การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอน
สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน

นายบริรักษ์ อินทรกุลไชย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND DEVELOPMENT OF HORIZONTAL LIGHT PIPE FOR OFFICE BUILDING

Mr. Borirak Intarakulchai

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอน สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน
โดย	นายบริรักษ์ อินทรกุลไชย
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. สักการ ราษีสุทธิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริรักษ์ อินทรกุลไชย : การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน. (DESIGN AND DEVELOPMENT OF HORIZONTAL LIGHT PIPE FOR OFFICE BUILDING) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 168 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบและทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำพาแสงธรรมชาติและปริมาณแสงภายในอาคารประเภทสำนักงานของกรุงเทพมหานคร โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาองค์ความรู้สำหรับประยุกต์ต่อยอดในการพัฒนาเทคนิคการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานในอาคารสำนักงาน งานวิจัยนี้ศึกษาผ่านการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและระบบท่อนำแสงแนวนอนด้วยโปรแกรมโฟโตเปีย 3.0 โดยมีแบบจำลองประสิทธิภาพทางด้านแสงสว่างจำนวน 9 รูปแบบที่มีความแตกต่างกันระหว่างรูปแบบของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสง จำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่กระทำมุมต่างๆ กับพื้นโลก

ผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน ได้แก่ 1) ทิศทางการรับแสงธรรมชาติ คือ ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนจะแปรผกผันตามขนาดมุมของแสงที่กระทำกับแนวท่อในส่วนนำพาแสง โดยมุมขนาดเล็กจะให้ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนสูง 2) รูปแบบส่วนรวมแสง คือ ส่วนรวมแสงที่สามารถปรับทิศทางมุมแนวดิ่งและมุมแนวราบของแสงธรรมชาติในช่วงเวลาที่ต้องการให้ขนานกับท่อในส่วนนำพาแสงมากที่สุด จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน 3) รูปแบบส่วนนำพาแสง คือ ส่วนนำพาแสงที่มีจำนวนการสะท้อนแสงภายในต่ำ (มุมตกกระทบของแสงมีขนาดใหญ่) ทำให้แสงถูกดูดกลืนน้อยส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนเพิ่มมากขึ้น

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2552

5074122525 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : LIGHT PIPE / DAYLIGHT / OFFICE BUILDING

BORIRAK INTARAKULCHAI : DESIGN AND DEVELOPMENT OF HORIZONTAL LIGHT PIPE FOR OFFICE BUILDING. THESIS ADVISOR : VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D, 168 pp.

The objective of this research is to study the design and the direction of the natural light reception used in horizontal light pipes, and how that affects the efficiency of natural light transportation and the quantity of light inside the office buildings in Bangkok Metropolis. It aims to develop a knowledge base for further modification and application of natural light transportation technology to be used in office buildings. The research was carried out through computer simulation of natural light conditions and a horizontal light pipe system using program Photopia 3.0 with 9 light efficiency prototypes. The prototypes used different design for the light collectors and light transporters, operating under a clear sky condition with direct sunlight at various angles of azimuths (earth).

Results of the research showed that factors which affect the efficiency of the horizontal light pipe are: 1) The direction of natural light reception i.e. the efficiency of the light pipe varies according to the angle of light against the transportation light pipe, smaller angles give higher efficiency. 2) The design of the light collector i.e. light collectors that can be adjusted both vertically and horizontally to be parallel to the light transportation pipe will improve efficiency. 3) The design of the light transportation pipe i.e. a light transportation pipe having low quality reflection internally reduces light reception, thus increasing the efficiency of the horizontal light pipe.

Department : Architecture Student's Signature .....

Field of Study : Architecture Advisor's Signature .....

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อย่างดีจากคำนำแนะนำของ อ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงการสนับสนุนทุนในการวิจัยจากสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และความช่วยเหลือของ Mr. Mark Jongewaard จาก LTI Optics, LLC ที่อนุเคราะห์สิทธิการใช้งาน (License Keys) สำหรับโปรแกรมโฟโตเปีย 3.0 ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ จากศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบแสงสว่าง และคุณยอดศักดิ์ อุณห์ไวทยะ ที่ช่วยแนะนำการใช้งานโปรแกรมโฟโตเปีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

ขอบเขตของการวิจัย..... 3

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

วิธีดำเนินการวิจัย..... 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีของแสง..... 8

คุณสมบัติของแสง..... 11

แสงธรรมชาติ..... 16

ทฤษฎีการส่องสว่าง..... 24

ระดับความส่องสว่างภายในอาคาร..... 26

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 27

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 36

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมโฟโตเปีย..... 37

การกำหนดลักษณะของแบบจำลองสำหรับโปรแกรมโฟโตเปีย..... 38

การศึกษาเพิ่มเติมในส่วนกระจายแสง..... 47

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล..... 48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล
ความน่าเชื่อถือของโปรแกรมโฟโตเปีย..... 52
ปริมาณความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอน..... 53
ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน..... 76
ลักษณะแสงสว่างจากส่วนกระจายแสง..... 121

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
สรุปผลการวิจัยระบบท่อนำแสงแนวนอน..... 152
สรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร..... 160
ข้อเสนอแนะ..... 162
รายการอ้างอิง..... 164
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 168

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทต่างๆ แบ่งตามความยาวคลื่นและความถี่.....	9
2	คุณสมบัติและประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทต่างๆ.....	10
3	สีของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ.....	11
4	ลักษณะของแสงตรงจากดวงอาทิตย์.....	21
5	ลักษณะของแสงสะท้อนจากท้องฟ้า.....	23
6	การเปรียบเทียบการสะท้อนแสงของสีต่างๆ.....	24
7	ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารสำนักงานทั่วไปในประเทศไทย....	27
8	ปริมาณความส่องสว่าง (ลักซ์) จากระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละแบบในแต่ละทิศ.....	152
9	ปริมาณความส่องสว่าง (ลักซ์) บนระนาบพื้นที่ทำงานในแต่ละทิศ.....	153
10	ค่า Daylight Factor สูงสุด (%) บนระนาบพื้นที่ทำงานในแต่ละทิศ.....	154

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	กระบวนการและลำดับขั้นตอนวิธีการวิจัย.....	7
2	สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	8
3	สเปกตรัมของแสงขาว.....	10
4	การสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา.....	12
5	การสะท้อนแบบกระจายสมบูรณ์ (ก) และการสะท้อนแบบกึ่งกระจาย (ข).....	12
6	การสะท้อนแสงแบบผสม.....	13
7	การหักเหของแสงจากอากาศไปสู่น้ำ.....	13
8	การเกิดการหักเห (ก) การเกิดมุมวิกฤต (ข) การเกิดการสะท้อนกลับหมด (ค)....	14
9	การส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งใส (ก) และตัวกลางโปร่งแสง (ข).....	14
10	การแทรกสอดของแสง.....	15
11	การกระจายของแสงขาว.....	16
12	แหล่งกำเนิดแสงขาวจากสิ่งแวดล้อม.....	17
13	วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และตำแหน่งของโลกที่สำคัญ.....	17
14	ความสัมพันธ์ของแสงจากดวงอาทิตย์กับโลกในปรากฏการณ์ครีษมายัน.....	18
15	ความสัมพันธ์ของแสงจากดวงอาทิตย์กับโลกในปรากฏการณ์เหมายัน.....	18
16	ความสัมพันธ์ของแสงจากดวงอาทิตย์กับโลกในปรากฏการณ์วันวิษุวัต.....	19
17	ตำแหน่งของมุมเงยและมุมอะซิมุธ.....	20
18	มุมเงาแนวราบและมุมเงาแนวดิ่ง.....	21
19	สภาพท้องฟ้าโปร่ง.....	22
20	สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมบางส่วน.....	22
21	สภาพท้องฟ้าปิด.....	23
22	ธรรมชาติของแสงสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน.....	26
23	รูปตัดตามยาวของห้องทดลองที่ Beltran, L.O. และคณะ ทำการศึกษา.....	28
24	รูปผังพื้นของระบบท่อนำแสงแนวนอนพื้นฐาน (a) รูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน A (b) รูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน B (c) และรูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน C (d) ที่ Beltran, L.O. และคณะ ทำการศึกษา.....	29
25	ลักษณะห้องทดลองที่ Surapong Chirarattananon และคณะ ทำการศึกษา....	30

รูปที่		หน้า
26	ผังฝ้าเพดานห้องทดลองที่ Surapong Chirarattananon และคณะ ทำการศึกษา……..	30
27	ผลการประยุกต์ใช้ระบบท่อนำแสงแนวนอนกับช่องแสงด้านข้างที่ Surapong Chirarattananon และคณะ ทำการศึกษา……...	31
28	หุ่นจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา.....	32
29	รูปแบบของส่วนนำพาแสงที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา.....	33
30	ความยาวของส่วนนำพาแสงที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา.....	33
31	ขนาดของส่วนนำพาแสงที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา.....	34
32	เครื่องมือวัดค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ตัวรับและแปลงสัญญาณจากแสงสว่างธรรมชาติ (ซ้าย) เครื่องบันทึกและจัดเก็บข้อมูล (ขวา).....	37
33	ลักษณะแบบจำลองอาคารสำนักงานที่ทำการศึกษา.....	38
34	ส่วนประกอบของระบบท่อนำแสงแนวนอน.....	39
35	ลักษณะแบบจำลองรูปแบบตัวสะท้อนแสงของส่วนรวมแสงที่ทำการศึกษา.....	39
36	ลักษณะแบบจำลองรูปแบบท่อนำพาแสงของส่วนนำพาแสงส่วนท่อที่ทำการศึกษา.....	40
37	ลักษณะแบบจำลองรูปแบบข้อต่อนำพาแสงโค้งของส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่ทำการศึกษา.....	40
38	ลักษณะแบบจำลองรูปแบบข้อต่อนำพาแสงเอียง 45 องศา ของส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่ทำการศึกษา.....	41
39	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ทำการศึกษา.....	41
40	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ทำการศึกษา.....	42
41	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ทำการศึกษา.....	42
42	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ทำการศึกษา.....	42
43	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ทำการศึกษา.....	43
44	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ทำการศึกษา.....	43
45	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ทำการศึกษา.....	44
46	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ทำการศึกษา.....	44
47	ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ทำการศึกษา.....	44

รูปที่		หน้า
48	ตำแหน่งของระบบท่อนำแสงแนวนอนบนอาคารสำนักงานจำลองตามที่ออกแบบ	45
49	ขอบเขตของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ	46
50	ขอบเขตของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศใต้	46
51	ขอบเขตของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก	47
52	ตำแหน่งระนาบพื้นที่อ้างอิงและจุดที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง สำหรับศึกษาประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน	48
53	ตำแหน่งระนาบพื้นที่อ้างอิงและจุดที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง สำหรับศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติภายในอาคารสำนักงาน	49
54	ตำแหน่งระนาบพื้นที่อ้างอิงและจุดที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง สำหรับศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติ โดยอ้างอิงข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย	50
55	การเปรียบเทียบข้อมูลจากสภาพแสงจริงและสภาพแสงจำลอง	52
56	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน	53
57	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1	57
58	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2	55
59	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3	55
60	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4	56
61	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5	57

รูปที่		หน้า
62	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6	57
63	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7	58
64	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8	59
65	ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน	59
66	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน	61
67	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1	62
68	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2	62
69	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3	63
70	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4	64
71	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5	64
72	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6	65
73	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7	66
74	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8	66
75	ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่		หน้า
76	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน	69
77	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1	69
78	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2	70
79	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3	71
80	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4	71
81	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5	72
82	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6	73
83	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7	73
84	ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8	74
85	ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน	75
86	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ	77
87	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA	77
88	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ	78

รูปที่		หน้า
89	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA……..	79
90	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ.....	80
91	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA……..	80
92	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ.....	81
93	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA……..	82
94	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ.....	83
95	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA……..	83
96	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ.....	84
97	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA……	85
98	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ.....	86
99	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA……..	86

รูปที่		หน้า
100	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ.....	87
101	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	88
102	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ	89
103	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	89
104	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	92
105	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	92
106	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	93
107	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	94
108	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	95
109	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	95
110	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	96

รูปที่		หน้า
111	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	97
112	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	98
113	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	98
114	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	99
115	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	100
116	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	101
117	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	101
118	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	102
119	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	103
120	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้.....	104
121	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	104

รูปที่		หน้า
122	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	107
123	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	107
124	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	108
125	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	109
126	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	110
127	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	110
128	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	111
129	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	112
130	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	113
131	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	113
132	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	114

รูปที่		หน้า
133	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	115
134	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	116
135	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	116
136	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	117
137	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	118
138	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก.....	119
139	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	119
140	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	122
141	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	123
142	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	124
143	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	124

รูปที่		หน้า
144	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	125
145	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	126
146	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	127
147	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	127
148	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	128
149	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	129
150	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	130
151	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	130
152	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	131
153	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	132
154	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	133

รูปที่		หน้า
155	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	133
156	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม.....	134
157	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	135
158	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	137
159	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	137
160	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	138
161	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	139
162	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	140
163	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	140
164	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	141
165	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	142

รูปที่		หน้า
166	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	143
167	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	143
168	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	144
169	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	145
170	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	146
171	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	146
172	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	147
173	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	148
174	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น.....	149
175	ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA.....	149
176	ปริมาณแสงธรรมชาติจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเมื่อพิจารณาร่วมกับช่องแสงทางด้านข้างของอาคารสำนักงาน.....	158
177	ปริมาณแสงธรรมชาติจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนหลายชุดบนพื้นที่เดียวกันในอาคารสำนักงาน เมื่อพิจารณาที่ระดับความส่องสว่าง 500 ลักซ์.....	159

178 ปริมาณแสงธรรมชาติจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนหลายชุดบนพื้นที่เดียวกันในอาคารสำนักงาน เมื่อพิจารณาที่ระดับความส่องสว่าง 300 ลักซ์..... 160

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานที่ใช้ในอาคารสามารถแบ่งเป็นสามส่วนหลัก คือ พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ พลังงานที่ใช้ในการส่องสว่าง และพลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์อาคาร ซึ่งมีอัตราการบริโภคพลังงานตามลำดับ ซึ่งอัตราการบริโภคพลังงานที่ใช้สำหรับการส่องสว่างของอาคารคิดเป็น 15-25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในอาคาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทและกิจกรรมของอาคารแต่ละชนิด อาคารสำนักงานโดยทั่วไปใช้พลังงานไฟฟ้าในการส่องสว่างคิดเป็นสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในอาคาร *[1]* รูปแบบของผังอาคารสำนักงานโดยทั่วไปมีลักษณะแผ่ขยายกว้างในขณะที่ขนาดของช่องเปิดรับแสงด้านข้างมีน้อยทำให้การนำแสงธรรมชาติไปใช้ในส่วนลึกของอาคารเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้ต้องติดตั้งแสงประดิษฐ์เพื่อให้แสงสว่างเพิ่มเติม ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจัดตำแหน่งแบบกระจายทั้งพื้นที่ โดยไม่ได้คำนึงถึงความต้องการแสงสว่างของแต่ละกิจกรรม ทำให้เกิดการส่องสว่างที่เกินความจำตลอดทั่วทั้งพื้นที่ *[2]*

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารสำนักงานจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการส่องสว่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากอาคารสำนักงานมีการใช้งานในช่วงเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้อย่างเต็มที่นักวิจัยและนักออกแบบจึงได้คิดค้นและพัฒนาเทคนิคสำหรับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร เพื่อตอบสนองต่อปัญหาการบริโภคพลังงานไฟฟ้าที่สูงและสิ้นเปลืองของส่วนการส่องสว่างในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 20-30% ของการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของอาคารทั้งหมด *[3]*

ระบบท่อนำแสงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวและมีงานวิจัยที่ศึกษาระบบท่อนำแสงมาอย่างต่อเนื่อง เช่น การศึกษารูปแบบของส่วนรวมแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพระบบท่อนำแสงแนวตั้ง *[4]* การศึกษารูปแบบและขนาดของส่วนนำพาแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพระบบท่อนำแสงแนวตั้ง *[4][5]* การศึกษารูปแบบของส่วนกระจายแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพระบบท่อนำแสงแนวตั้ง *[5][6]* การศึกษารูปแบบและขนาดของส่วนนำพาแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพระบบท่อนำแสงแนวนอน *[7]* การศึกษาทิศทางในการรับแสงธรรมชาติสำหรับ

ติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอน *[7]* การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบหิ้งสะท้อนแสงกับระบบท่อนำแสงแนวนอน *[8]* การศึกษาเรื่องการประหยัดพลังงานเมื่อใช้ระบบท่อนำแสงแนวนอน *[9]* การศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ใช้หลักการการหักเหของแสง *[10]* การศึกษาความส่องสว่างและความร้อนภายในระบบท่อนำแสงแนวนอน *[11]* ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่เน้นไปที่ระบบท่อนำแสงแนวตั้งมากกว่าระบบท่อนำแสงแนวนอน

อาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นอาคารในแนวดิ่งมากกว่าอาคารในแนวราบ ทำให้การใช้ระบบท่อนำแสงแนวตั้งจะถูกจำกัดการใช้งานให้อยู่บริเวณชั้นบนของอาคารในขณะที่การใช้งานระบบท่อนำแสงแนวนอนสามารถใช้งานได้ในทุกชั้นของอาคาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนโดยเน้นที่รูปแบบและความสัมพันธ์ของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสงที่ส่งผลต่อแสงธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ภายในอาคาร โดยคำนึงทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงานในกรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นองค์ความรู้ต่อยอดและประยุกต์เป็นแนวทางอ้างอิงในการนำไปเป็นใช้ในการพัฒนาเทคนิคการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารสำนักงานด้วยแสงธรรมชาติ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของส่วนรวมแสงกับส่วนนำพาแสงและทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารประเภทสำนักงานในกรุงเทพมหานคร

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบส่วนรวมแสงกับส่วนนำพาแสงและทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อลักษณะแสงธรรมชาติภายในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครบนระนาบพื้นที่ทำงาน ซึ่งอ้างอิงตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

3. เพื่อพัฒนาองค์ความรู้สำหรับประยุกต์ต่อยอดในการพัฒนาเทคนิคสำหรับการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครด้วยแสงธรรมชาติ เพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากส่วนกลางสำหรับระบบไฟฟ้าส่องสว่างในช่วงเวลากลางวัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาแบบจำลองประสิทธิภาพทางด้านแสงสว่างของระบบท่อนำแสงแนวนอนภายใต้สภาวะเสมือนจริงด้วยการจำลองในคอมพิวเตอร์ โดยใช้การคำนวณผ่านโปรแกรมโฟโตเปีย ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายในและภายนอกอาคารจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

2. ศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติภายในอาคารจากรูปแบบของสำนักงานที่มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3 เมตร และระนาบพื้นที่ทำงานมีความสูงจากพื้น 0.75 เมตร ซึ่งมีช่องเปิดรับแสงเฉพาะจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเหนือฝ้าเพดานเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านงานระบบเหนือฝ้าเพดาน เพื่อศึกษาอิทธิพลจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเพียงอย่างเดียว

3. ศึกษาประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารสำนักงานของระบบท่อนำแสงแนวนอน โดยเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างภายในระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบที่มีความแตกต่างกันระหว่างรูปแบบของส่วนรวมแสงและรูปแบบส่วนนำพาแสงเท่านั้น ไม่เน้นอิทธิพลจากรูปแบบของส่วนกระจายแสง

4. ศึกษาอิทธิพลของแสงธรรมชาติที่ส่งผลต่อระบบท่อนำแสงแนวนอนจากสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์โดยมีแนวพาดผ่านกรุงเทพมหานครตลอดทั้งปี โดยกำหนดทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนจากทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก ในช่วงเวลาประมาณ 8:00 - 16:00 น. ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวสามารถเทียบเท่าได้ใกล้เคียงช่วงมุมเงยตั้งแต่ 20 - 90 องศา และมุมเงาแนวราบตั้งแต่ -90 - 90 องศา

5. ศึกษาปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ตามมาตรฐานการส่องสว่าง โดยอ้างอิงตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

6. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉพาะด้านแสงสว่างเท่านั้น โดยไม่ศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยอื่นที่อาจเกี่ยวข้อง เช่น ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ส่งผลต่อระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ไม่สามารถควบคุมได้ ปัจจัยเรื่องอุณหภูมิภายในระบบท่อนำแสง ปัจจัยทางภาระการทำความเย็นของอาคาร ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

แสงธรรมชาติ (Daylight) หมายถึง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ ในงานวิจัยนี้แสงธรรมชาติ คือ แสงที่มีแหล่งกำเนิดจากสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์

ปริมาณแสงสว่าง (Luminous Flux) หมายถึง ปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นลูเมน (lumen)

ปริมาณความส่องสว่าง (Illuminance) หมายถึง ปริมาณแสงสว่างต่อพื้นที่ที่แสงสว่างนั้นตกกระทบบนพื้นผิวใดๆ ในงานวิจัยนี้ปริมาณความส่องสว่าง คือ ค่าความส่องสว่างที่วัดบนระนาบอ้างอิงภายในอาคารสำนักงานจำลองที่ทำการศึกษา มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux)

โปรแกรมโฟโตเปีย (Photopia) หมายถึง โปรแกรมสำหรับช่วยในการออกแบบระบบท่อนำแสงแนวนอนและศึกษาแสงสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมโฟโตเปีย เวอร์ชัน 3.0.4.1215

ระนาบพื้นที่อ้างอิง (Reference Plane) หมายถึง พื้นที่ที่ใช้สำหรับวัดค่าแสงสว่างและค่าความส่องสว่างในตำแหน่งที่กำหนดภายในโปรแกรมโฟโตเปีย (Illuminance Plane)

ระนาบพื้นที่ทำงาน (Work Plane) หมายถึง พื้นที่ที่ใช้สำหรับประกอบกิจกรรมใดๆ ซึ่งกิจกรรมแต่ละอย่างจะมีรูปแบบของระนาบพื้นที่ทำงานเฉพาะตัว

ส่วนรวมแสง หมายถึง ส่วนประกอบหนึ่งของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ทำการศึกษามีหน้าที่เป็นตัวรวบรวมแสง (Collector) เข้าสู่ส่วนนำพาแสง

ส่วนนำพาแสง หมายถึง ส่วนประกอบหนึ่งของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ทำการศึกษามีหน้าที่เป็นตัวขนส่งแสง (Transporter) เข้าสู่ส่วนกระจายแสง

ส่วนกระจายแสง หมายถึง ส่วนประกอบหนึ่งของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ทำการศึกษามีหน้าที่เป็นตัวหักเหแสงและแพร่กระจาย (Diffuser) เข้าสู่ภายในอาคาร

มุมเงาแนวราบ (Horizontal Shadow Angle: H.S.A.) หมายถึง มุมที่ทิศทางแสงแดดกระทำต่อระนาบอ้างอิงที่ตั้งฉากกับช่องรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอน

มุมเงย (Solar Altitude) หมายถึง มุมที่ทิศทางแสงแดดกระทำกับพื้นโลก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงรูปแบบและความสัมพันธ์ของส่วนรวมแสงกับส่วนนำพาแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร

2. ทราบถึงลักษณะแสงธรรมชาติภายในอาคารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามข้อแนะนำที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย จากรูปแบบและความสัมพันธ์ของส่วนรวมแสงกับส่วนนำพาแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอน

3. เป็นองค์ความรู้สำหรับแนวทางการนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ภายในอาคารสำนักงาน เพื่อการอนุรักษ์พลังงานร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ภายในอาคารในช่วงเวลากลางวัน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีกระบวนการและลำดับขั้นตอนในการศึกษาตามรูปที่ 1 และมีรายละเอียดของขั้นตอนในการศึกษา ดังนี้

1. <u>กำหนดรูปแบบของงานวิจัย</u>

ศึกษาปัญหาด้านพลังงาน เพื่อกำหนดรูปแบบ วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย โดยพิจารณาจากเทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารที่ต้องการศึกษาเพื่อการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทสำนักงานในกรุงเทพมหานคร

