

รัฐพล รุญเจริญ. "การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ศุลี บรรจงจิตร. วิศวกรรมการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2538.

สมยศ แม้นสงวน. โลกและดวงดาว [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 9 ตุลาคม 2550. เข้าถึงได้จาก http://ns1.wt.ac.th/~somyos/earth4011.html

อวิรุทธ์ อุรุพงศา. "การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียนในชนบท." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัญฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

## ภาษาต่างประเทศ

Architectural Lighting Design Software. Lighting System [Online]. accessed 9 October 2007. Available from http://www.schorsch.com/kbase/prod/redir/exterior.html

California Institute for Energy Efficiency. Integrated Envelope and Lighting Systems [Online]. accessed 9 October 2007. Available from http://windows.lbl.gov/comm_perf/daylight/esl302.html

Majoros András. Daylighting. Queensland : University of Queensland Printery,1998.

Natural lighting co.,inc. Passive Daylighting [Online]. accessed 20 October 2004. Available from http://www.daylighting.com/articles.asp

Natural lighting co.,inc. Passive Daylighting [Online]. accessed 9 October 2007. Available from http://new.daylighting.com/passive.asp

Sunpipe co.,inc. Residential Applications [Online]. accessed 9 October 2007. Available from http://www.sunpipe.com/20.htm

# ประวัติผู้วิจัย

| | |
|---|---|
| ชื่อ-สกุล | นายบรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร |
| ที่อยู่ | 236 หมู่ 13 ถนนกสิกรทุ่งสร้าง ตำบลศิลา อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000 |
| ที่ทำงาน | บริษัท แม่แบบ จำกัด 6/199 ซอยโชคชัย4/41 ถนนลาดพร้าว แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร 10230 |
| ประวัติการศึกษา | |
| พ.ศ. 2545 | สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| พ.ศ. 2546 | ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| ประวัติการทำงาน | |
| พ.ศ. 2545-2546 | สถาปนิก บริษัท เคป จำกัด |
| พ.ศ. 2547-2548 | สถาปนิก บริษัท แม่แบบ จำกัด |
| พ.ศ. 2548-2550 | สถาปนิก บริษัท เอเท็ค จำกัด |
| พ.ศ. 2550-ปัจจุบัน | สถาปนิก บริษัท แม่แบบ จำกัด |