2. <u>ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>

ข้อมูลที่ศึกษาประกอบด้วยทฤษฎีและงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องทั้งโดยตรงและโดยอ้อมในเรื่องของแสงธรรมชาติ ระบบท่อนำแสง มาตรฐานการส่องสว่าง และเทคโนโลยีการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานภายในอาคาร จากเอกสาร รายงาน และบทความ

ทางวิชาการ รวมถึงหนังสือต่างๆ ที่มีเนื้อหาเชื่อมโยงใกล้เคียงตามข้อมูลที่ต้องการในทุกด้าน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความครอบคุลมและเพียงพอสำหรับทำการศึกษา

3. <u>ออกแบบแบบจำลองของระบบท่อนำแสงแนวนอน</u>

แปลงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเป็นตัวแปรที่สามารถนำไปใช้ได้กับโปรแกรมโฟโตเปีย เพื่อออกแบบระบบท่อนำแสงแนวนอนและอาคารสำนักงานจำลอง โดยพิจารณาจากลักษณะอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร และรูปแบบส่วนรวมแสง รูปแบบส่วนนำพาแสง และค่าการสะท้อนแสงวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

4. <u>จำลองประสิทธิภาพทางด้านแสงสว่างด้วยโปรแกรมโฟโตเปีย</u>

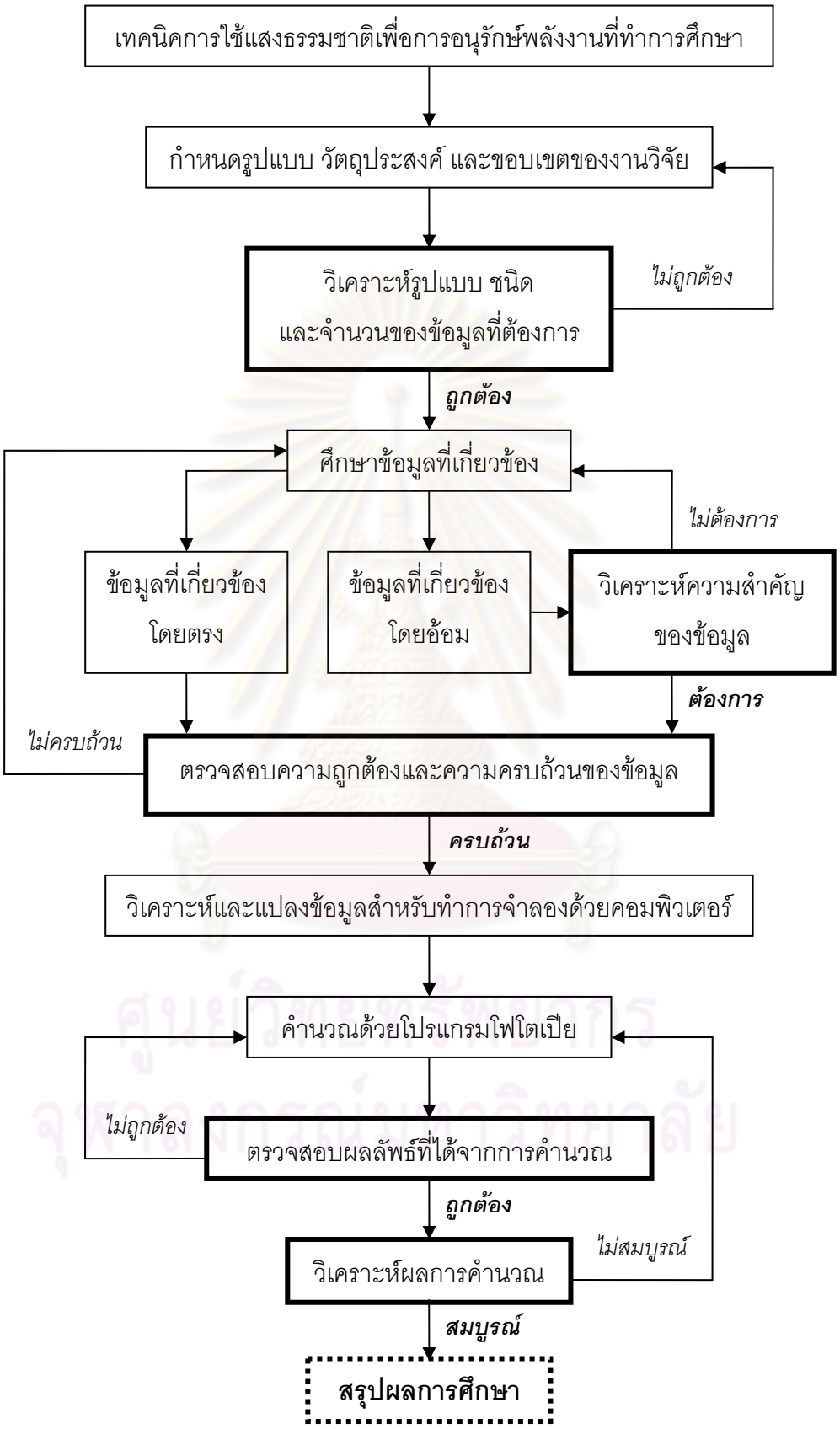
ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมโฟโตเปีย โดยเปรียบเทียบแสงธรรมชาติจากสภาพแสงจำลองสภาพจริงก่อนทำการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและระบบท่อนำแสงแนวนอนด้วยโปรแกรมโฟโตเปีย โดยมีแบบจำลองประสิทธิภาพทางด้านแสงสว่างจำนวนเก้ารูปแบบที่มีความแตกต่างกันระหว่างรูปแบบของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสง จำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่กระทำมุมต่างๆ กับช่องรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนในทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก

5. <u>วิเคราะห์ผลการคำนวณ</u>

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปียและเปรียบเทียบรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละแบบทั้งเรื่องการประสิทธิภาพนำพาแสงธรรมชาติและเรื่องลักษณะแสงธรรมชาติภายในอาคารที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ที่อ้างอิงตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย เพื่อทราบถึงอิทธิพลจากปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบท่อนำแสงแนวนอน โดยแยกพิจารณาจากปัจจัยของทิศทางการรับแสงธรรมชาติ ปัจจัยของรูปแบบส่วนรวมแสง และปัจจัยของรูปแบบส่วนนำพาแสง

6. <u>สรุปผลการศึกษา</u>

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปีย เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และเสนอแนะแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงรวมถึงแนวทางการนำองค์ความรู้ไปศึกษาต่อยอด

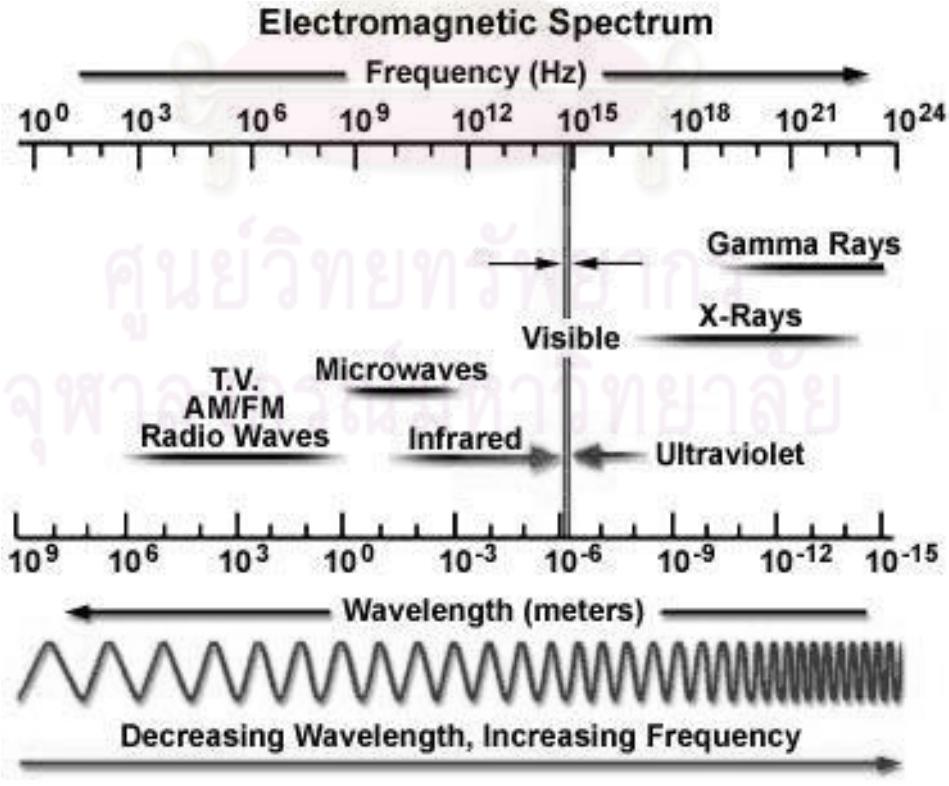


รูปที่ 1 กระบวนการและลำดับขั้นตอนวิธีการวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีของแสง

James Clerk Maxwell นักวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ ชาวสก็อตแลนด์ ทำการค้นคว้าเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็กด้วยการคำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าสมการของแมกซ์เวลล์ จนกระทั่งสามารถตั้งทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถอธิบายว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในเส้นลวดจะเกิดทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ในทางกลับกันสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสลับกันอย่างต่อเนื่องจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า *[12]* และเมื่อคลื่นมีความถี่ต่อเนื่องจนเป็นช่วงกว้างจะเรียกว่าสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งประเภทได้จากความยาวคลื่นและความถี่เฉพาะตัว ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าพลังงานต่างๆ ที่แตกต่างกัน *[13]* ตามรูปที่ 2 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า *[14]*

ตารางที่ 1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทต่างๆ แบ่งตามความยาวคลื่นและความถี่ *[15]*

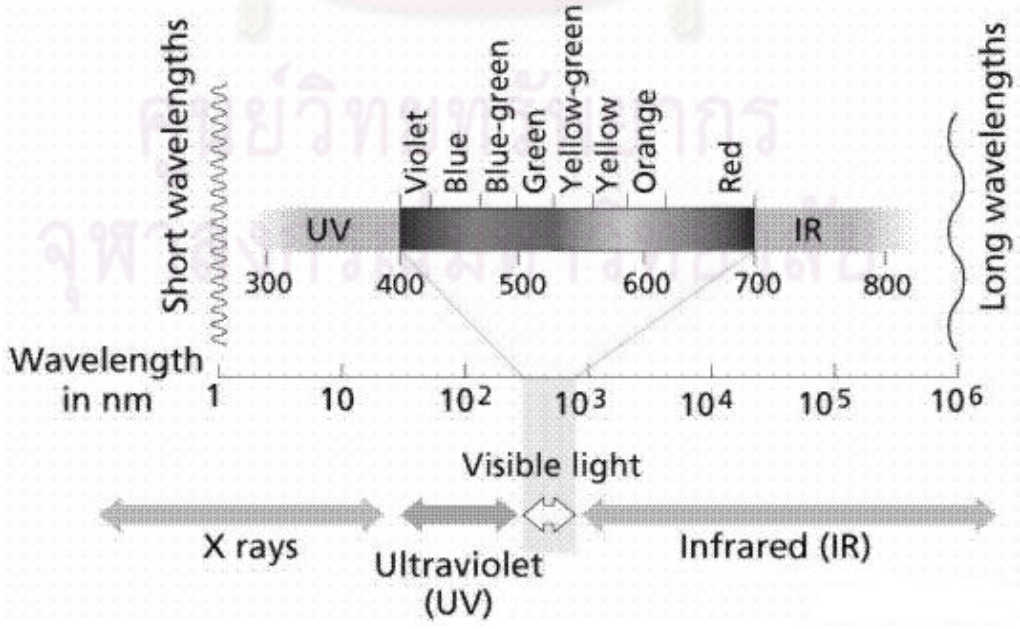
ประเภท			ความยาวคลื่น (m)	ความถี่ (Hz)
รังสีแกมมา			1.0×10^{-14} - 1.0×10^{-10}	3.0×10^{18} - 3.0×10^{32}
รังสีเอ็กซ์			1.0×10^{-13} - 1.0×10^{-8}	3.0×10^{17} - 5.0×10^{19}
รังสีอัลตราไวโอเลต	UVC		1.0×10^{-7} - 2.8×10^{-7}	2.3×10^{14} - 4.3×10^{14}
	UVB		2.8×10^{-7} - 3.2×10^{-7}	1.0×10^{14} - 2.3×10^{14}
	UVA		3.2×10^{-7} - 3.8×10^{-7}	3.8×10^{13} - 1.0×10^{14}
แสงที่ตามองเห็น			3.8×10^{-7} - 7.6×10^{-7}	4.3×10^{14} - 7.5×10^{14}
รังสีอินฟราเรด	อินฟราเรดใกล้		7.6×10^{-7} - 1.3×10^{-6}	2.3×10^{14} - 4.3×10^{14}
	อินฟราเรดคลื่นสั้น		1.3×10^{-6} - 3.0×10^{-6}	1.0×10^{14} - 2.3×10^{14}
	อินฟราเรดคลื่นกลาง		3.0×10^{-6} - 8.0×10^{-6}	3.8×10^{13} - 1.0×10^{14}
	อินฟราเรดความร้อน		8.0×10^{-6} - 1.4×10^{-5}	2.2×10^{13} - 3.8×10^{13}
	อินฟราเรดไกล		1.4×10^{-5} - 1.0×10^{-3}	3.0×10^{11} - 2.2×10^{13}
คลื่นวิทยุ	ไมโครเวฟ	มิลลิเมตรย่อย	1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-3}	3.0×10^{11} - 3.0×10^{12}
		มิลลิเมตร	1.0×10^{-3} - 1.0×10^{-2}	3.0×10^{10} - 3.0×10^{11}
		เซนติเมตร	1.0×10^{-2} - 1.0×10^{-1}	3.0×10^{9} - 3.0×10^{10}
		เดซิเมตร	1.0×10^{-1} - 1.0×10^{0}	3.0×10^{8} - 3×10^{9}
	คลื่นสั้นมาก		1.0×10^{0} - 1.0×10^{1}	3.0×10^{7} - 3.0×10^{8}
	คลื่นสั้น		1.0×10^{1} - 1.0×10^{2}	3.0×10^{6} - 3.0×10^{7}
	คลื่นกลาง		1.0×10^{2} - 1.0×10^{3}	3.0×10^{7} - 3×10^{6}
	คลื่นยาว		1.0×10^{3} - 1.0×10^{4}	3.0×10^{4} - 3.0×10^{5}
	คลื่นยาวมาก		1.0×10^{4} - 1.0×10^{5}	3.0×10^{3} - 3.0×10^{4}

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละประเภทมีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างหลากหลาย โดยในแต่ละช่วงความยาวคลื่นและย่านความถี่ต่างๆ ล้วนมีประโยชน์ที่แตกต่างกัน ซึ่งการนำมาประยุกต์ใช้งานจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละประเภท เช่น รังสีเอ็กซ์ในย่านความถี่สูงใช้ในทางการแพทย์ คลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำใช้สำหรับกระจายสัญญาณโทรทัศน์และวิทยุ เป็นต้น ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติและประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทต่างๆ

ประเภท	คุณสมบัติ
รังสีแกมมา	มีอำนาจทะลุทะลวงสูงและทำลายเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต ใช้ทำลายเซลล์มะเร็ง
รังสีเอ็กซ์	สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ ใช้ในการวินิจฉัยโรคและตรวจสอบวัตถุทึบแสง
รังสีอัลตราไวโอเลต	สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้และใช้ตรวจสอบวัตถุเรืองแสง
แสงที่ตามองเห็น	ตอบสนองต่อประสาทตาของมนุษย์ ทำให้เกิดการรับรูปแสงสีต่างๆ
รังสีอินฟราเรด	เรียกอีกอย่างว่ารังสีความร้อน ใช้ในการตรวจสอบการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุต่างๆ
ไมโครเวฟ	สามารถผลิตได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้ในการประกอบอาหารและส่งสัญญาณเรดาร์หรือดาวเทียม
คลื่นวิทยุ	ใช้เป็นพาหะในการส่งสัญญาณภาพและเสียงของระบบโทรทัศน์และวิทยุ

แสงขาวหรือแสงที่มองเห็นได้ คือ พลังงานรูปแบบหนึ่งและเคลื่อนที่ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่ผ่านระหว่างตัวกลางใดๆ ได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวนำ มีความเร็วในสภาวะสุญญากาศเท่ากับ 3 x 10^8 เมตรต่อวินาที อยู่ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 380 ถึง 760 นาโนเมตร ซึ่งแต่ละความยาวคลื่นให้สีของแสงที่แตกต่างกัน ตามรูปที่ 3 และตารางที่ 3



รูปที่ 2 สเปกตรัมของแสงขาว *[16]*

ตารางที่ 3 สีของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

สีของแสง	**ความยาวคลื่น** (nm)
ม่วง	380 - 420
คราม	420 - 440
น้ำเงิน	440 - 490
เขียว	490 - 560
เหลือง	560 - 590
แสด	590 - 630
แดง	630 - 760

คุณสมบัติของแสง

แสงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังนั้นแสงจึงมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคลื่นชนิดอื่นๆ ทุกประการ

1. <u>การแผ่เชิงเส้นตรง</u>

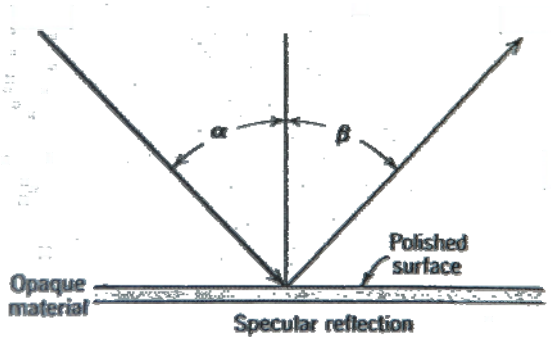
   การเคลื่อนที่ของแสงเดินทางเป็นเส้นตรงเสมอ

2. <u>การสะท้อน</u>

การเคลื่อนที่ของแสงไปกระทบกับตัวกลางใดๆ แล้วเปลี่ยนทิศทางกลับสู่ตัวกลางเดิม โดยที่ความยาวและความถี่ของคลื่นเปลี่ยนแปลงไป การสะท้อนแบ่งรูปแบบได้ดังนี้

2.1 การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection)

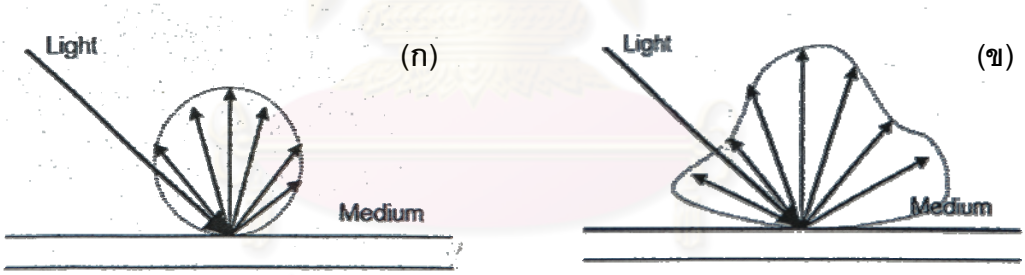
การสะท้อนรูปแบบนี้เกิดขึ้นบนตัวกลางที่มีพื้นผิวเรียบมันวาว โดยเป็นไปตามกฎการสะท้อนแสง คือ มุมตกกระทบของแสงเท่ากับมุมสะท้อนของแสงบนพื้นระนาบเดียวกัน ตามรูปที่ 4



รูปที่ 3 การสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา *[17]*

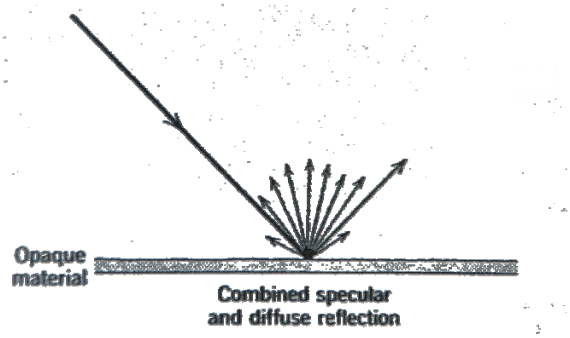
2.2 การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

การสะท้อนรูปแบบนี้เกิดขึ้นบนตัวกลางที่มีพื้นผิวขรุขระหรือด้าน การสะท้อนจะไม่เป็นไปตามกฎการสะท้อนแสง กล่าวคือ แสงจะสะท้อนกระจายอย่างไร้ทิศทางและไม่มีมุมที่แน่นอน หากตัวกลางมีพื้นผิวแบบขรุขระอย่างสม่ำเสมอ การสะท้อนจะมีการกระจายอย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) มีมุมสะท้อนของแสงเท่ากันทุกมุม หากตัวกลางมีพื้นผิวแบบขรุขระอย่างไม่สม่ำเสมอ การสะท้อนจะเป็นแบบกึ่งกระจาย (Semi Diffuse Reflection) มีมุมสะท้อนของแสงที่ไม่เท่ากัน ตามรูปที่ 5



รูปที่ 4 การสะท้อนแบบกระจายสมบูรณ์ (ก) และการสะท้อนแบบกึ่งกระจาย (ข) *[4]*

สภาพพื้นผิวของตัวกลางโดยทั่วไปการสะท้อนแสงจะเป็นการสะท้อนแบบผสมผสานระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงาและการสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์ (Combined Specular and Diffuse Reflection) เนื่องจากพื้นผิวของตัวกลางโดยทั่วไปมีลักษณะกึ่งเรียบกึ่งขรุขระทำให้การสะท้อนเกิดการกระจายแบบกึ่งมีทิศทาง ตามรูปที่ 6



รูปภาพ 5 การสะท้อนแสงแบบผสม *[17]*

3. <u>การหักเห</u>

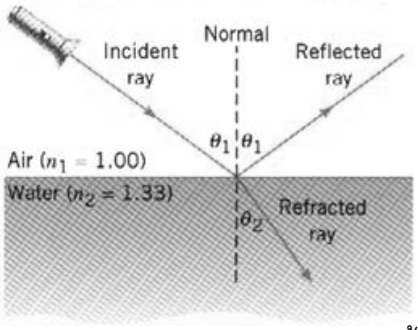
การเคลื่อนที่ของแสงผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกัน ทำให้ความยาวและความเร็วของคลื่นเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นคงที่ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแสง ตามรูปที่ 7 การหักเหสามารถคงทิศทางเดิมได้หากมุมของแสงตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลาง การหักเหแบ่งรูปแบบได้ดังนี้

3.1 การหักเหเข้าหาเส้นแนวฉาก

การหักเหรูปแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมาก หรือแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก

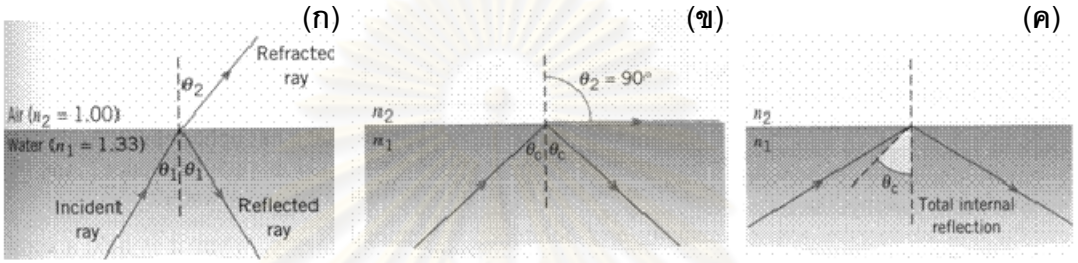
3.2 การหักเหออกจากเส้นแนวฉาก

การหักเหรูปแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อย หรือแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยมาก



รูปที่ 6 การหักเหของแสงจากอากาศไปสู่น้ำ *[18]*

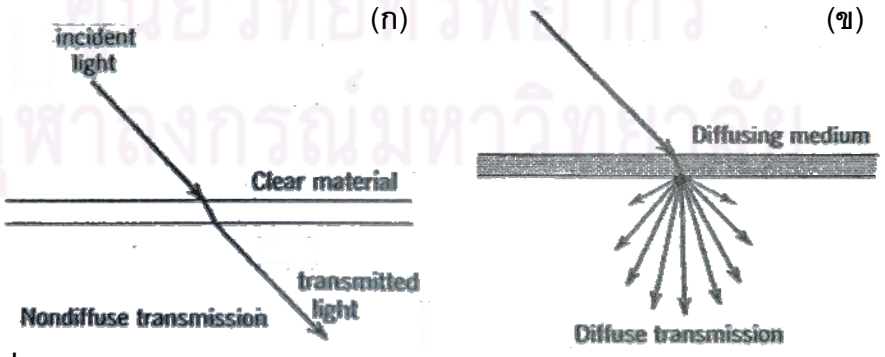
แสงที่เดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อยตกกระทบทำมุมใดๆ กับเส้นแนวฉากจะทำให้มุมหักเหของแสงเบนออกจากเส้นแนวฉาก ตามรูปที่ 8 (ก) แต่ถ้าแสงตกกระทบทำมุมหักเหเท่ากับมุมตกกระทบจะเรียกมุมที่เกิดขึ้นว่า มุมวิกฤต (Critical Angle) ตามรูปที่ 8 (ข) และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตจะเกิดการสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวกลางเดิมเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection) ตามรูปที่ 8 (ค)



รูปที่ 7 การเกิดการหักเห (ก) การเกิดมุมวิกฤต (ข) การเกิดการสะท้อนกลับหมด (ค) *[18]*

4. <u>การส่องผ่าน</u>

การเคลื่อนที่ของแสงผ่านตัวกลางที่ไม่ทึบแสงส่งผลให้เกิดการส่องผ่าน ซึ่งลักษณะของแสงที่ทะลุผ่านตัวกลางจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวกลาง หากตัวกลางโปร่งใส (Transparent Medium) จะยอมให้ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านไปได้เกือบทั้งหมดจนสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ ตามรูปที่ 9 (ก) หากตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่านไปได้แค่บางส่วน ทำให้แสงที่ทะลุผ่านจะเป็นลักษณะกระจายตัว ตามรูปที่ 9 (ข)

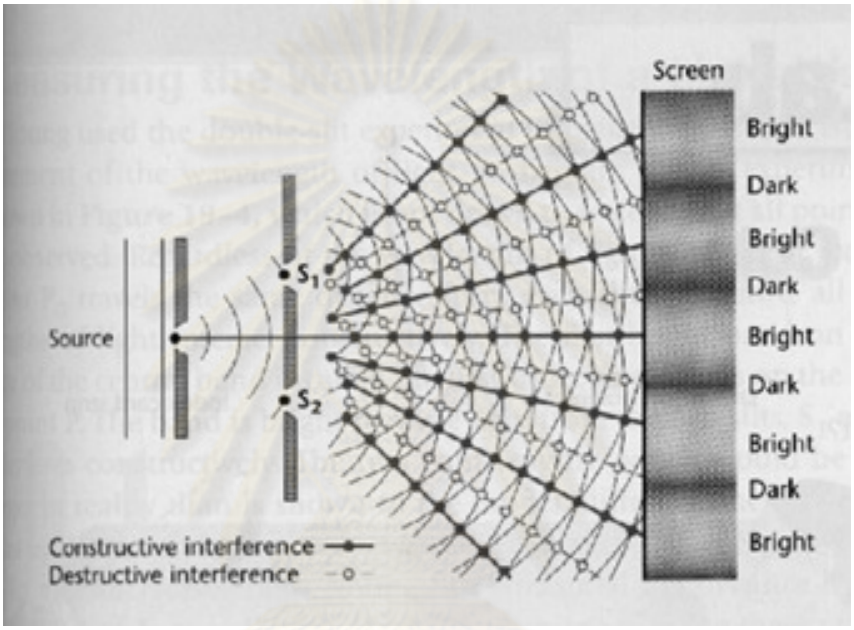


รูปที่ 8 การส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางโปร่งใส (ก) และตัวกลางโปร่งแสง (ข) *[17]*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. <u>การแทรกสอด</u>

การเคลื่อนที่ของแสงตั้งแต่สองขบวนขึ้นไปที่มีความถี่และเฟสที่เหมือนกันทุกประการเคลื่อนที่มาตัดกัน ทำให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างคลื่นแต่ละขบวน หากการแทรกสอดเป็นแบบเสริมกันจะเกิดแถบสว่าง หากการแทรกสอดเป็นแบบหักล้างกันจะเกิดแถบมืด ซึ่งจะเกิดแถบมืดและแถบสว่างสลับกันมีระยะห่างระหว่างแต่ละแถบเท่ากับความยาวคลื่น ตามรูปที่ 10



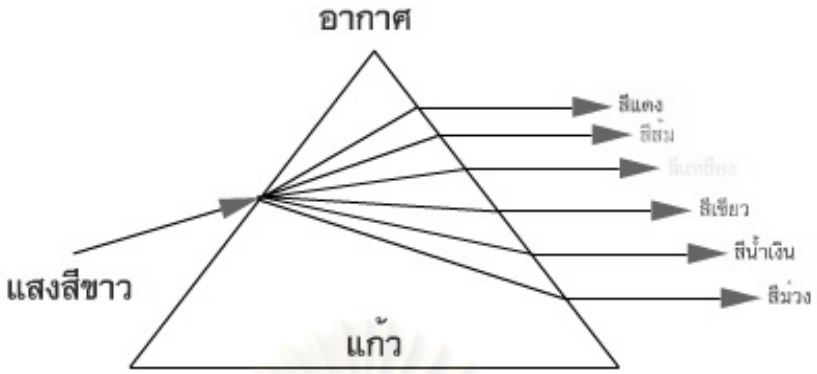
รูปที่ 9 การแทรกสอดของแสง *[19]*

6. <u>การเลี้ยวเบน</u>

การเคลื่อนที่ของแสงปะทะกับสิ่งกีดขวางที่ปิดกั้นเพียงบางส่วนของคลื่น ทำให้คลื่นส่วนหนึ่งอ้อมบริเวณของสิ่งกีดขวางแผ่ไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางนั้น

7. <u>การกระจาย</u>

การเคลื่อนที่ของแสงขาวที่ประกอบด้วยความยาวคลื่นและความถี่หลากหลายผสมกันผ่านแท่งแก้วปริซึม จะเกิดการหักเหสองครั้งที่ผิวของแท่งแก้วปริซึมทำให้แสงขาวแยกออกจากกันอย่างเป็นระเบียบเป็นแสงสีต่างๆ ตามความยาวคลื่นและความถี่เฉพาะตัว กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าการกระจายแสง ตามรูปที่ 11



รูปที่ 10 การกระจายของแสงขาว *[20]*

8. <u>การดูดกลืน</u>

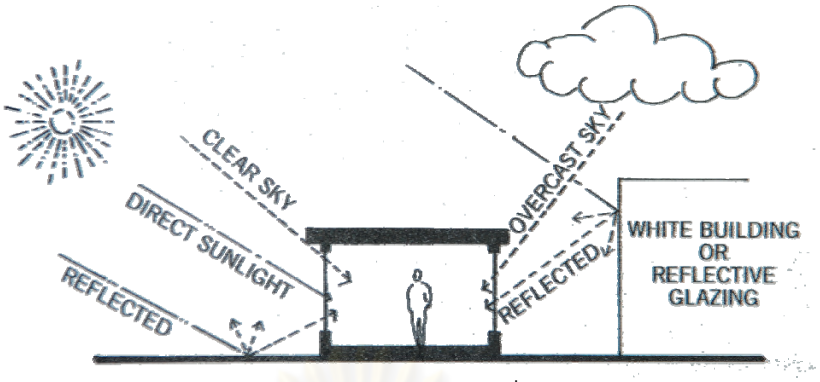
การเคลื่อนที่ของแสงกระทบตัวกลางและสูญเสียแสงส่วนหนึ่ง จากการดูดกลืนของตัวกลางกลาง โดยเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

9. <u>การลดทอนพลังงาน</u>

การเคลื่อนที่ของแสงที่ออกห่างจากแหล่งกำเนิดแสง จะมีความเข้มข้นของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทางจากที่ห่างแหล่งกำเนิดแสง โดยความเข้มข้นของพลังงานจะแปรผกผันกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดกำลังสอง

แสงธรรมชาติ

แสงขาวเป็นแสงที่ตอบสนองต่อสายตามนุษย์ได้ดีที่สุด และในเชิงจิตวิทยาแสงธรรมชาติจะส่งผลให้เกิดความรู้สึกมีชีวิตชีวาและกระตุ้นการตื่นตัว *[21]* ดังนั้นการนำแสงขาวจากธรรมชาติมาใช้จึงส่งผลในทางบวกต่อมนุษย์ในการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน นอกจากการให้สีของสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้องแล้วยังเป็นแสงที่ถือว่าได้เปล่าจากแหล่งกำเนิดแสงขาวในธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดนั่นคือดวงอาทิตย์ แสงจากดวงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะกระทบกับสภาพแวดล้อม ทำให้เกิดแหล่งกำเนิดแสงใหม่ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์, แสงสะท้อนจากท้องฟ้า และแสงสะท้อนจากพื้นผิวต่างๆ ตามรูปที่ 12

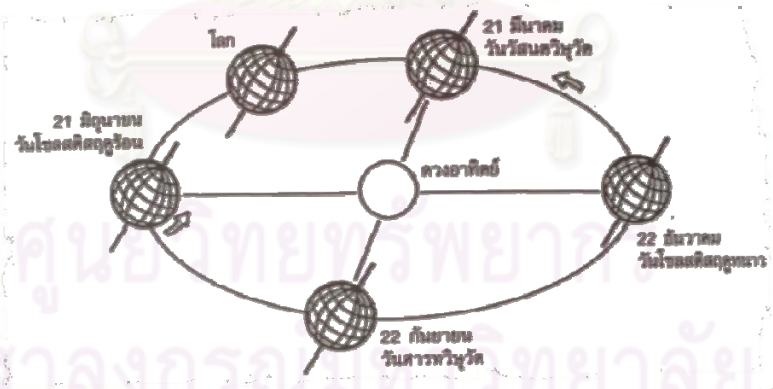


รูปที่ 11 แหล่งกำเนิดแสงขาวจากสิ่งแวดล้อม *[22]*

1. <u>แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sunlight)</u>

1.1 อิทธิพลจากวงโคจรของโลก

แสงตรงจากดวงอาทิตย์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยสภาพแวดล้อม ทำให้มีความเข้มแสงและผลกระทบต่อโลกมากกว่าแสงจากแหล่งกำเนิดแบบอื่น วงโคจรของโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี ในขณะที่โลกหมุนรอบตัวเอง โดยมีแกนหมุนเอียงประมาณ 23.5 องศา ทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ ส่งผลต่อปรากฏการณ์ที่หลากหลายบนโลก รูปที่ 13 แสดงวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ของโลก ประกอบด้วยแกนหลักสองแกน คือ

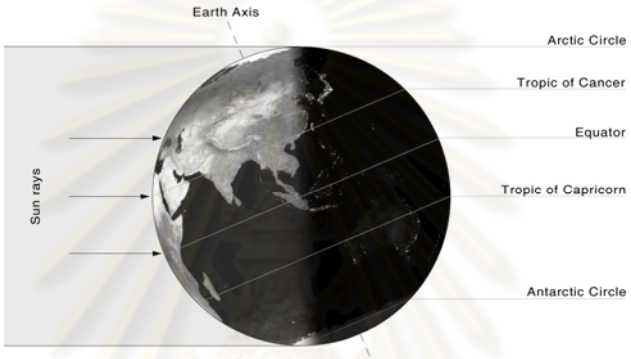


รูปที่ 12 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และตำแหน่งของโลกที่สำคัญ *[23]*

1.1.1 แกนเอกของวงรี

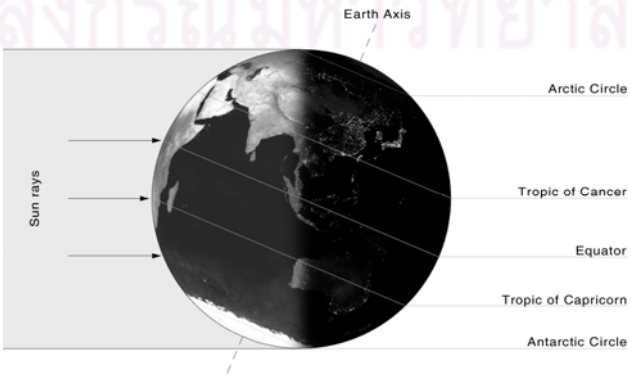
การโคจรของโลกบนแนวแกนเอกมีตำแหน่งที่สำคัญแสดงตามรูปที่ 13 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่โลกมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อประกอบกับการเอียงของแกนโลก ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันกับกลางคืนในวันเดียวกันมีความแตกต่างกันมากที่สุดของปี และเรียกวันดังกล่าวว่า วันอายัน (Solstice)

ตำแหน่งที่ตรงกับวันที่ 21 มิถุนายน ของทุกปีเป็นวันที่แสงจากดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกที่เส้นรุ้ง 23.5 องศา เหนือ (Tropic of Cancer) ทำให้พื้นโลกในซีกโลกเหนือมีเวลาในช่วงกลางวันยาวนานกว่าช่วงกลางคืน สำหรับพื้นโลกตั้งแต่เส้นรุ้ง 66.5 องศา เหนือ (Arctic Circle) ถึงขั้วโลกเหนือจะมีเวลาในช่วงกลางวัน 24 ชั่วโมง และพื้นโลกในซีกโลกใต้มีเวลาในช่วงกลางคืนยาวนานกว่าช่วงกลางวัน สำหรับพื้นโลกตั้งแต่เส้นรุ้ง 66.5 องศา ใต้ (Antarctic Circle) ถึงขั้วโลกใต้จะมีเวลาในช่วงกลางคืน 24 ชั่วโมง ตามรูปที่ 14 เรียกว่า ครีษมายัน (Summer Solstice)



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ของแสงจากดวงอาทิตย์กับโลกในปรากฏการณ์ครีษมายัน *[24]*

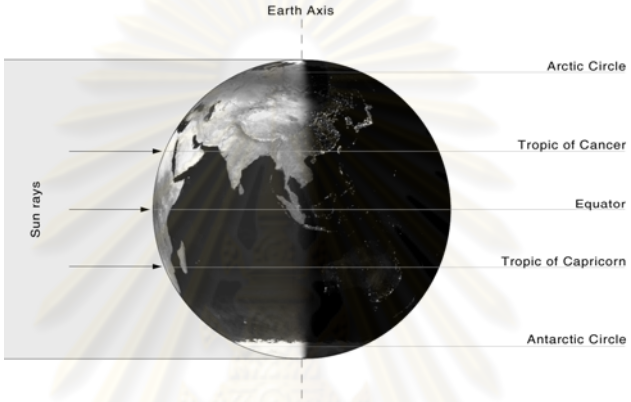
ตำแหน่งที่ตรงกับวันที่ 22 ธันวาคม ของทุกปีเป็นวันที่แสงจากดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกที่เส้นรุ้ง 23.5 องศา ใต้ (Tropic of Capricorn) ทำให้พื้นโลกในซีกโลกเหนือมีเวลาในช่วงกลางคืนยาวนานกว่าช่วงกลางวัน สำหรับพื้นโลกตั้งแต่เส้นรุ้ง 66.5 องศา เหนือ ถึงขั้วโลกเหนือ จะมีเวลาในช่วงกลางคืน 24 ชั่วโมง และพื้นโลกในซีกโลกใต้มีเวลาในช่วงกลางวันยาวนานกว่าช่วงกลางคืน สำหรับพื้นโลกตั้งแต่เส้นรุ้ง 66.5 องศา ใต้ ถึงขั้วโลกใต้จะมีเวลาในช่วงกลางวัน 24 ชั่วโมง ตามรูปที่ 15 เรียกว่า เหมายัน (Winter Solstice)



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของแสงจากดวงอาทิตย์กับโลกในปรากฏการณ์เหมายัน *[25]*

1.1.2 แกนโทของวงรี

การโคจรของโลกบนแนวแกนโทมีตำแหน่งที่สำคัญแสดงตามรูปที่ 13 เป็นตำแหน่งที่แสงจากดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกที่เส้นศูนย์สูตร ซึ่งวันตำแหน่งทั้งสองจะมีเวลาในช่วงกลางวันเท่ากับเวลาในช่วงกลางคืน ตามรูปที่ 16 เรียกวันดังกล่าวว่า วันวิษุวัต (Equinox) ตำแหน่งที่ตรงกับวันที่ 21 มีนาคม ของทุกปีเรียกว่า วสันตวิษุวัต (Vernal Equinox) และตำแหน่งที่ตรงกับวันที่ 22 กันยายน ของทุกปีเรียกว่า ศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox)



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของแสงจากดวงอาทิตย์กับโลกในปรากฏการณ์วันวิษุวัต *[26]*

1.2 การกำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์

การหาตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้อ้างอิงในการคำนวณแสงธรรมชาติสำหรับการใช้งานในแต่ละพื้นที่ จำเป็นต้องพิจารณาเสมือนว่าโลกอยู่กับที่และดวงอาทิตย์โคจรรอบโลกเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยใช้จุดอ้างอิงบนพื้นโลกจากมุมมองศาของเส้นรุ้ง (Latitude) และเส้นแวง (Longitude) มีมุมที่ใช้ระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ดังนี้

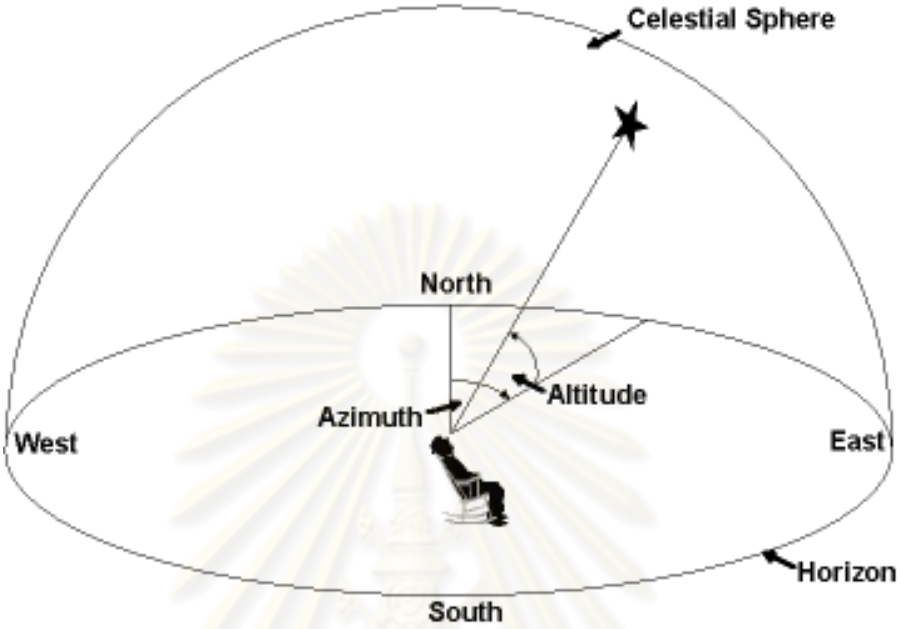
1.2.1 มุมอัลติจูด (Solar Altitude Angle)

มุมอัลติจูดหรือมุมเงยคือมุมที่ทิศทางแสงแดดกระทำกับพื้นโลกตามรูปที่ 17 โดยที่ค่าของมุมเงยอยู่ในช่วง 0 ถึง 90 องศา และมีค่าเป็นบวกเสมอ เมื่อพิจารณาตามเส้นทางพาดผ่านพื้นโลกของดวงอาทิตย์ (Sun Path)

1.2.2 มุมอะซิมุธ (Solar Azimuth Angle)

มุมอะซิมุธคือมุมที่ทิศทางแสงแดดกระทำกับแกนเหนือ-ใต้ของโลก ตามรูปที่ 17 โดยที่ค่าของมุมอะซิมุธอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศา เมื่อค่าของมุมอะซิมุธเริ่มจาก

ศูนย์ในทิศเหนือทิศทางของแสงแดดที่ตามเข็มนาฬิกามาทางทิศตะวันออกมุมอะซิมุธจะมีค่าเป็นบวก และทิศทางของแสงแดดที่ทวนเข็มนาฬิกามาทางทิศตะวันตกมุมอะซิมุธจะมีค่าเป็นลบ



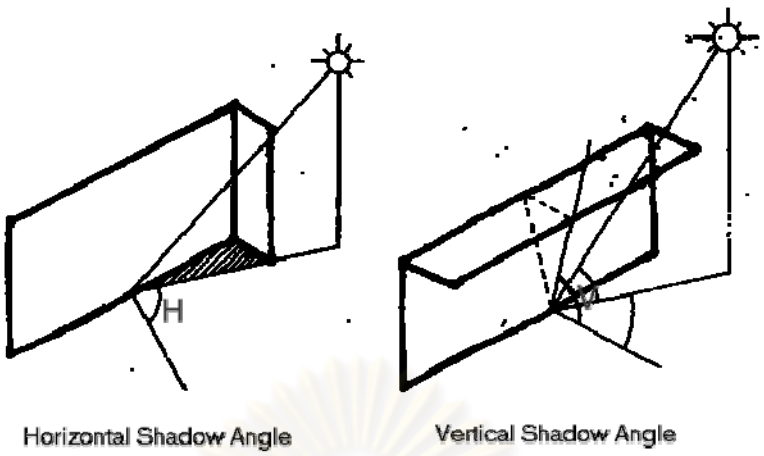
รูปที่ 16 ตำแหน่งของมุมเงยและมุมอะซิมุธ *[27]*

1.2.3 มุมเงาแนวราบ (Horizontal Shadow Angle: H.S.A.)

มุมเงาแนวราบคือมุมที่ทิศทางแสงแดดกระทำกับแนวตั้งฉากผนังแนวดิ่ง ตามรูปที่ 18 ทำให้เกิดเงาในแนวราบบนพื้น โดยค่าของมุมเงาแนวราบอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศา เมื่อค่าของมุมเงาแนวราบเริ่มจากศูนย์ในทิศทางเดียวกับการหันของผนังแนวดิ่ง ทำให้ค่าของมุมเงาแนวราบที่หมุนทวนเข็มนาฬิกามีค่าเป็นลบและค่าของมุมเงาแนวราบที่หมุนตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวก ค่าของมุมเงาแนวราบที่มากกว่า 90 องศา หรือน้อยกว่า -90 องศา จะทำให้ผนังแนวดิ่งที่พิจารณาไม่โดนแสงแดด

1.2.4 มุมเงาแนวดิ่ง (Vertical Shadow Angle: V.S.A.)

มุมเงาแนวดิ่งคือมุมที่ทิศทางแสงแดดที่ถูกบังเงาจากผนังแนวราบกระทำกับพื้นโลก ตามรูปที่ 18 ทำให้เกิดเงาในแนวดิ่งบนผนัง โดยค่าของมุมเงาแนวราบอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศา ค่าของมุมเงาแนวดิ่งเป็นบวกเสมอและค่าของมุมเงาแนวดิ่งที่มากกว่า 90 องศา จะทำให้ผนังแนวดิ่งที่พิจารณาไม่โดนแสงแดด



รูปที่ 17 มุมเงาแนวราบและมุมเงาแนวดิ่ง *[28]*

1.3 ลักษณะของแสงตรงจากดวงอาทิตย์

ค่าความส่องสว่าง ค่าความสว่าง และอุณหภูมิสีของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่พระอาทิตย์ทำมุมสูงสุดและต่ำสุดกับพื้นโลก สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของคุณสมบัติเฉพาะตัวได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ลักษณะของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ *[29]*

ช่วงเวลาของแสงแดด	**ความส่องสว่าง** (fc)	**ความสว่าง** (cd/m^2)	**อุณหภูมิสี** (°k)
ช่วงเวลาเที่ยงวัน	8,000 - 10,000	1,600,000,000	5,500
ช่วงเวลาเช้าและเย็น	3,000 - 8,000	6,000,000	2,000

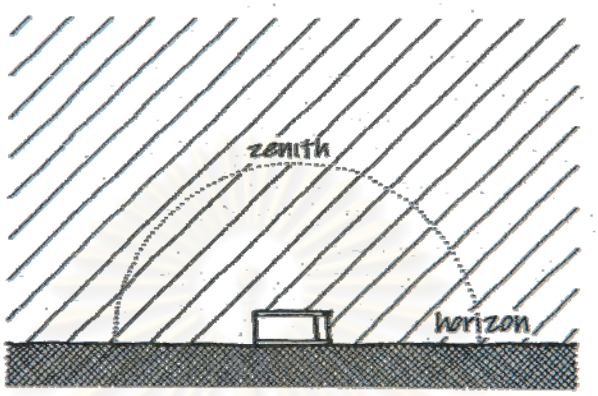
2. <u>แสงสะท้อนจากท้องฟ้า</u>

แสงจากดวงอาทิตย์ที่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยสภาพบรรยากาศ ทำให้แสงเกิดการกระจายไปทุกทิศทาง สามารถแบ่งชนิดตามแหล่งกำเนิดได้ ดังนี้

2.1 สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)

สภาพท้องฟ้าโปร่งหมายถึงสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆน้อยกว่า 30% ปกคลุมพื้นที่ท้องฟ้า ตามรูปที่ 19 แสงสว่างที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบสภาพท้องฟ้าโปร่งได้รับความสว่างจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากการสะท้อนของท้องฟ้า ซึ่งปริมาณความ

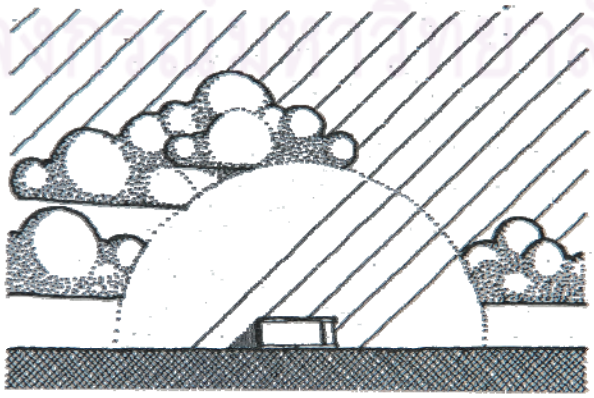
ส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กำหนดด้วยมุมเงยที่กระทำกับพื้นโลก โดยปริมาณความส่องสว่างที่มุมต่ำสุดในแนวดิ่ง (Horizon) มีค่าประมาณ 3 เท่าของปริมาณความส่องสว่างที่มุมสูงสุดในแนวดิ่ง (Zenith) เมื่อไม่พิจารณามุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์



รูปที่ 18 สภาพท้องฟ้าโปร่ง *[30]*

2.2 สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

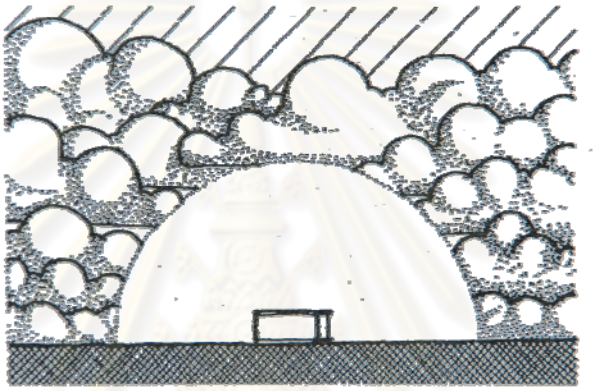
สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมบางส่วนหมายถึงสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆ 30 - 70% ปกคลุมพื้นที่ท้องฟ้า ตามรูปที่ 20 แสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงแบบสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนไม่สามารถระบุค่าที่เที่ยงตรงได้เนื่องจากสภาพท้องฟ้าจะมีเมฆเคลื่อนที่ตลอดเวลา ดังนั้นการระบุปริมาณความส่องสว่างจึงต้องเปรียบเทียบกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง โดยปกติหากเมฆมีสีอ่อนและหนาแน่นน้อย เช่น เมฆในสภาวะทั่วไป ปริมาณความส่องสว่างจะมีค่ามากกว่าสภาพท้องฟ้าโปร่งเพราะเมฆช่วยเพิ่มการสะท้อนแสงในท้องฟ้า หากเมฆมีสีเข้มและหนาแน่นมาก เช่น เมฆฝน ปริมาณความส่องสว่างจะมีค่าน้อยกว่าสภาพท้องฟ้าโปร่งเพราะเมฆดูดกลืนแสงในท้องฟ้า



รูปที่ 19 สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมบางส่วน *[30]*

2.3 สภาพท้องฟ้าปิด (Overcast Sky)

สภาพท้องฟ้าปิดหมายถึงสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมากกว่า 70% ปกคลุมพื้นที่ท้องฟ้า ตามรูปที่ 21 ซึ่งปริมาณความส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กำหนดด้วยมุมเงยที่กระทำกับพื้นโลก โดยปริมาณความส่องสว่างที่มุมสูงสุดในแนวดิ่ง มีค่าประมาณ 3 เท่าของปริมาณความส่องสว่างที่มุมต่ำสุดในแนวดิ่ง แต่หากสภาพท้องฟ้าปิดมีเมฆปกคลุมอย่างสม่ำเสมอแบบอุดมคติ (Uniform Sky) ปริมาณความส่องสว่างที่มุมสูงสุดในแนวดิ่งจะมีค่าเท่ากับปริมาณความส่องสว่างที่มุมต่ำสุดในแนวดิ่ง



รูปที่ 20 สภาพท้องฟ้าปิด *[30]*

2.4 ลักษณะของแสงสะท้อนจากท้องฟ้า

ค่าความส่องสว่าง ค่าความสว่าง และอุณหภูมิสีของแสงสะท้อนจากสภาพท้องฟ้า สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของคุณสมบัติเฉพาะตัวได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะของแสงสะท้อนจากท้องฟ้า *[29]*

สภาพท้องฟ้า	**ความส่องสว่าง** (fc)	**ความสว่าง** (cd/m^2)	**อุณหภูมิสี** (°k)
ท้องฟ้าโปร่ง	1,000 - 2,000	8,000	10,000
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม	500 - 5,000	2,000	7,500

3. <u>แสงสะท้อนจากสิ่งแวดล้อม</u>

แสงนี้เป็นที่เกิดขึ้นมาจากการสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์กับสภาพแวดล้อม ทำให้คุณสมบัติของแสงจากดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าการสะท้อนขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวที่แสงจากดวงอาทิตย์ไปตกกระทบ ในสภาพสิ่งแวดล้อมทั่วไปแสงสะท้อนจากดวงอาทิตย์จะได้รับอิทธิพลมาจากพื้นผิวโลกและความอ่อน-เข้มของสีบนพื้นผิวสิ่งปลูกสร้างเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไปแสงสะท้อนจากพื้นดินมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10 - 15% *[31]* ของปริมาณแสงที่ตกกระทบ และแสงสะท้อนจากสีของสิ่งปลูกสร้างมีค่าอยู่ในช่วง 2 - 90% ของปริมาณแสงที่ตกกระทบ ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบการสะท้อนแสงของสีต่างๆ *[32]*

สี	อัตราการสะท้อนแสง	สี	อัตราการสะท้อนแสง
ขาว	80 - 90%	ฟ้า	35 - 50%
งาช้าง	70 - 80%	เขียวอ่อน	25 - 50%
เหลือง	65 - 75%	เขียวแก่	15 - 25%
ครีม	65 - 75%	แดง	15 - 25%
ชมพู่อ่อนอมม่วง	60 - 65%	น้ำเงินแก่	10 - 20%
เหลืองออกน้ำตาล	55 - 65%	น้ำตาล	8 - 12%
ชมพู	40 - 70%	แดงเข้ม	7%
เทา	35 - 50%	ดำ	2 - 5%

ทฤษฎีการส่องสว่าง

1. <u>หน่วยของปริมาณแสงสว่าง</u>

1.1 ปริมาณแสงสว่าง (Luminous Flux)

ปริมาณแสงสว่างหรือฟลักซ์ส่องสว่างคือจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะอยู่ในรูปของอัตราการไหลของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา ค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีปริมาณความเข้มแห่งการส่อง

สว่าง 1 แรงเทียน หรือ 1 แคนเดลา (candela: cd) เมื่อตกลงบนพื้นผิวหนึ่งตารางหน่วยของทรงกลมภายในมุมเชิงของแข็ง (Solid Angle: ω) จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน

1.2 ปริมาณความส่องสว่าง (Illuminance)

ปริมาณความส่องสว่างคือปริมาณแสงสว่างต่อพื้นที่ที่แสงสว่างนั้นตกกระทบบนพื้นผิวใดๆ มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) เมื่อปริมาณแสงสว่างตกกระทบบนพื้นผิวที่มีหน่วยเป็นตารางเมตร และมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล (footcandle: fc) เมื่อปริมาณแสงสว่างตกกระทบบนพื้นผิวที่มีหน่วยเป็นตารางฟุต

1.3 ปริมาณความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity)

ปริมาณความเข้มแห่งการส่องสว่างคือจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อมุมเชิงของแข็ง

1.4 ปริมาณความสว่าง (Luminance)

ปริมาณความสว่างคือปริมาณความเข้มแห่งการส่องสว่างต่อพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบแล้วสะท้อนกลับหรือส่องผ่านเข้าสู่ตาผู้สังเกต มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อหน่วยพื้นที่

1.5 ปริมาณความจ้าของแสงสว่าง (Luminous Exitance)

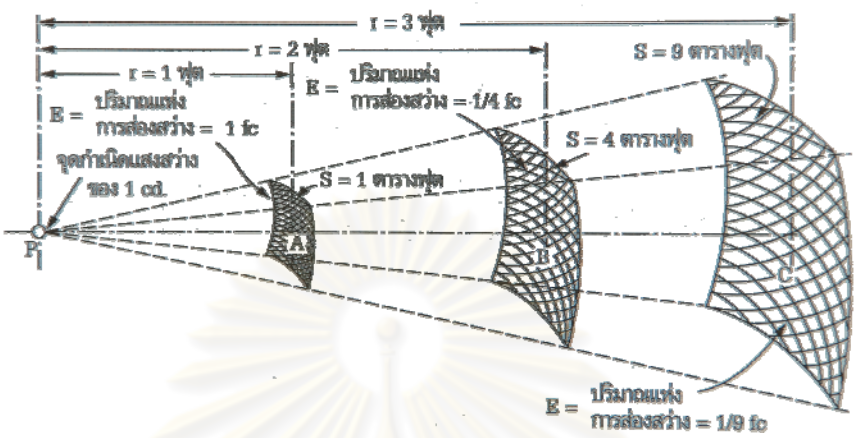
ปริมาณความจ้าของแสงสว่างคือจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่สะท้อนหรือส่องผ่านต่อพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อหน่วยพื้นที่ ปริมาณความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนออกจากพื้นผิววัตถุเข้าหาตาผู้สังเกต สามารถวัดค่าต่อ 1 หน่วยพื้นที่ของการสะท้อนแสงหรือส่องผ่านแสงได้ และจะมีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (footlambert)

2. <u>กฎของการส่องสว่าง</u>

2.1 กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law)

กฎกำลังสองผกผันของแสงสว่างคือความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างกับปริมาณความเข้มแห่งการส่องสว่างและระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสง โดยปริมาณความ

ส่องสว่างบนพื้นผิวใดๆ จะแปรผันตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างและแปรผกผันกับระยะทางจากพื้นผิวใดๆ ถึงแหล่งกำเนิดแสงยกกำลังสอง ตามรูปที่ 22



รูปที่ 21 ธรรมชาติของแสงสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน *[33]*

2.2 กฎโคไซน์ของแลมเบิร์ต (Lambert's Cosine Law)

การหาปริมาณความส่องสว่างตามกฎกำลังสองผกผันสามารถใช้ได้ในกรณีที่พื้นผิวที่พิจารณามีแนวตั้งฉากกับแนวทิศทางปริมาณความเข้มแห่งการส่องสว่างเท่านั้น ดังนั้นกฎโคไซน์ของแลมเบิร์ตที่กล่าวไว้ว่า "ปริมาณความส่องสว่างจะแปรผันไปตามค่าโคไซน์ของมุมที่เปลี่ยนไปจากแนวตั้งฉาก หรือมุมที่เอียงไปจากแนวตั้งฉาก" *[34]* จึงนำมาใช้ในกรณีที่พื้นผิวที่พิจารณามีแนวไม่ตั้งฉากกับแนวทิศทางปริมาณความเข้มแห่งการส่องสว่าง

ระดับความส่องสว่างภายในอาคาร

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (Illuminating Engineering Association of Thailand: TIEA) ได้กำหนดข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทย เพื่อใช้อ้างอิงในการออกแบบ ติดตั้ง ปรับปรุง และบำรุงรักษาระบบแสงสว่างที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยโดยตรง ซึ่งข้อแนะนำสำหรับอาคารสำนักงานทั่วไปในประเทศไทยแสดงตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารสำนักงานทั่วไปในประเทศไทย *[35]*

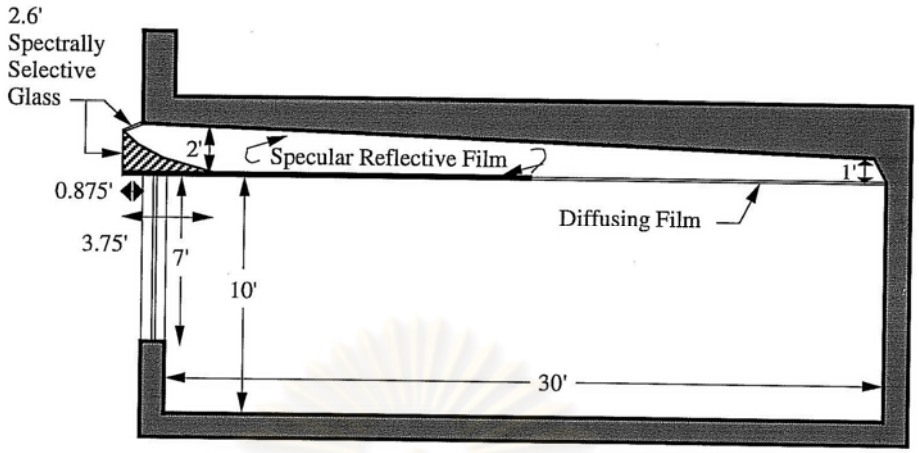
ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)
พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100
บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150
ห้องน้ำ ห้องสุขา	200
พื้นที่เก็บเอกสาร ถ่ายเอกสาร	300
พื้นที่ที่มีการเขียน พิมพ์ อ่าน ใช้คอมพิวเตอร์	500
พื้นที่ที่ใช้สำหรับเขียนแบบ	750
ห้องประชุม	300
พื้นที่เคาร์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ต้อนรับ	300
ห้องเก็บเอกสารสำคัญ	200

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบท่อนำแสงแนวนอนเป็นเทคนิคหนึ่งที่นำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อนำแสงแนวนอนมาอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อนำแสงแนวนอนที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มีดังนี้

1. <u>ตัวอย่างงานวิจัยในปี 2539</u>

งานวิจัยของ Beltran, L.O., Lee, E.S. และ Selkowitz, S.E. *[8]* ได้ศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอน โดยออกแบบห้องทดลองขนาด 20 x 30 x 10 ฟุต มีค่าการสะท้อนแสงของเพดาน 0.76% ผนัง 0.44% พื้น 0.21% ซึ่งมีช่องแสงด้านข้างสูง 7 ฟุต และติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนเหนือฝ้าเพดาน ตามรูปที่ 23



รูปที่ 22 รูปตัดตามยาวของห้องทดลองที่ Beltran, L.O. และคณะ ทำการศึกษา *[8]*

Beltran, L.O. และคณะ ได้ออกแบบระบบท่อนำแสงแนวนอนจำนวนสี่รูปแบบที่เน้นความแตกต่างกันของรูปแบบส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสง ดังนี้

1.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนพื้นฐาน

ลักษณะเป็นท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมมีขนาดหน้าตัดบริเวณช่องรับแสง 2 x 2 ฟุต และขนาดหน้าตัดที่ปลายท่อ 1 x 2 ฟุต ความยาวของท่อ 30 ฟุต เท่ากับความยาวของห้องทดลอง รูปแบบของส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงขนาด 2 x 4 ฟุต วัสดุภายในระบบท่อนำแสงแนวนอนมีค่าการสะท้อนแสง 95% รูปแบบของส่วนกระจายแสงเป็นแผ่นฟิล์มที่มีค่าการส่องผ่าน 88% ขนาด 2 x 15 ฟุต ติดตั้งในส่วนท้ายท่อ ตามรูปที่ 24 (a)

1.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอน A

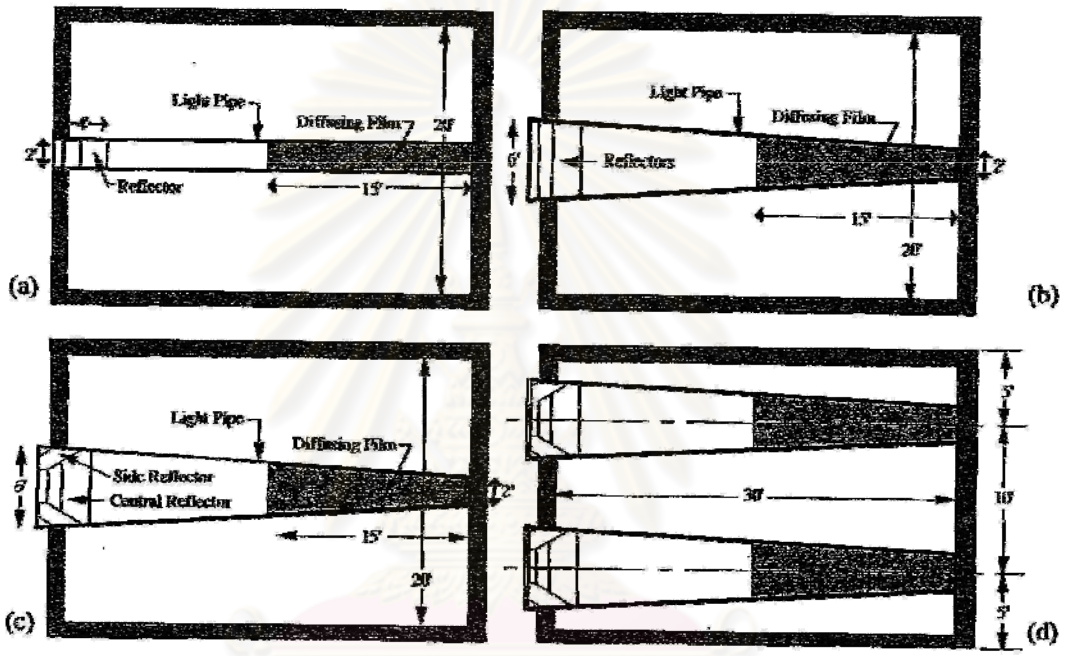
ลักษณะเหมือนระบบท่อนำแสงแนวนอนพื้นฐานยกเว้นส่วนรวมแสงที่เป็นตัวสะท้อนแสงได้เพิ่มพื้นที่ในการรับแสงเป็น 2 x 6 ฟุต และรูปแบบของท่อเปลี่ยนตามรูปแบบตัวสะท้อนแสง ตามรูปที่ 24 (b)

1.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอน B

ลักษณะเหมือนระบบท่อนำแสงแนวนอน A ยกเว้นส่วนรวมแสงที่เป็นตัวสะท้อนแสงได้เพิ่มตัวสะท้อนแสงด้านข้างในทั้งสองด้านของตัวสะท้อนแสงเดิม ตามรูปที่ 24 (c)

1.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอน C

ลักษณะเหมือนระบบท่อนำแสงแนวนอน B ยกเว้นส่วนนำพาแสงที่เป็นท่อได้เพิ่มเฉพาะความกว้างของปลายท่อด้านที่ติดกับเพดานห้องเป็น 3 ฟุต ทำให้หน้าตัดของท่อเปลี่ยนจากสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู และในการทดลองระบบท่อนำแสงแนวนอน C ได้ศึกษาการใช้ระบบท่อนำแสงแนวนอน C สองชุดภายในห้องเพิ่มเติมด้วย ตามรูปที่ 24 (d)

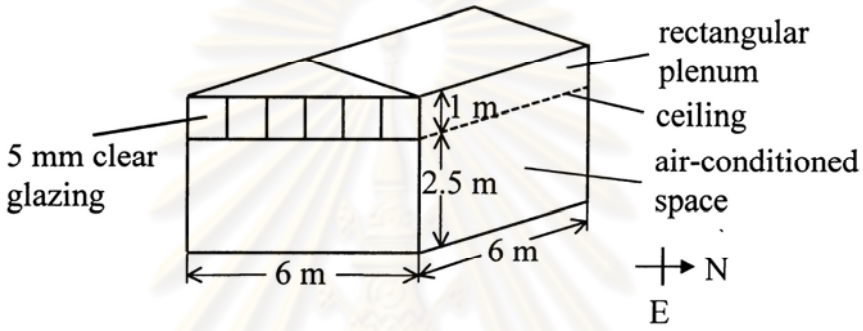


รูปที่ 23 รูปผังพื้นของระบบท่อนำแสงแนวนอนพื้นฐาน (a) รูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน A (b) รูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน B (c) และรูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน C (d) ที่ Beltran, L.O. และคณะ ทำการศึกษา *[8]*

ผลการศึกษาของ Beltran, L.O. และคณะ ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งของลอสแองเจลิสที่เส้นรุ้ง 34 องศา เหนือ โดยหันระบบท่อนำแสงไปทางทิศใต้และใช้โปรแกรม Sun Sky and Ground: SSG ช่วยในการคำนวณเพื่อให้ได้ผลจากแสงธรรมชาติมีความแม่นยำตลอดทั้งปี พบว่า รูปแบบของระบบท่อนำแสง C ดีที่สุดบนระนาบพื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 2.5 ฟุต ที่ระยะห่างจากช่องแสงด้านข้าง 27.5 ฟุต สามารถให้ปริมาณความส่องสว่างมากกว่า 200 ลักซ์ ตลอดทั้งปี ในช่วงเวลา 8:30 - 15:30 น. เมื่อพิจารณาร่วมกับแสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้างการใช้ระบบท่อนำแสง C เพียงหนึ่งชุดติดตั้งที่ระยะห่างจากช่องแสงด้านข้าง 15 - 20 ฟุต ก็เพียงพอที่ให้ปริมาณความส่องสว่างอย่างทั่วถึงพื้นที่ทั่วทั้งห้องขนาด 20 x 30 ฟุต

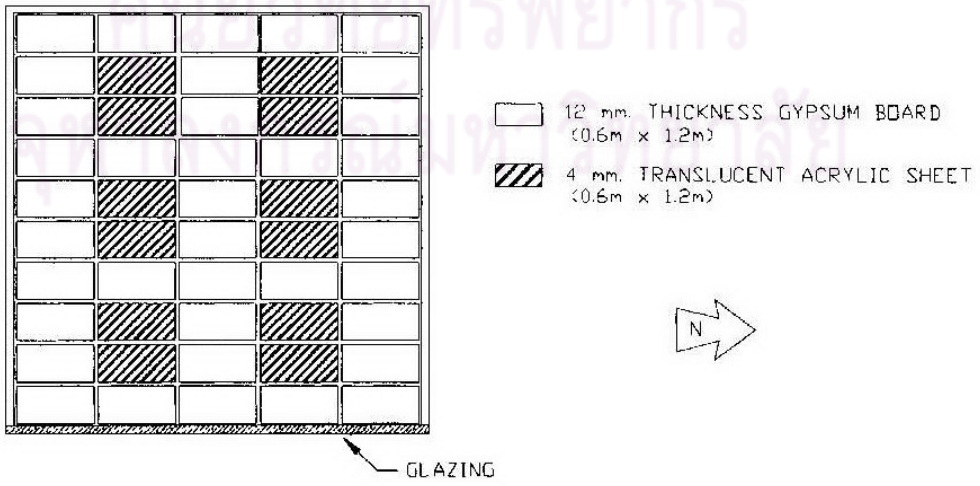
2. <u>ตัวอย่างงานวิจัยในปี 2543</u>

งานวิจัยของ Surapong Chirarattananon, Siriwat Chedsiri และ Renshen, L. *[11]* ได้ศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอน โดยออกแบบห้องทดลองขนาด 6.0 x 6.0 x 2.5 เมตร และใช้พื้นที่ใต้หลังคาเหนือฝ้าเพดานทั้งหมดเป็นระบบท่อนำแสงแนวนอนขนาดใหญ่ โดยมีขนาด 6.0 x 6.0 x 1.0 เมตร พื้นผิวภายในทาด้วยสีขาว และในด้านทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนติดตั้งกระจกใสสำหรับเป็นช่องรับแสง ตามรูปที่ 25



รูปที่ 24 ลักษณะห้องทดลองที่ Surapong Chirarattananon และคณะ ทำการศึกษา *[11]*

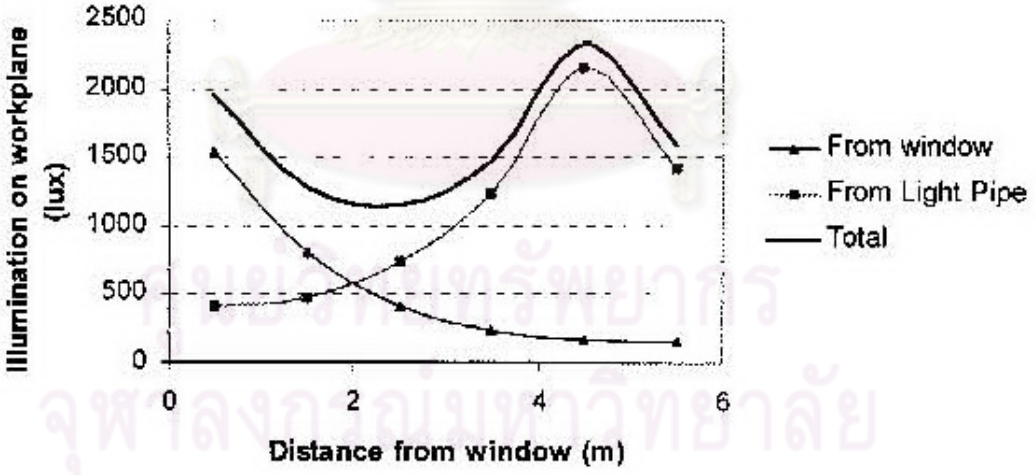
บริเวณด้านล่างของระบบท่อนำแสงแนวนอนหรือเพดานของห้องทดลองจะติดแผ่นอะครีลิคโปร่งแสงสำหรับเป็นช่องเปิดเพื่อส่องผ่านแสงจากระบบท่อนำแสงแนวนอนลงไปยังห้องทดลอง โดยช่องเปิดมีจำนวนทั้งหมดหกช่องและมีตำแหน่งเรียงเป็นแถวคู่ตามแนวแกนทิศตะวันออก-ตะวันตกที่กระทำกับห้องทดลอง ตามรูปที่ 26



รูปที่ 25 ผังฝ้าเพดานห้องทดลองที่ Surapong Chirarattananon และคณะ ทำการศึกษา *[11]*

ผลการศึกษาของ Surapong Chirarattananon และคณะ ที่ทดลองในสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology: AIT) จังหวัดปทุมธานี โดยมีการเก็บข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าโปร่งช่วงเวลา 9:00 - 12:00 น. พบว่า ที่ระยะ 1.8 เมตร จากผนังด้านทิศตะวันออกของห้องทดลองปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมีค่ามากกว่า 1,000 ลักซ์ ตั้งแต่ช่วงเวลา 9:00 - 10:00 น. และปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ ตั้งแต่ช่วงเวลา 9:00 - 11:30 น. สำหรับที่ระยะ 4.2 เมตร จากผนังด้านทิศตะวันออกของห้องทดลองปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ ตั้งแต่ช่วงเวลา 9:00 - 9:30 น. และปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมีค่ามากกว่า 300 ลักซ์ ตั้งแต่ช่วงเวลา 9:00 - 11:00 น.

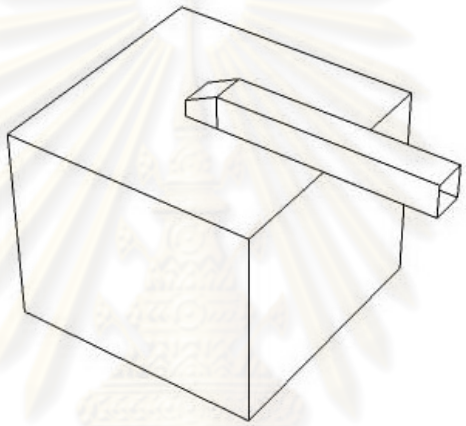
จากผลการศึกษาข้างต้น Surapong Chirarattananon และคณะ ได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยปรับรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนให้เหลือขนาด 2.0 x 6.0 เมตร และปรับปรุงวัสดุภายในให้ค่าการสะท้อนแสงเพิ่มมากขึ้น และทดลองในวันที่ 21 ธันวาคม เวลา 10:00 น. ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาควบคู่กับช่องแสงด้านข้าง พบว่า บนระนาบพื้นที่ทำงานมีปริมาณความส่องสว่างมากกว่า 1,000 ลักซ์ ตลอดความยาวของห้องทดลอง ตามรูปที่ 27



รูปที่ 26 ผลการประยุกต์ใช้ระบบท่อนำแสงแนวนอนกับช่องแสงด้านข้างที่ Surapong Chirarattananon และคณะ ทำการศึกษา *[11]*

3. <u>ตัวอย่างงานวิจัยในปี 2550</u>

งานวิจัยของบรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร *[7]* ได้ศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอน โดยออกแบบหุ่นจำลองเทียบเท่าอาคารพักอาศัยจริงที่มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 2.6 เมตร และระดับระนาบพื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.8 เมตร ในมาตราส่วน 1:3 ทำให้ได้หุ่นจำลองขนาด 0.6 x 0.6 x 0.6 เมตร ภายในหุ่นจำลองทาสีเทาเพื่อลดการสะท้อนแสงจากพื้นผิวเนื่องจากต้องการศึกษาเฉพาะอิทธิพลจากระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างภายในเท่านั้น ซึ่งระบบท่อนำแสงแนวนอนจะติดตั้งที่ส่วนบนของหุ่นจำลอง ตามรูปที่ 28



รูปที่ 27 หุ่นจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา *[7]*

บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ได้แยกการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนเป็นสี่ส่วน ซึ่งเน้นการศึกษาในส่วนนำพาแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอน มีรายละเอียดดังนี้

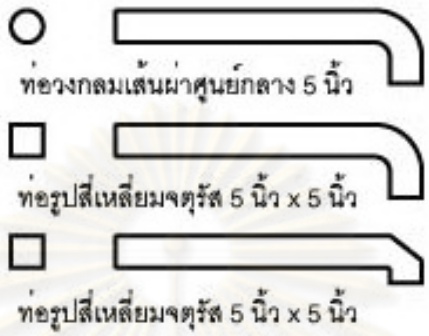
1.1 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติ

ศึกษาความแตกต่างของทิศทางการรับแสงธรรมชาติระหว่างทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก โดยใช้รูปแบบส่วนนำพาแสงที่มีลักษณะเป็นท่อหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว พร้อมข้อต่อโค้ง มีความยาว 1.2 เมตร และวัสดุท่อเป็นอะลูมิเนียมที่มีค่าการสะท้อนแสง 95%

1.2 รูปแบบของส่วนนำพาแสง

ศึกษาความแตกต่างของรูปแบบส่วนนำพาแสงระหว่างรูปแบบท่อหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว พร้อมข้อต่อโค้ง รูปแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5

x 5 นิ้ว พร้อมข้อต่อโค้ง และรูปแบบท่อหน้าสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 x 5 นิ้ว พร้อมข้อต่อแบบเรียบ ซึ่งทั้งสามรูปแบบมีความยาว 1.2 เมตร และวัสดุท่อเป็นอะลูมิเนียมที่มีค่าการสะท้อนแสง 95% โดยกำหนดให้ระบบท่อนำแสงแนวนอนรับแสงธรรมชาติจากทางทิศเหนือ ตามรูปที่ 29



รูปที่ 28 รูปแบบของส่วนนำพาแสงที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา *[7]*

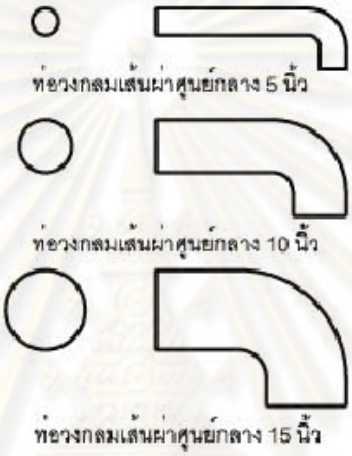
1.3 ความยาวของส่วนนำพาแสง

ศึกษาความแตกต่างของความยาวส่วนนำพาแสงระหว่างท่อที่มีความยาว 1.2 เมตร ความยาว 0.9 เมตร และความยาว 0.6 เมตร ซึ่งทั้งสามรูปแบบใช้รูปแบบส่วนนำพาแสงที่มีลักษณะเป็นท่อหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว พร้อมข้อต่อโค้ง และวัสดุท่อเป็นอะลูมิเนียมที่มีค่าการสะท้อนแสง 95% โดยกำหนดให้ระบบท่อนำแสงแนวนอนรับแสงธรรมชาติจากทางทิศเหนือ ตามรูปที่ 30

รูปที่ 29 ความยาวของส่วนนำพาแสงที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา *[7]*

1.4 ขนาดของส่วนนำพาแสง

ศึกษาความแตกต่างของขนาดส่วนนำพาแสงระหว่างท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว และเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 นิ้ว ซึ่งทั้งสามรูปแบบใช้รูปแบบส่วนนำพาแสงที่มีลักษณะเป็นท่อหน้าตัดวงกลมมีความยาว 0.9 เมตร พร้อมข้อต่อโค้งและวัสดุท่อเป็นอะลูมิเนียมที่มีค่าการสะท้อนแสง 95% โดยกำหนดให้ระบบท่อนำแสงแนวนอนรับแสงธรรมชาติจากทางทิศเหนือ ตามรูปที่ 31



รูปที่ 30 ขนาดของส่วนนำพาแสงที่บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ทำการศึกษา *[7]*

ผลการศึกษาของบรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร ที่ทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าของกรุงเทพมหานคร ในช่วงเวลา 10:00 - 16:00 น. พบว่า

1) ทิศเหนือเป็นทิศที่มีปริมาณแสงธรรมชาติสม่ำเสมอและเหมาะสมกับระบบท่อนำแสงแนวนอนมากที่สุด

2) ส่วนนำพาแสงรูปแบบท่อหน้าตัดวงกลมเป็นท่อที่แสงธรรมชาติสามารถผ่านเข้าสู่ระนาบพื้นที่ทำงานได้มากที่สุด

3) ส่วนนำพาแสงที่มีความยาวน้อยที่สุดแสงธรรมชาติสามารถผ่านเข้าสู่ระนาบพื้นที่ทำงานได้มากกว่าส่วนนำพาแสงที่มีความยาวมากที่สุด แต่ส่วนนำพาแสงที่มีความยาวมากที่สุดแสงธรรมชาติจะมีความสม่ำเสมอบนระนาบพื้นที่ทำงานมากกว่าส่วนนำพาแสงที่มีความยาวน้อยที่สุด

4) ส่วนนำพาแสงที่มีขนาดหน้าตัดกว้างแสงธรรมชาติสามารถผ่านเข้าสู่ระนาบพื้นที่ทำงานได้มากกว่าส่วนนำพาแสงที่มีขนาดหน้าตัดแคบ แต่ส่วนนำพาแสงที่มีขนาดหน้าตัดแคบแสงธรรมชาติจะมีความสม่ำเสมอบนระนาบพื้นที่ทำงานมากกว่าส่วนนำพาแสงที่มีขนาดหน้าตัดกว้าง

4. <u>วิเคราะห์ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ครอบคลุมระบบท่อนำแสงแนวนอนทั้งระบบในทั้งสามส่วน คือ ส่วนรวมแสง ส่วนนำพาแสง และส่วนกระจายแสง งานวิจัยส่วนมากจะศึกษาแบบแยกศึกษาเฉพาะส่วนทำให้ไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ของแต่ละส่วน และการศึกษาทิศทางของแสงธรรมชาติยังไม่ครอบคลุมระยะเวลาตลอดทั้งปีของพื้นที่ที่พิจารณาบนพื้นโลก สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับระบบท่อนำแสงแนวนอนส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาเฉพาะส่วนนำพาแสงเท่านั้น และการศึกษาทิศทางของแสงธรรมชาติก็ยังไม่ครอบคลุมตลอดทั้งปี ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนที่เน้นรูปแบบและความสัมพันธ์ของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสง โดยศึกษาทิศทางของแสงธรรมชาติที่กระทำกับระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครในตลอดทั้งปี และมีการศึกษาเสริมในส่วนกระจายแสงในบางช่วงเวลาของปี เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยอาศัยด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและประมวลผลการทดลองด้วยการจำลองสภาพเสมือนจริง มีรายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังนี้

1. <u>โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยในการศึกษา</u>

1.1 โปรแกรมโฟโตเปีย (Photopia) [36]

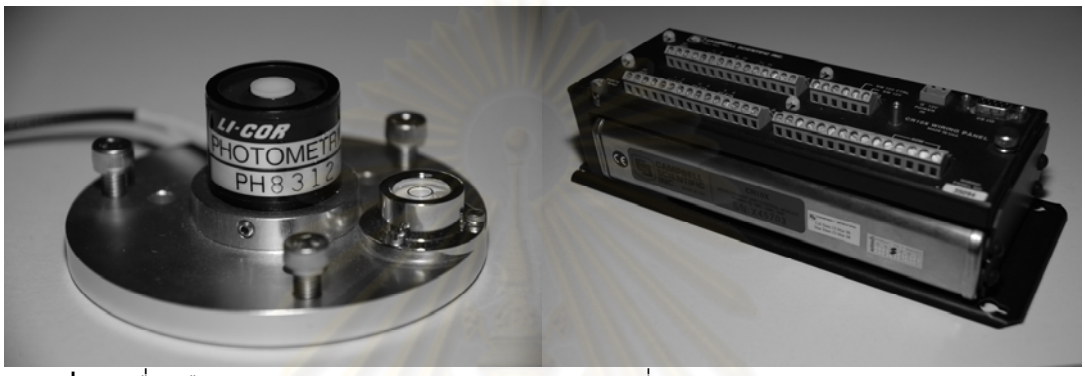
โปรแกรมโฟโตเปียเป็นโปรแกรมสำหรับช่วยวิเคราะห์ทางด้านแสงสว่าง สามารถจำลองสภาพเสมือนจริงของแหล่งกำเนิดแสงและชุดดวงโคมตามที่ออกแบบ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นต้องสร้างชุดดวงโคมจริงเพื่อศึกษาลักษณะของแสงสว่าง ทำให้การประเมินประสิทธิภาพแสงสว่างเป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็วและประหยัดต้นทุนในการผลิตกว่าการศึกษาจากชุดดวงโคมจริง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะและรูปแบบของชุดดวงโคมเสมือนสามารถแก้ไขด้วยการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงลักษณะและรูปแบบของชุดดวงโคมจริงจำเป็นต้องแก้ไขด้วยการสร้างชุดดวงโคมขึ้นใหม่ งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมโฟโตเปียเวอร์ชัน 3.0.4.1215 สำหรับช่วยในการคำนวณด้านแสงสว่างจากทิศทางของแสงธรรมชาติและรูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ทำการศึกษา

1.2 โปรแกรมออโตแคด (AutoCAD) [37]

โปรแกรมโฟโตเปียมีข้อจำกัดด้านการออกแบบแบบจำลองทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่มีความซับซ้อนได้ ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้โปรแกรมอื่นที่ข้อมูลมีความเข้ากันได้กับโปรแกรมโฟโตเปียช่วยในการออกแบบแบบจำลอง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรมออโตแคดเวอร์ชัน 2008 ซึ่งโปรแกรมช่วยออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Aided Design: CAD) ที่สามารถสร้างแบบจำลองชิ้นงานที่ซับซ้อนตามที่ออกแบบได้อย่างอิสระสำหรับช่วยในการออกแบบรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ทำงานศึกษา

2. <u>เครื่องมือเก็บข้อมูลความส่องสว่างภายนอกอาคาร</u>

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมโฟโตเปีย โดยประกอบด้วยตัวรับและแปลงสัญญาณจากแสงสว่างธรรมชาติ (Photometer) และเครื่องบันทึกและจัดเก็บข้อมูล (Data Logger) ตามรูปที่ 32 ซึ่งตามคู่มือจากบริษัทผู้ผลิตระบุว่าสามารถวัดค่าความส่องสว่างได้ในช่วง 0 - 99,999 ลักซ์



รูปที่ 1 เครื่องมือวัดค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ตัวรับและแปลงสัญญาณจากแสงสว่างธรรมชาติ (ซ้าย) เครื่องบันทึกและจัดเก็บข้อมูล (ขวา)

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมโฟโตเปีย

การประมวลผลของสภาพแสงจำลองจากโปรแกรมโฟโตเปียอยู่ภายใต้การคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากสภาพแสงจริง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมโฟโตเปีย เพื่อให้ทราบค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากโปรแกรมโฟโตเปีย สำหรับใช้เป็นค่าอ้างอิงเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างระบบท่อนำแสงแนวนอนจริงภายใต้สภาพแสงธรรมชาติจริง

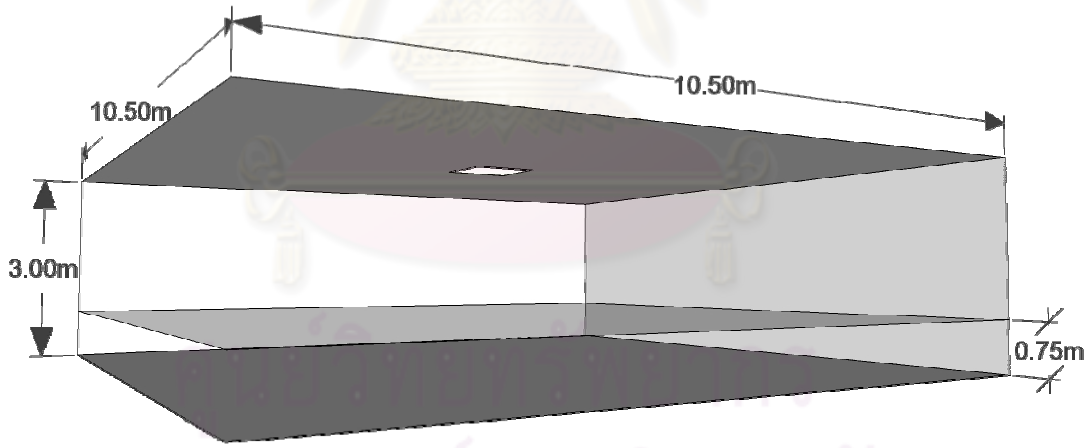
การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมโฟโตเปียใช้การเทียบข้อมูลค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคารระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปียกับข้อมูลที่จัดเก็บเป็นฐานข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน *[38]* และฐานข้อมูลจากสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศอเมริกา (Illuminating Engineering Society of North America: IESNA) *[39]* นอกจากการเปรียบเปรียบข้อมูลกับฐานข้อมูลของประเทศไทยและต่างประเทศแล้ว การตรวจสอบความน่าเชื่อถือได้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำการวัดภายใต้สภาพ

แสงธรรมชาติจริง เพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือหรือความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมโฟโตเปีย ก่อนที่จะนำมาใช้ในการคำนวณสำหรับการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนในงานวิจัยนี้

การกำหนดลักษณะของแบบจำลองสำหรับโปรแกรมโฟโตเปีย

1. <u>แบบจำลองอาคารสำนักงาน</u>

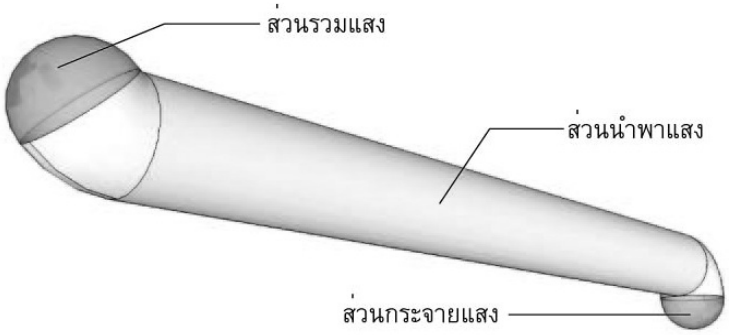
อาคารสำนักงานที่ศึกษากำหนดให้เป็นห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีลักษณะ ดังนี้ ขนาดห้อง 10.5 x 10.5 เมตร เพื่อศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านบนเป็นรัศมีโดยรอบ 5 เมตร มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3 เมตร และระนาบพื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.75 เมตร ตามลักษณะทั่วไปของอาคารสำนักงาน มีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้องเท่ากับศูนย์เพื่อเน้นการศึกษาเฉพาะระบบท่อนำแสงแนวนอน และมีช่องเปิดขนาด 0.5 x 0.5 เมตร บนเพดานกึ่งกลางห้อง โดยไม่มีช่องเปิดด้านข้าง เพื่อศึกษาเฉพาะอิทธิพลของแสงจากระบบท่อนำแสงแนวนอนผ่านช่องเปิดด้านบนเท่านั้น ตามรูปที่ 33



รูปที่ 2 ลักษณะแบบจำลองอาคารสำนักงานที่ทำการศึกษา

2. <u>แบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอน</u>

ระบบท่อนำแสงโดยทั่วไปทั้งระบบท่อนำแสงแนวตั้งและระบบท่อนำแสงแนวนอนจะประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือ ส่วนรวมแสง ส่วนนำพาแสง และส่วนกระจายแสง ตามรูปที่ 34

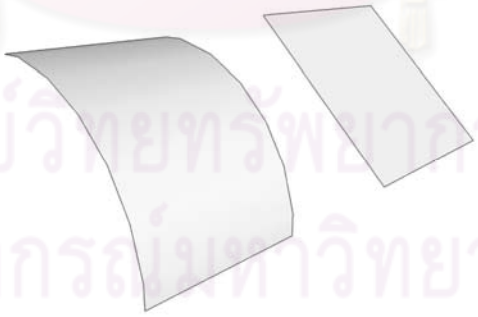


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของระบบท่อนำแสงแนวนอน

งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะระบบท่อนำแสงแนวนอนเน้นในส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสงเท่านั้น โดยมีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

2.1 ส่วนรวมแสง

ส่วนรวมแสงมีหน้าที่รวบรวมแสงธรรมชาติจากภายนอกอาคารและเปลี่ยนทิศทางของแสงให้เข้าไปสู่ส่วนนำพาแสง งานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบของส่วนรวมแสงที่ศึกษาให้เป็นตัวสะท้อนแสงอะลูมิเนียมมีค่าสะท้อนแสง 98% มีสองรูปแบบ คือ แบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้มีรัศมีความโค้ง 0.5 เมตร ซึ่งรับตามขนาดของมุมเงยที่แสงแดดกระทำกับพื้นโลก เพื่อสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ส่วนนำพาแสง และแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ตามรูปที่ 35



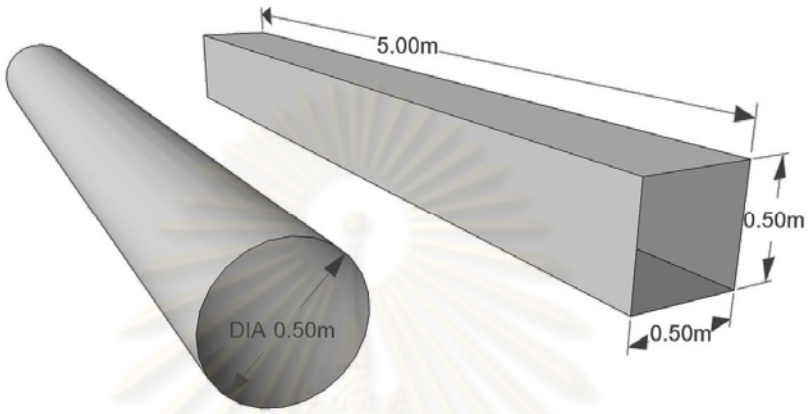
รูปที่ 4 ลักษณะแบบจำลองรูปแบบตัวสะท้อนแสงของส่วนรวมแสงที่ทำการศึกษา

2.2 ส่วนนำพาแสงส่วนท่อ

ส่วนนำพาแสงมีหน้าที่ลำเลียงแสงธรรมชาติที่ผ่านการรวบรวมและเปลี่ยนทิศทางจากส่วนรวมแสงไปสู่ส่วนกระจายแสง งานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบของส่วนนำพาแสงส่วนท่อให้เป็นท่ออะลูมิเนียมมีค่าสะท้อนแสง 98% มีสองรูปแบบ คือ ท่อหน้าตัดวงกลม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

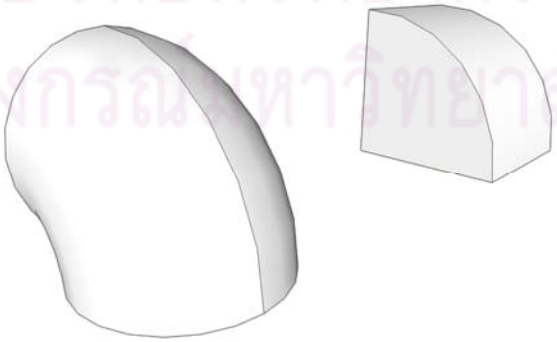
เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เมตร และท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.5 x 0.5 เมตร ตามความสูงทั่วไปของช่องว่างเหนือฝ้าเพดาน ท่อทั้งสองรูปแบบมีความยาว 5 เมตร ซึ่งเป็นระยะสิ้นสุดการนำแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างที่มีความสูงจากพื้น 2 เมตร มาใช้งานได้ ตามรูปที่ 36



รูปที่ 5 ลักษณะแบบจำลองรูปแบบท่อนำพาแสงของส่วนนำพาแสงส่วนท่อที่ทำการศึกษา

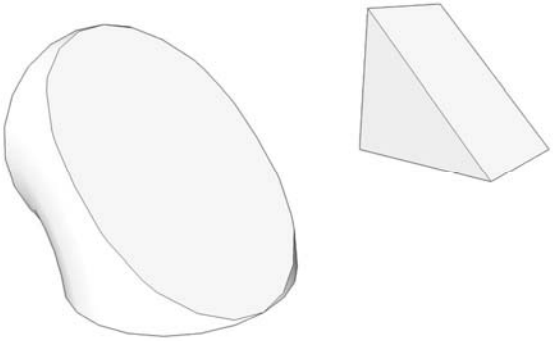
2.3 ส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อ

ส่วนนี้มีหน้าที่ปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติจากแนวนอนเป็นแนวตั้งก่อนถึงส่วนกระจายแสง งานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบให้เป็นข้อต่อท่ออะลูมิเนียมมีค่าสะท้อนแสง 98% มีสองรูปแบบ คือ แบบโค้ง ตามรูปที่ 37 และแบบเอียง 38 องศา ตามรูปที่ 41 มีขนาดเท่ากับท่อในส่วนนำพาแสงส่วนท่อ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของลักษณะท่อ มีขนาดเท่ากับท่อในส่วนนำพาแสงส่วนท่อ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของลักษณะท่อ



รูปที่ 6 ลักษณะแบบจำลองรูปแบบข้อต่อนำพาแสงโค้งของส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่ทำการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



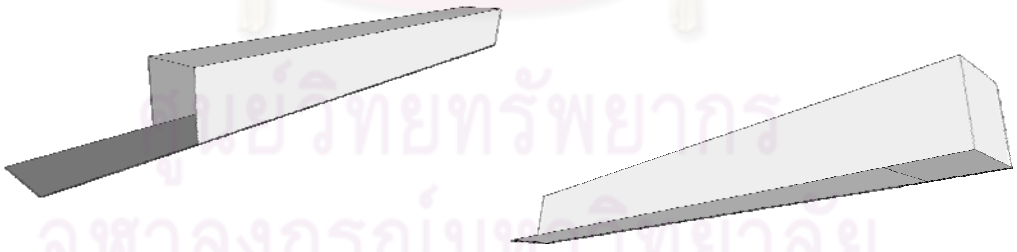
รูปที่ 7 ลักษณะแบบจำลองรูปแบบข้อต่อนำพาแสงเอียง 45 องศา ของส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่ทำการศึกษา

2.4 รูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอน

รูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ศึกษาเกิดจากการผสมผสานการออกแบบในส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสง มีรายละเอียดของแต่ละรูปแบบ ดังนี้

2.4.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

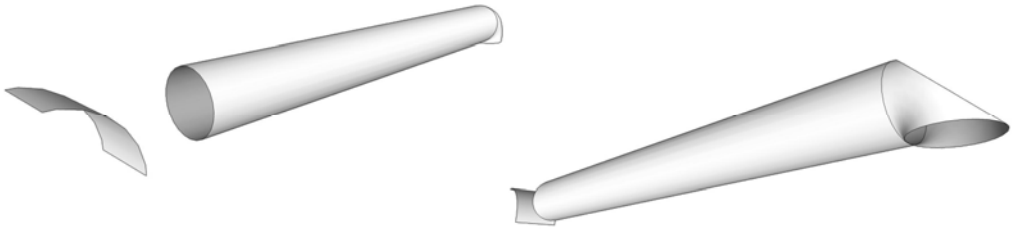
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานเป็นท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่วนรวมแสงมีลักษณะเป็นหิ้งสะท้อนแสง และไม่มีข้อต่อปรับเปลี่ยนทิศทาง ใช้เป็นระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานทั่วไปสำหรับเปรียบเทียบกับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบทางเลือกอื่น ตามรูปที่ 39



รูปที่ 8 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ทำการศึกษา

2.4.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

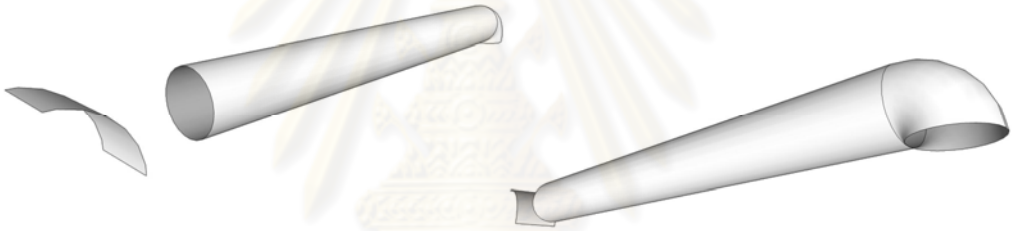
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดวงกลมและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อเป็นแบบเอียง 45° ตามรูปที่ 40



รูปที่ 9 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ทำการศึกษา

2.4.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

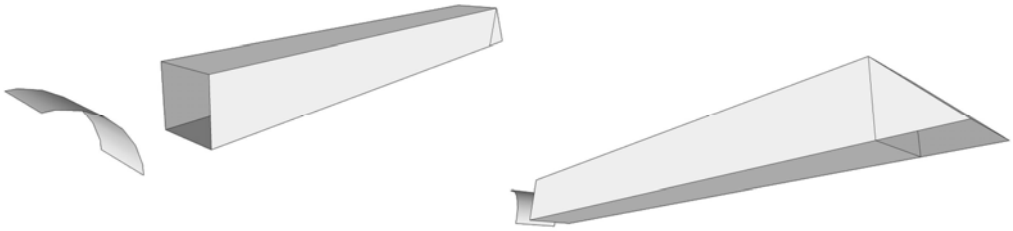
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดวงกลมและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อแบบโค้ง ตามรูปที่ 41



รูปที่ 10 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ทำการศึกษา

2.4.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

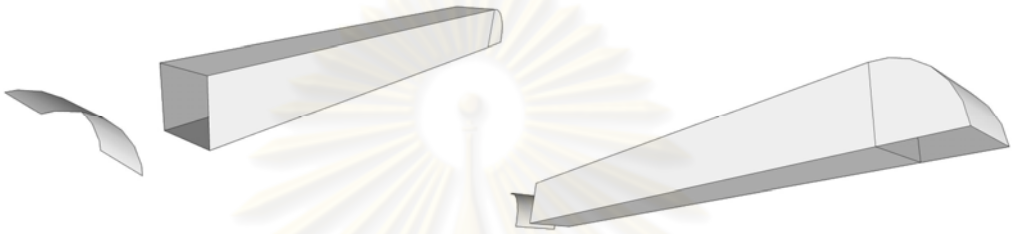
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อแบบเอียง 45° ตามรูปที่ 42



รูปที่ 11 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ทำการศึกษา

2.4.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

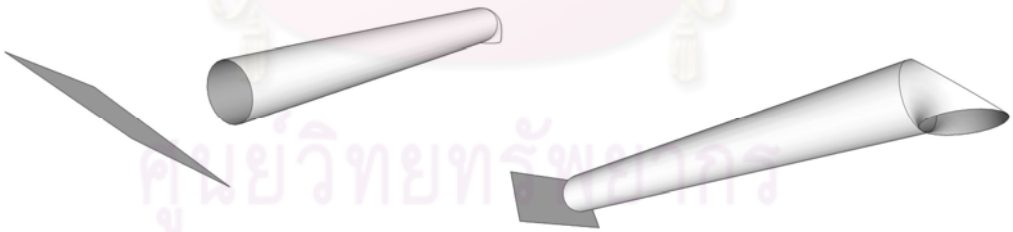
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อแบบโค้ง ตามรูปที่ 43



รูปที่ 12 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ทำการศึกษา

2.4.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

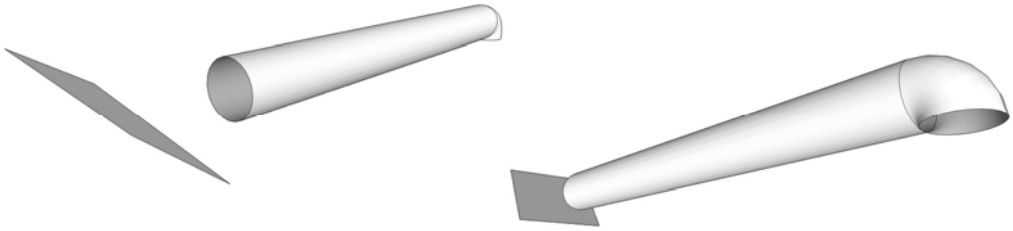
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดวงกลมและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อแบบเอียง 45° ตามรูปที่ 44



รูปที่ 13 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ทำการศึกษา

2.4.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

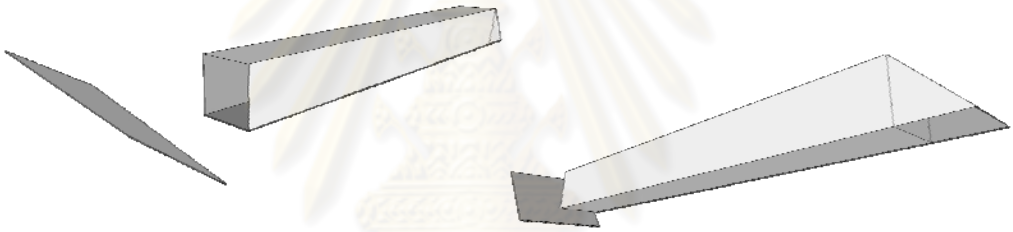
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดวงกลมและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อแบบโค้ง ตามรูปที่ 45



รูปที่ 14 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ทำการศึกษา

2.4.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

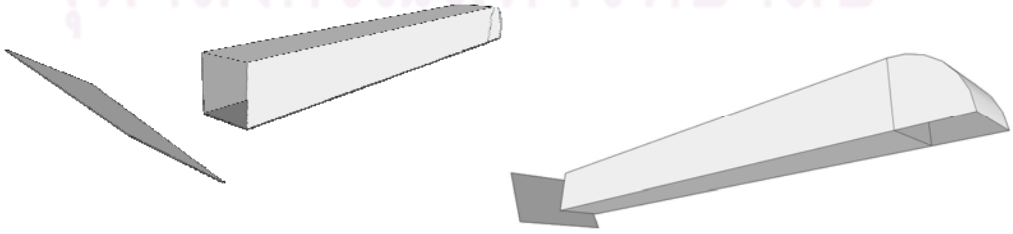
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อแบบเอียง 45° ตามรูปที่ 46



รูปที่ 15 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ทำการศึกษา

2.4.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

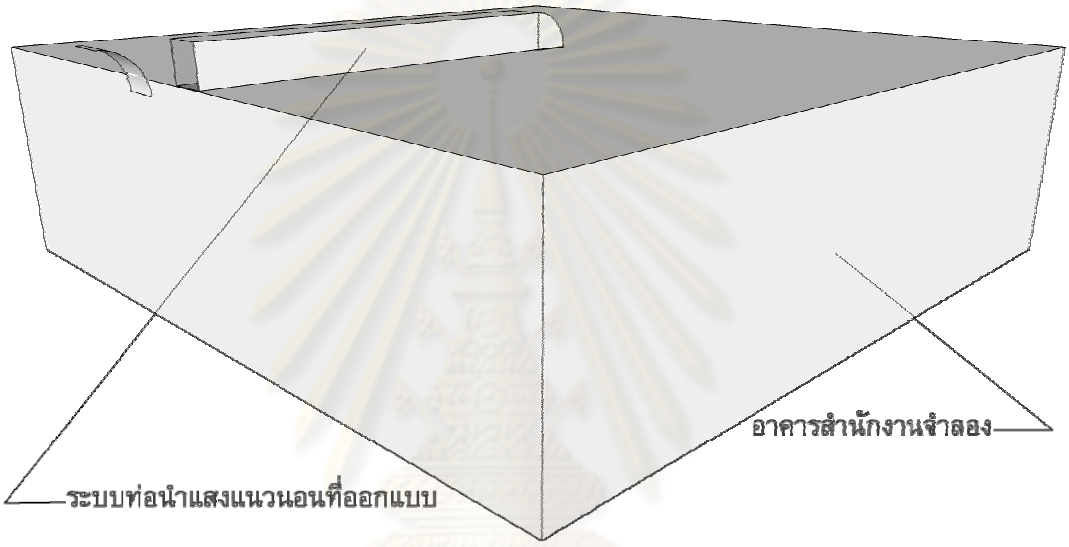
ลักษณะระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 มีส่วนรวมแสงเป็นตัวสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ส่วนนำพาแสงส่วนท่อเป็นแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อแบบโค้ง ตามรูปที่ 47



รูปที่ 16 ลักษณะแบบจำลองระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ทำการศึกษา

2.5 ตำแหน่งของระบบท่อนำแสงแนวนอนจำลอง

ระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ออกแบบจะอยู่ด้านบนของอาคารสำนักงานจำลองตามที่ออกแบบไว้ ตามรูปที่ 48 เทียบได้กับการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนเหนือฝ้าเพดานในอาคารสำนักงานของจริง โดยนำแสงธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการของระบบท่อนำแสงแนวนอนแล้วเข้าสู่ภายในห้องผ่านช่องเปิดด้านบนที่อยู่กึ่งกลางของห้อง ซึ่งระบบท่อนำแสงแนวนอนจะรับแสงธรรมชาติในทิศทางที่ศึกษาตามที่กำหนดไว้

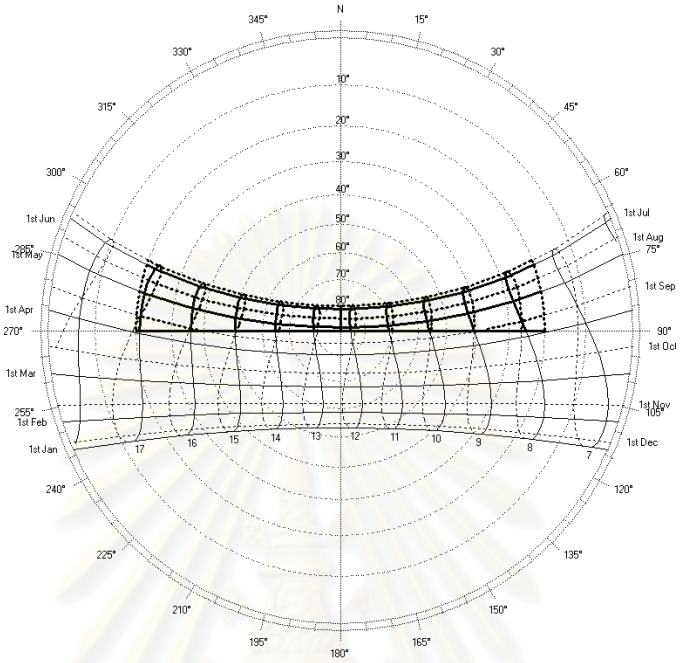


รูปที่ 17 ตำแหน่งของระบบท่อนำแสงแนวนอนบนอาคารสำนักงานจำลองตามที่ออกแบบ

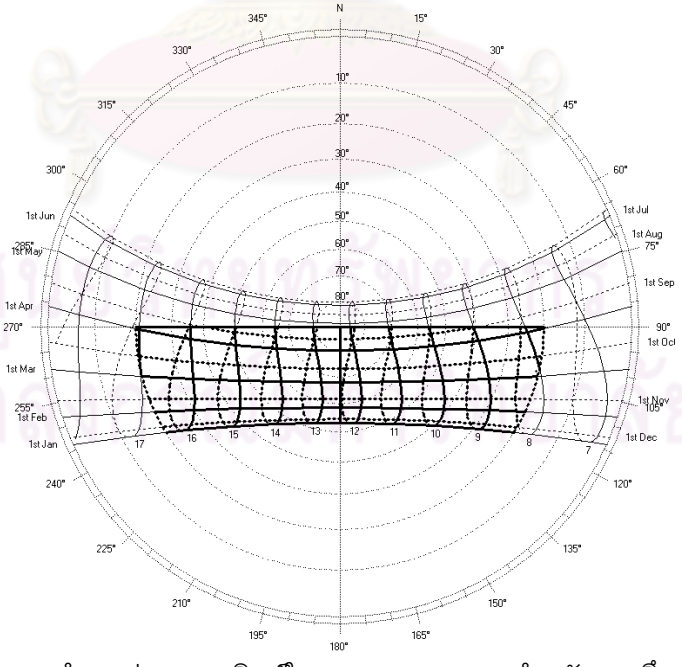
3. <u>สภาพท้องฟ้าเสมือนจริง</u>

สภาพท้องฟ้าที่ศึกษาเป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานครบริเวณเส้นรุ้งที่ 13.4 องศา เหนือ และเส้นแวงที่ 100.3 องศา ตะวันออก โดยศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก ในช่วงเวลาประมาณ 8:00 - 16:00 น. ซึ่งมีขอบเขตตามรูปที่ 49, 50 และ 51 ตามลำดับ สำหรับช่วงเวลาดังกล่าวสามารถเทียบเท่าได้ใกล้เคียงช่วงมุมเงยตั้งแต่ 20 - 90 องศา และมุมเงาแนวราบตั้งแต่ -90 - 90 องศา ของแต่ละทิศ โดยกำหนดระยะห่างของมุมที่ศึกษาทั้งสองมีเท่ากับ 10 องศา ในส่วนของทิศตะวันตกมีตำแหน่งของดวงอาทิตย์เหมือนกับกับทิศตะวันออก จึงสามารถอ้างอิงทิศทางการรับ

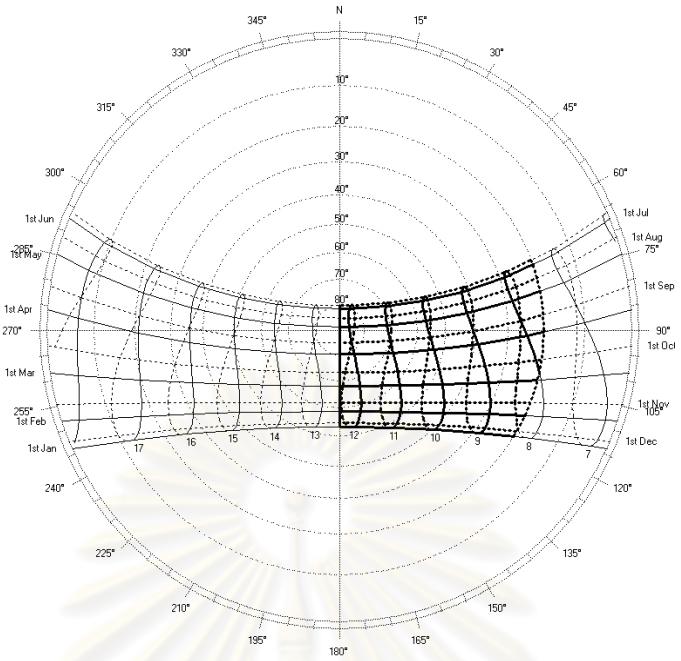
แสงธรรมชาติจากทิศตะวันตกด้วยทิศตะวันออกได้ ทำให้การศึกษาครอบคลุมทิศทางของแสงธรรมชาติตลอดทั้งปีในช่วงเวลาประมาณ 8:00 - 16:00 น.



รูปที่ 18 ขอบเขตของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ



รูปที่ 19 ขอบเขตของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศใต้



รูปที่ 20 ขอบเขตของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก

การศึกษาเพิ่มเติมในส่วนกระจายแสง

งานวิจัยนี้ศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนเน้นส่วนรวมแสงและนำพาแสง แต่ในการนำไปประยุกต์ใช้จริงจำเป็นต้องมีองค์ความรู้ความสัมพันธ์ที่ครอบคลุมส่วนประกอบหลักทั้งสามส่วนของระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับเป็นแนวทางอ้างอิง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาระบบท่อนำแสงส่วนกระจายแสงเพิ่มเติม แต่เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการวิจัยทำให้ศึกษาเฉพาะสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานครที่ถูกกำหนดด้วยมุมเงย 50 องศา และมุมเงาแนวราบ 50 องศา เพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น เนื่องจากมุม 50 องศา เป็นมุมที่อยู่กึ่งกลางของช่วงมุมเงย 20 - 90 องศา และมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา ซึ่งเป็นช่วงมุมที่ระบบท่อนำแสงแนวนอนรับแสงธรรมชาติอย่างเต็มที่โดนไม่โดนบังเงาจากตัวเองในช่วงมุมที่มีค่าเกิน 90 องศา ทำให้ไม่ส่งผลความเลื่อมล้ำของขนาดมุมที่กระทำต่อต่อระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ทำการศึกษา

ส่วนกระจายแสงมีหน้าที่เป็นตัวหักเหและแพร่กระจายแสงธรรมชาติที่ถูกปรับเปลี่ยนทิศทางจากส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อเข้าสู่ภายในอาคาร งานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบให้เป็นแผ่นกรองแสงติดตั้งบริเวณปลายสุดของส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อ ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่น

วงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามลักษณะรูปแบบของส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อ โดยมีคุณสมบัติสองชนิดที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในท้องตลาด ได้แก่ แผ่นกรองแสงแบบปริซึมมีค่าการส่องผ่านแสง 76% และแผ่นกรองแสงแบบขุ่นมีค่าการส่องผ่านแสง 56%

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปียเป็นข้อมูลตัวเลขแสดงค่าความส่องสว่างในหน่วยลักซ์ บอกปริมาณแสงธรรมชาติบนระนาบพื้นที่อ้างอิงตามที่กำหนดไว้ ผลการศึกษาที่นำมาวิเคราะห์แบ่งเป็นสองส่วน ดังนี้

1. <u>ปริมาณความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอน</u>

ส่วนนี้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ออกแบบด้วยการพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่ผ่านระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบในแต่ละทิศทางการรับแสงธรรมชาติ โดยใช้ค่าความส่องสว่างที่วัดบริเวณส่วนปลายสุดของส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อ ตามรูปที่ 52 ซึ่งเป็นจุดที่แสงธรรมชาติผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพจากส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสงก่อนเข้าสู่ภายในอาคารสำนักงาน

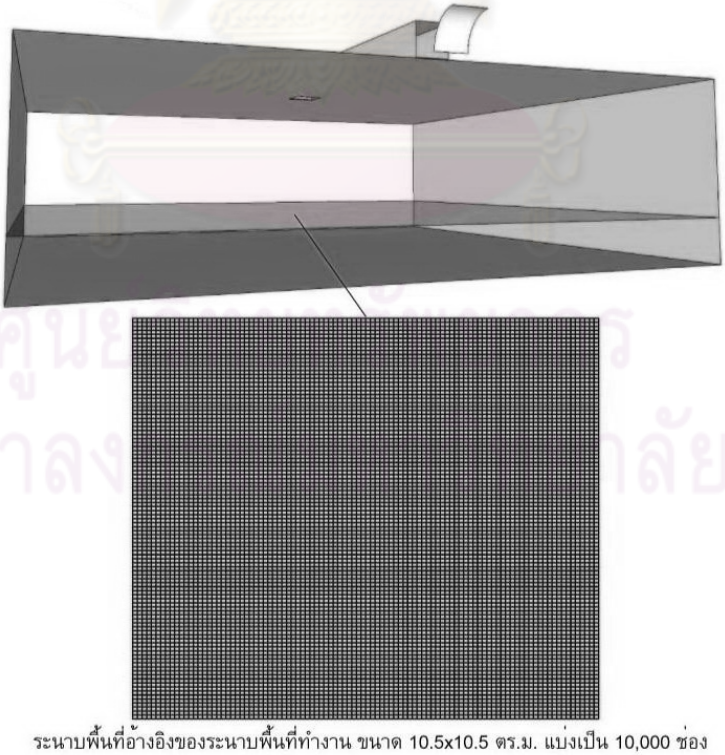
รูปที่ 21 ตำแหน่งระนาบพื้นที่อ้างอิงและจุดที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง สำหรับศึกษาประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน

ค่าความส่องสว่างวัดบนระนาบพื้นที่อ้างอิงขนาด 0.5 x 0.5 เมตร โดยแบ่งสัดส่วนพื้นที่เป็นตาราง 3 x 3 ช่อง รวมตำแหน่งที่วัดทั้งหมด 9 จุด ตามจำนวนช่องบนระนาบพื้นที่อ้างอิง ข้อมูลที่ได้จะนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยและแสดงในรูปแบบของกราฟแบบพื้นผิว โดยแสดง

ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างในหน่วยของลักซ์กับมุมเงยและมุมเงาแนวราบตามแต่ละรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอน เพื่อศึกษาทิศทางที่รับแสงธรรมชาติได้มีอย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับแต่ละรูปแบบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบทางเลือกกับรูปแบบพื้นฐาน

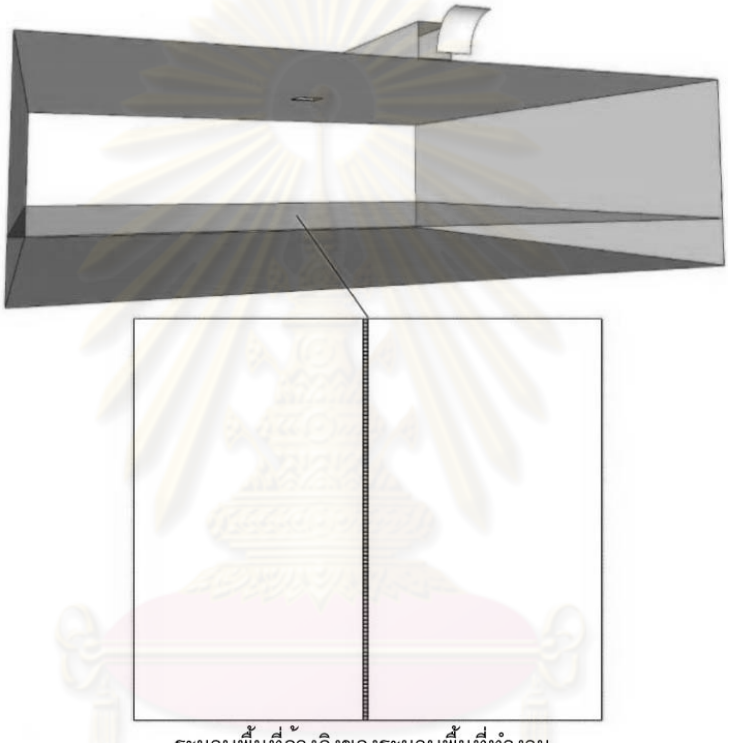
2. <u>ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน</u>

ในส่วนนี้ศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติภายในอาคารสำนักงานด้วยการพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานจากระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบในแต่ละทิศทางการรับแสงธรรมชาติกับข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย โดยใช้ค่าความส่องสว่างที่วัดบนระนาบพื้นที่ทำงานตามรูปแบบที่กำหนด ตามรูปที่ 53 และรูปที่ 54 ทำให้สามารถระบุลักษณะขอบเขตแสงสว่างได้ตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย



รูปที่ 22 ตำแหน่งระนาบพื้นที่อ้างอิงและจุดที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง สำหรับศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติภายในอาคารสำนักงาน

ค่าความส่องสว่างตามรูปที่ 53 วัดบนระนาบพื้นที่อ้างอิงขนาด 10.5 x 10.5 เมตร โดยแบ่งสัดส่วนพื้นที่เป็นตาราง 100 x 100 ช่อง รวมตำแหน่งที่วัดทั้งหมด 10,000 จุด ตามจำนวนช่องบนระนาบพื้นที่อ้างอิง ข้อมูลที่ได้จะนำมาแสดงในรูปแบบของกราฟแบบพื้นผิว โดยแสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างในหน่วยของลักซ์กับระยะความกว้างและความยาวของห้องตามแต่ละรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะแสงสว่างภายในอาคารสำนักงาน



รูปที่ 23 ตำแหน่งระนาบพื้นที่อ้างอิงและจุดที่ใช้ในการวัดค่าความส่องสว่าง สำหรับศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติ โดยอ้างอิงข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

ค่าความส่องสว่างตามรูปที่ 54 วัดบนระนาบพื้นที่อ้างอิงที่แบ่งเป็นตำแหน่งสำหรับวัด 100 ช่อง โดยมีแนวของตำแหน่งการวัดอยู่บนกึ่งกลางระนาบพื้นที่ทำงานยาวตลอดความกว้างของห้องขนานไปกับแนวท่อระบบท่อนำแสงแนวนอน ข้อมูลที่ได้จะนำมาแสดงในรูปแบบของกราฟแบบเส้นแสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างในหน่วยของลักซ์กับระยะทางภายในห้องบนระนาบพื้นที่ทำงานที่ห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนในหน่วยของเมตร โดยเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานกับข้อแนะนำระดับความส่อง

สว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย ซึ่งกำหนดระดับความส่องสว่างขั้นต่ำของพื้นที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 500 ลักซ์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อลักษณะและขอบเขตของแสงสว่างที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

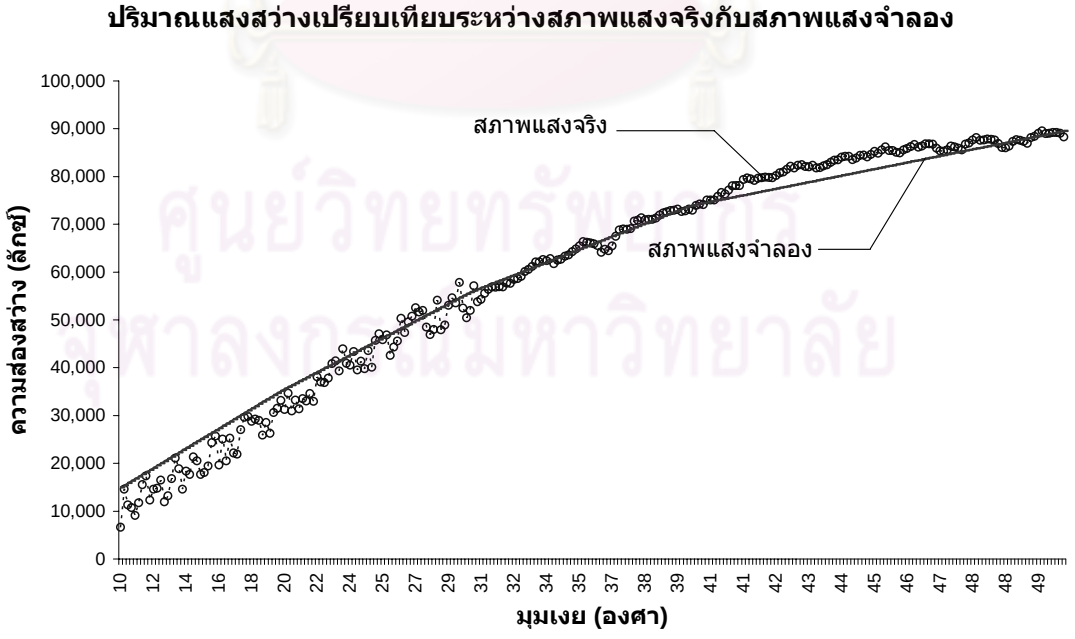
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ความน่าเชื่อถือของโปรแกรมโฟโตเปีย

การเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของข้อมูลแสงธรรมชาติภายนอกอาคารของโปรแกรมโฟโตเปียกับข้อมูลที่จัดเก็บเป็นฐานข้อมูลทั้งจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและจากสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศอเมริกา พบว่า แสงธรรมชาติจากสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่มุมเงยในช่วง 0 - 90 องศา มีผลที่ใกล้เคียงกันมากแทบไม่มีความแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำการวัดภายใต้สภาพแสงจริง วันที่ 26 ธ.ค. 2552 ช่วงเวลาประมาณ 7:30 - 11:50 น. เทียบเท่ามุมเงยในช่วง 10 - 50 องศา พบว่า ได้ผลที่มีความใกล้เคียงกัน มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยข้อมูลที่ทำการวัดภายใต้สภาพแสงจริงมีค่าไม่คงที่เป็นผลเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้าที่แปรปรวน แต่แนวโน้มของชุดข้อมูลเป็นไปในทางเดียวกัน ตามรูปที่ 55 ซึ่งความแตกต่างกันของข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 3.51%



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบข้อมูลจากสภาพแสงจริงและสภาพแสงจำลอง

ดังนั้นข้อมูลที่จะได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปียภายใต้สภาพแสงจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนด้วยการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนเสมือนจริงในคอมพิวเตอร์ ทำให้การศึกษามีความสะดวกรวดเร็วและลดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

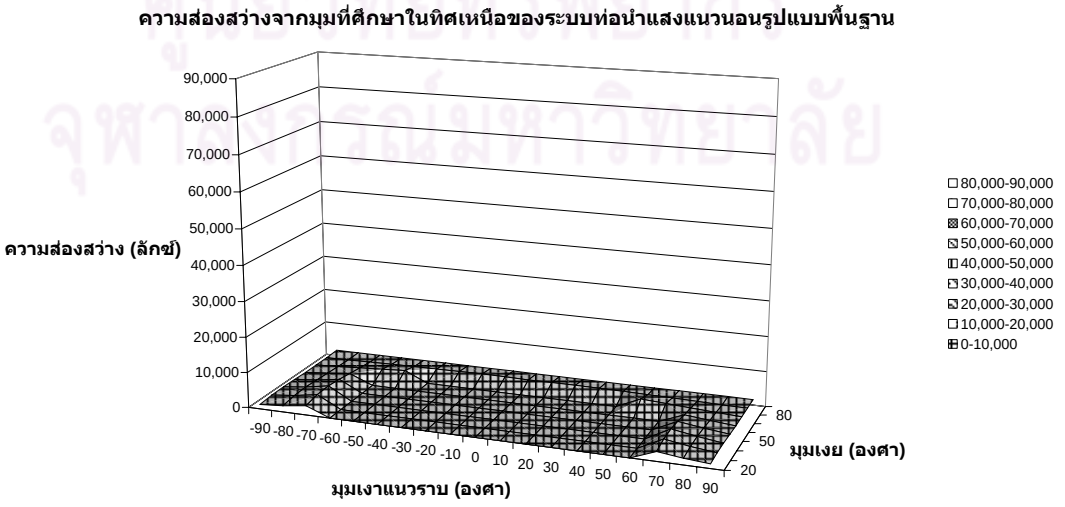
ปริมาณความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอน

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปียสำหรับการศึกษาปริมาณความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบมีผลการศึกษาตามทิศทางการรับแสงธรรมชาติดังนี้

1. <u>ผลการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนในทิศเหนือ</u>

1.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

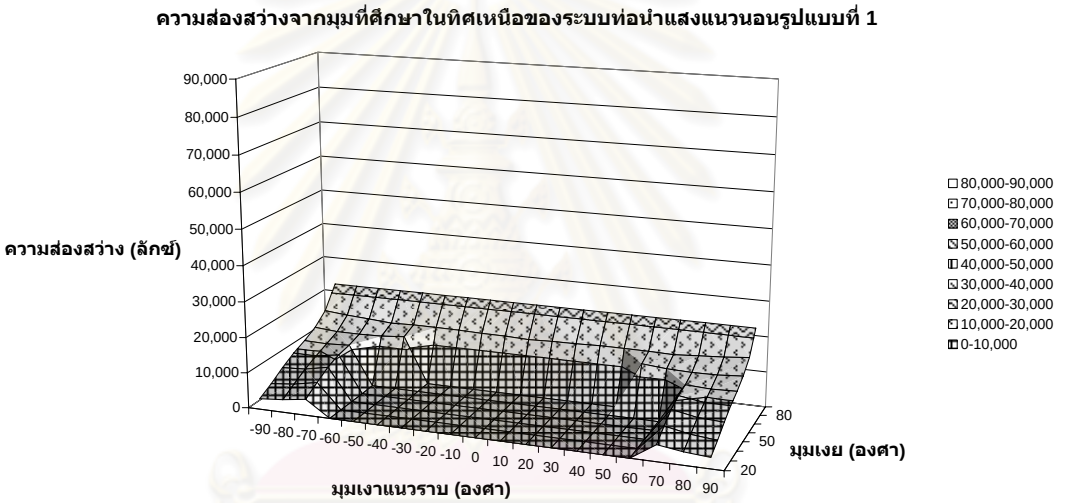
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานมีค่าอยู่ในช่วง 1,182.83 - 3,712.38 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 2,142.79 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 616.20 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 56 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 40 องศากับมุมเงาแนวราบ 70 (-70) องศา



รูปที่ 2 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

1.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

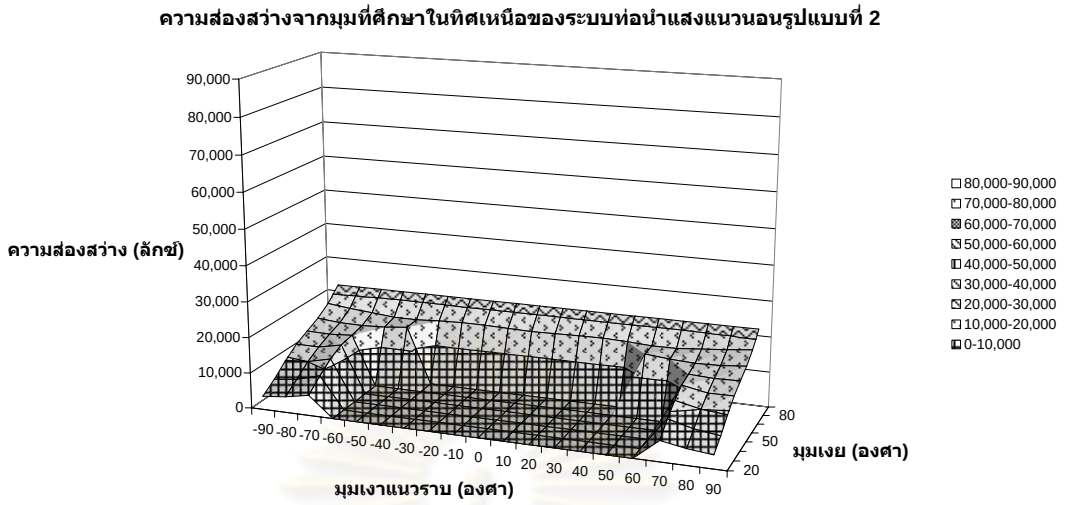
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 2,873.24 - 45,677.22 ลักซ์ มีความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 10,990.64 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4,715.02 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 57 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 3 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

1.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

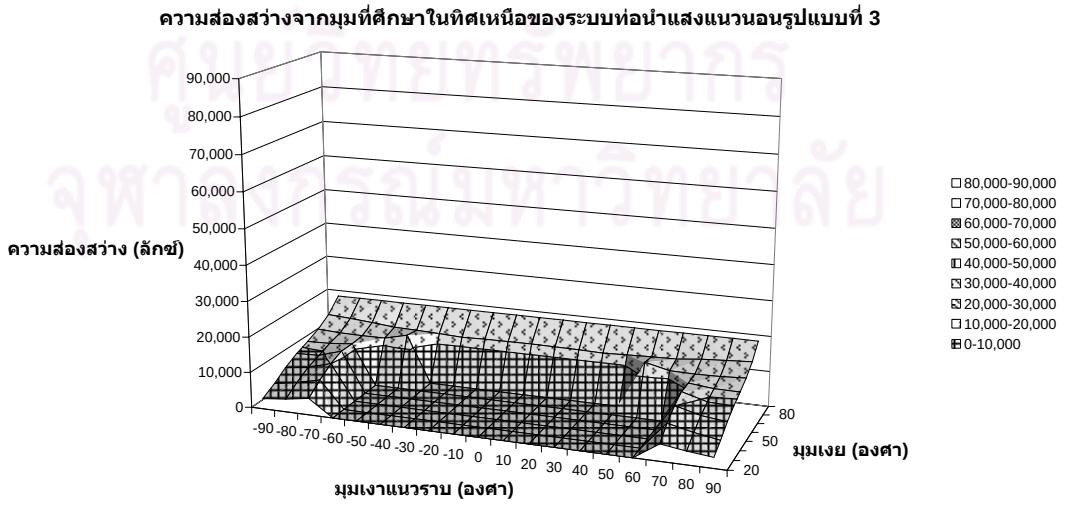
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 2,516.03 - 54,263.46 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 13,124.75 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6,538.47 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 58 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 4 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

1.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

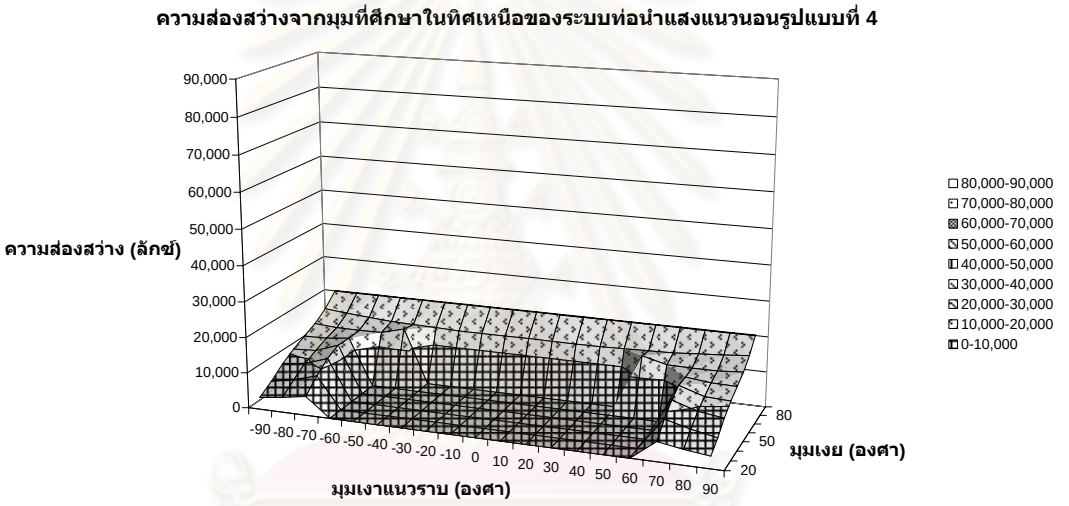
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 2,565.12 - 30,260.06 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 10,453.06 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3,718.71 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 59 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 5 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

1.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

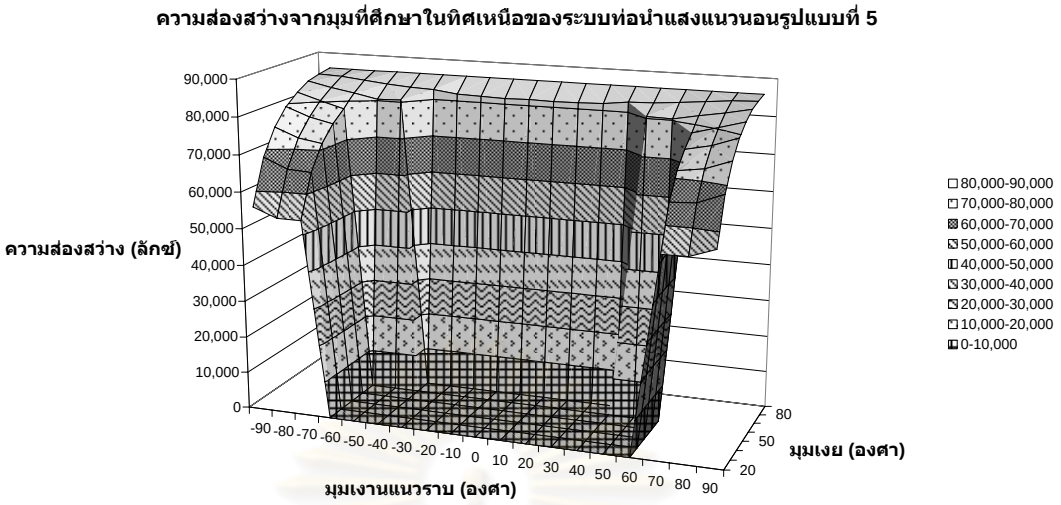
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 2,197.42 - 34,592.30 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 11,974.44 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5,135.06 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 60 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 6 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

1.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

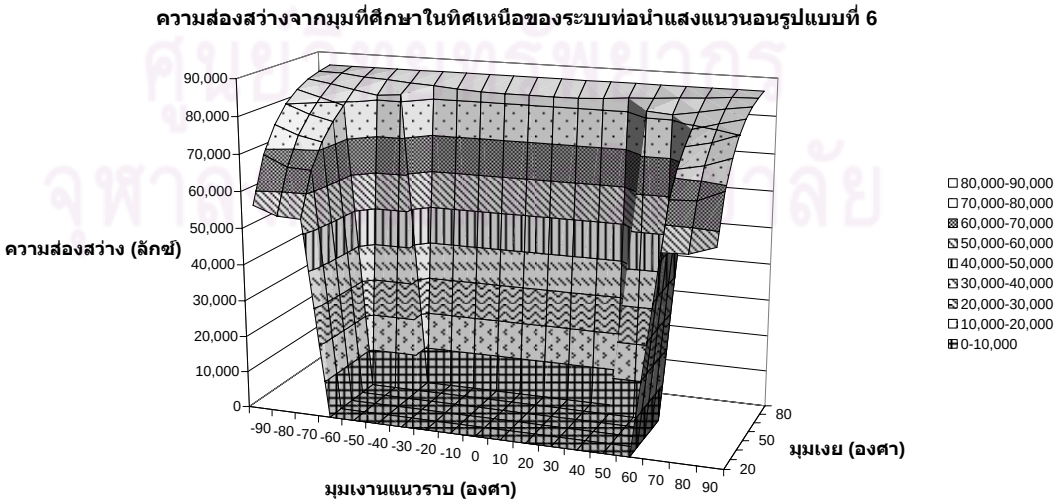
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 มีค่าอยู่ในช่วง 51,078.40 - 88,696.91 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 76,518.50 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9,177.57 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 61 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 70 (-70) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 7 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

1.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

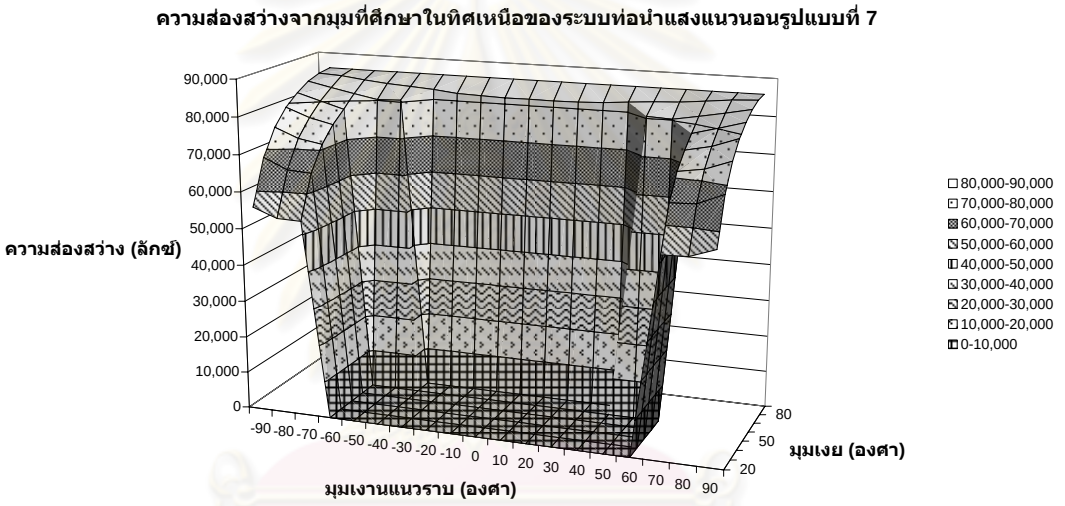
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วง 13,366.55 - 164,370.97 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 77,250.97 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 50,374.72 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 62 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 70 (-70) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูป 8 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

1.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

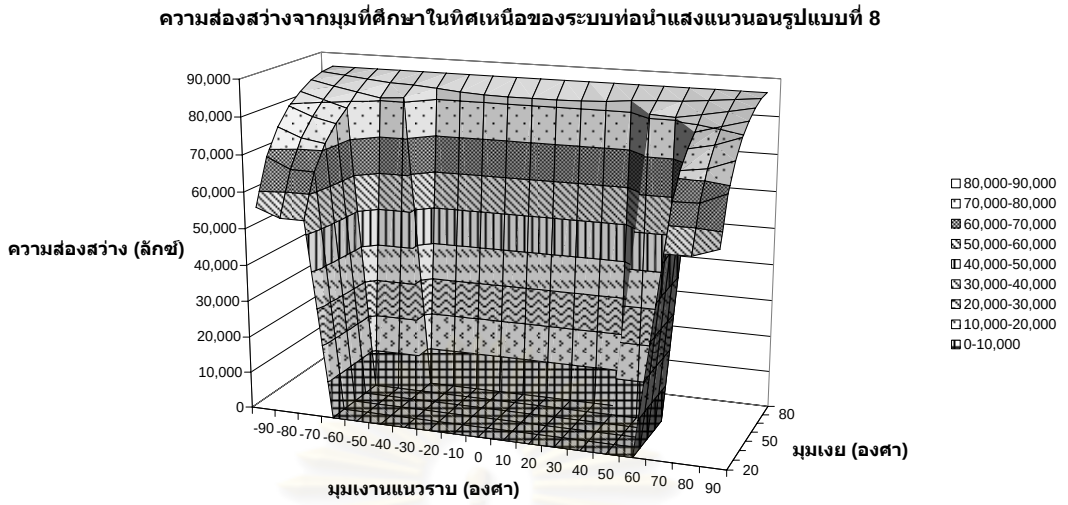
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 มีค่าอยู่ในช่วง 50,706.68 - 88,638.13 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 76,479.35 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9,251.54 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 63 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 70 (-70) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 9 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

1.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

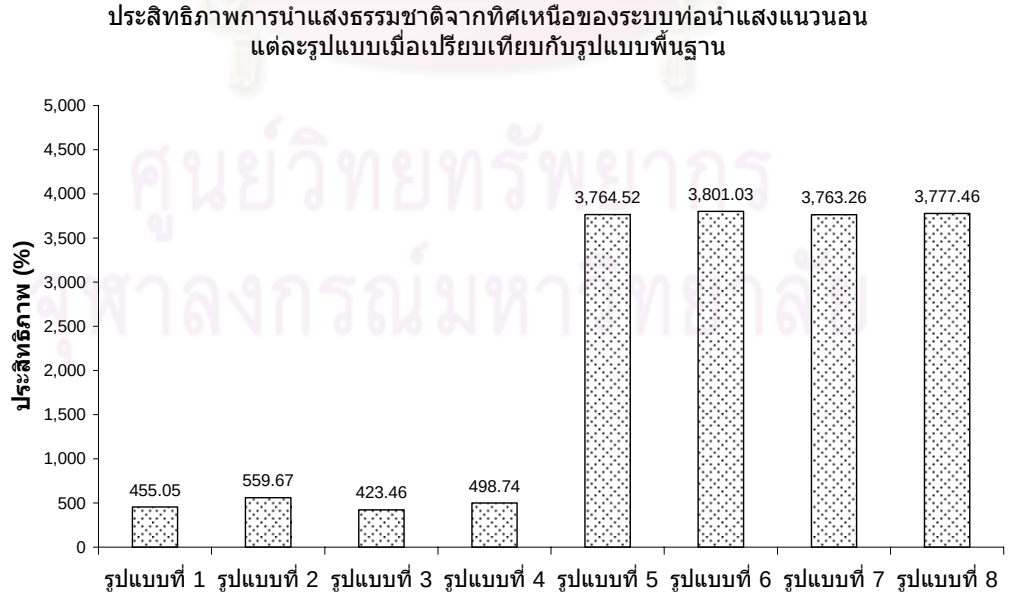
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศเหนือที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 มีค่าอยู่ในช่วง 13,924.43 - 134,029.17 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 76,769.25 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 43,036.93 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 64 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 70 (-70) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 10 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

2. <u>การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในทิศเหนือ</u>

ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบในทิศเหนือสามารถประเมินได้จากการเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐานในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากค่าความส่องสว่างเฉลี่ยจากมุมเงยและมุมเงาแนวราบที่กำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนพื้นที่ของกรุงเทพมหานครตลอดทั้งปีในขอบเขตที่ศึกษา ตามรูปที่ 65



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน

ผลจากรูปที่ 65 ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศเหนือของระบบท่อนำแสงแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนสามารถเรียงลำดับจากมากที่สุด (สูญเสียแสงธรรมชาติในระหว่างการนำแสงน้อยที่สุด) ไปน้อยที่สุด (สูญเสียแสงธรรมชาติในระหว่างการนำแสงมากที่สุด) ได้ดังนี้

1) รูปแบบที่ 6 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 3,801.03%
2) รูปแบบที่ 8 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 3,777.46%
3) รูปแบบที่ 5 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 3,764.52%
4) รูปแบบที่ 7 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 3,763.26%
5) รูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 559.67%
6) รูปแบบที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 498.74%
7) รูปแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 455.05%
8) รูปแบบที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 423.46%

ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนสามารถแยกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 3,763.26 - 3,801.03% ซึ่งมีความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเท่ากับ 1.00% ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 รูปแบบที่ 6 รูปแบบที่ 7 และรูปแบบที่ 8 ซึ่งเป็นระบบท่อนำแสงที่ใช้ตัวสะท้อนแสงเป็นแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้

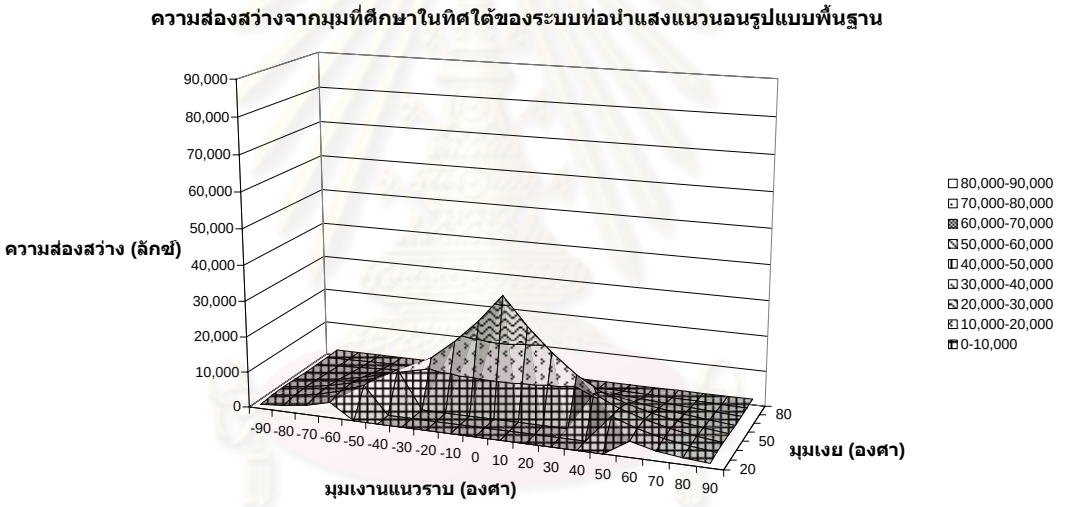
กลุ่มที่สองมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 423.46 - 559.67% ซึ่งมีความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเท่ากับ 32.17% ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นระบบท่อนำแสงที่ใช้ตัวสะท้อนแสงเป็นแบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้

ผลจากรูปที่ 65 สามารถประเมินได้ว่าส่วนรวมแสงที่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีโดยไม่ต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นมากนัก

3. ผลการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนในทิศใต้

3.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

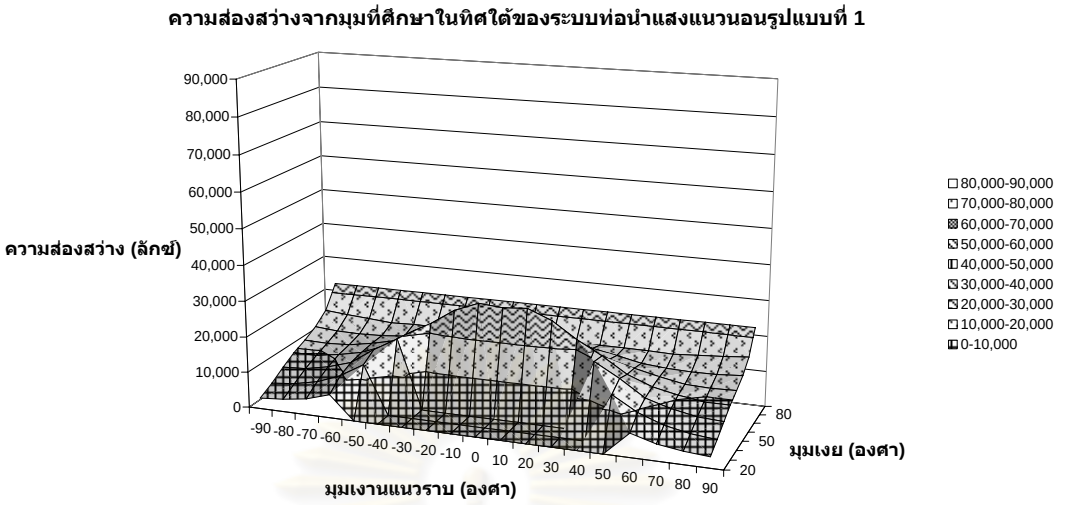
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานมีค่าอยู่ในช่วง 1,182.83 - 34,374.00 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 5,120.05 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5,468.08 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 66 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 12 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

3.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

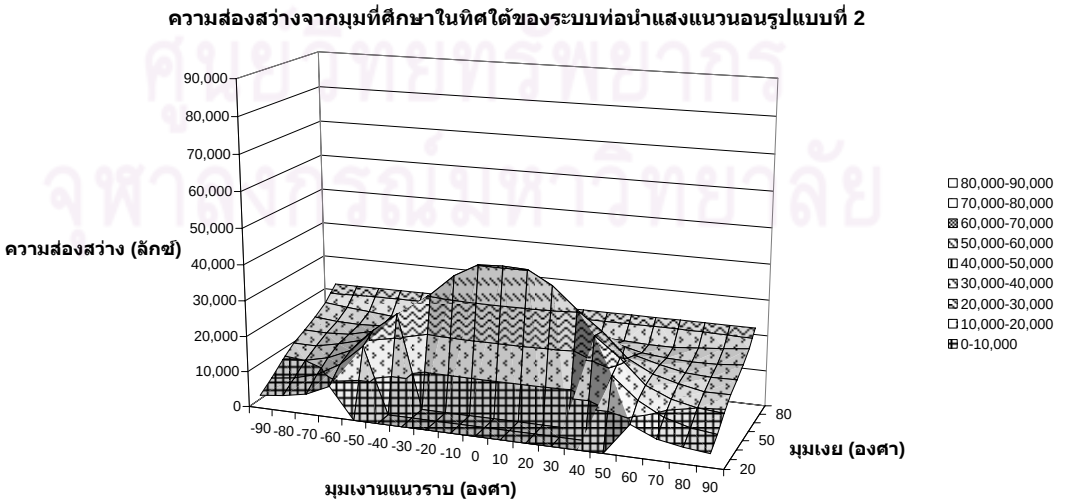
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 มีค่าค่าอยู่ในช่วง 2,873.24 - 45,677.22 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 13,768.25 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6,106.99 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 67 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 10 (-10) องศา



รูปที่ 13 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

3.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

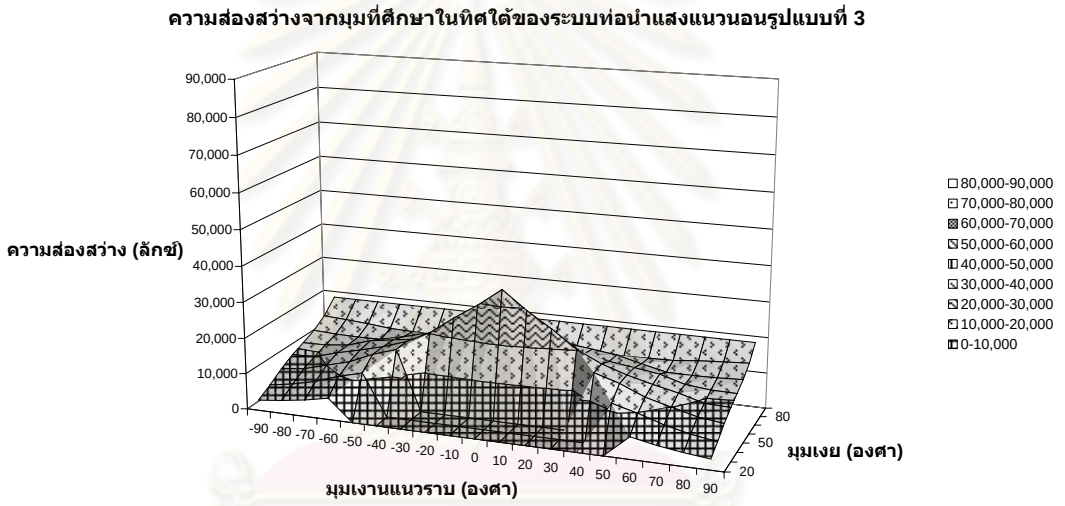
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 2,516.03 - 54,263.46 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 17,195.87 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8,936.16 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 68 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 14 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

3.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

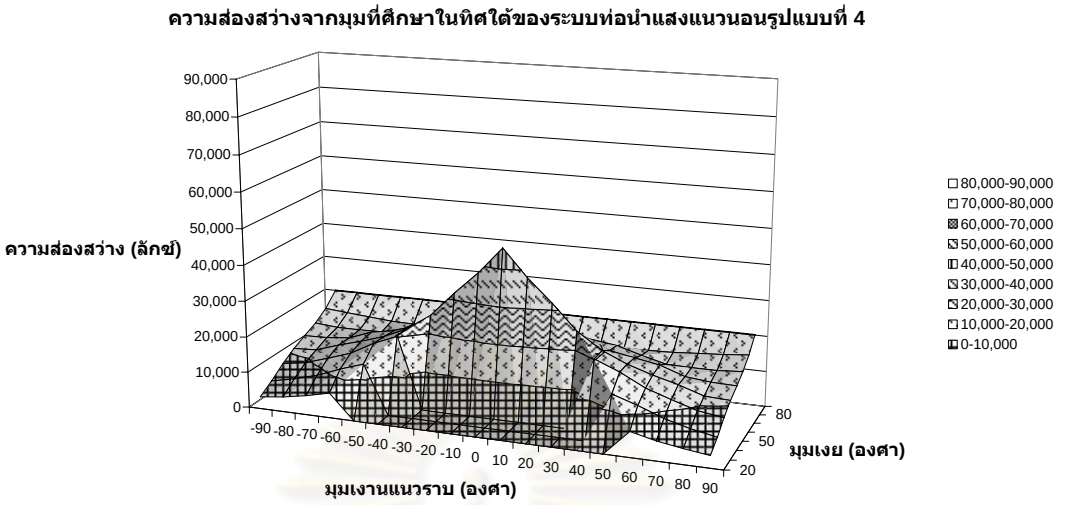
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 2,565.12 - 47,710.07 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 13,288.60 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6,099.74 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 69 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 15 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

3.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

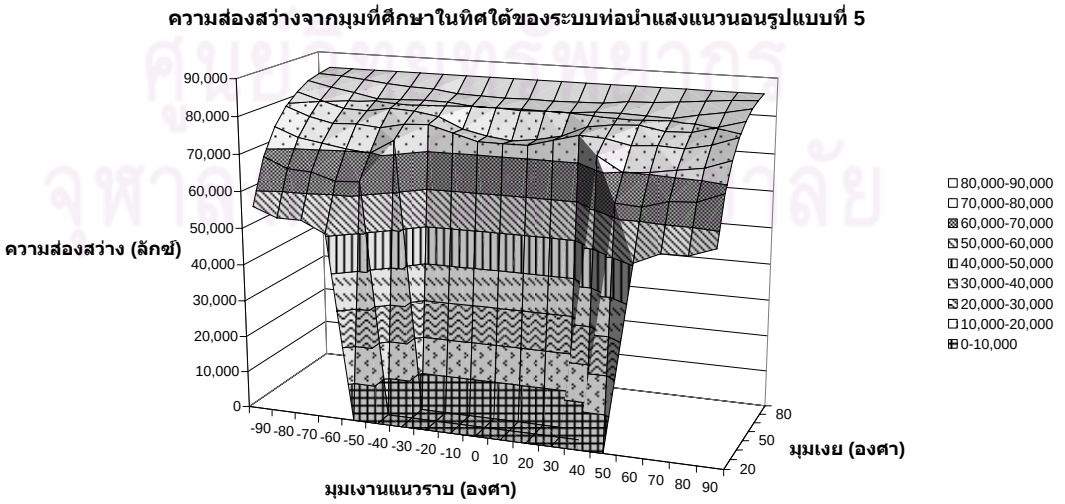
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 2,197.42 - 48,312.79 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 15,671.74 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8,078.94 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 70 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 16 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

3.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

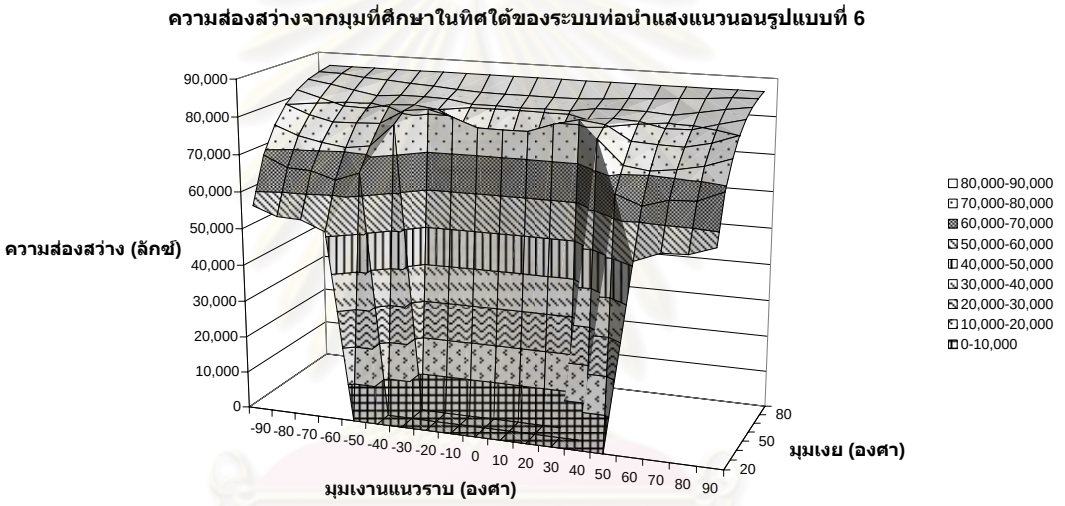
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 มีค่าอยู่ในช่วง 48,534.55 - 88,696.91 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 75,487.56 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8,357.50 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 71 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 60 (-60) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 17 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

3.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

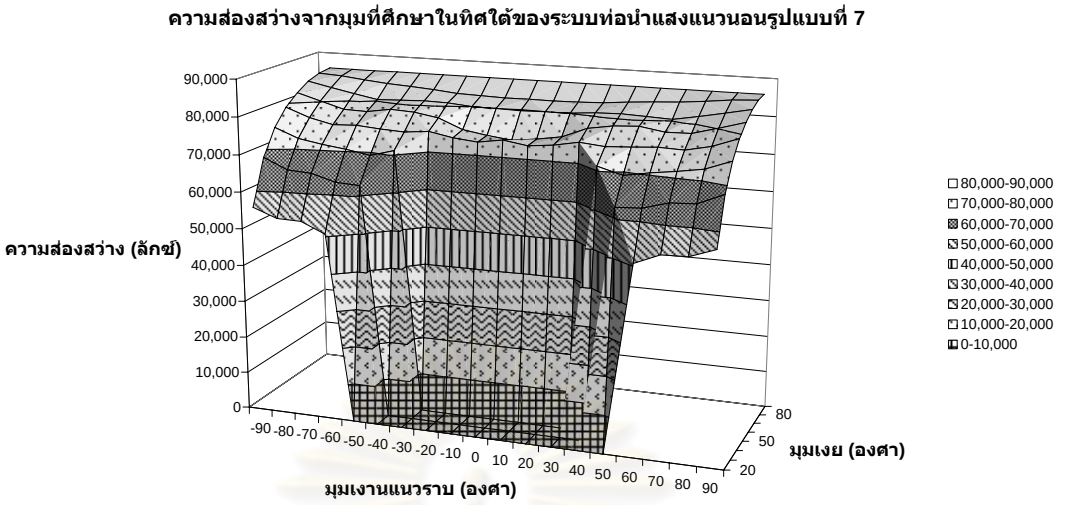
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วง 13,108.24 - 164,370.97 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 76,708.90 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 48,741.19 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 72 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 60 (-60) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 18 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

3.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

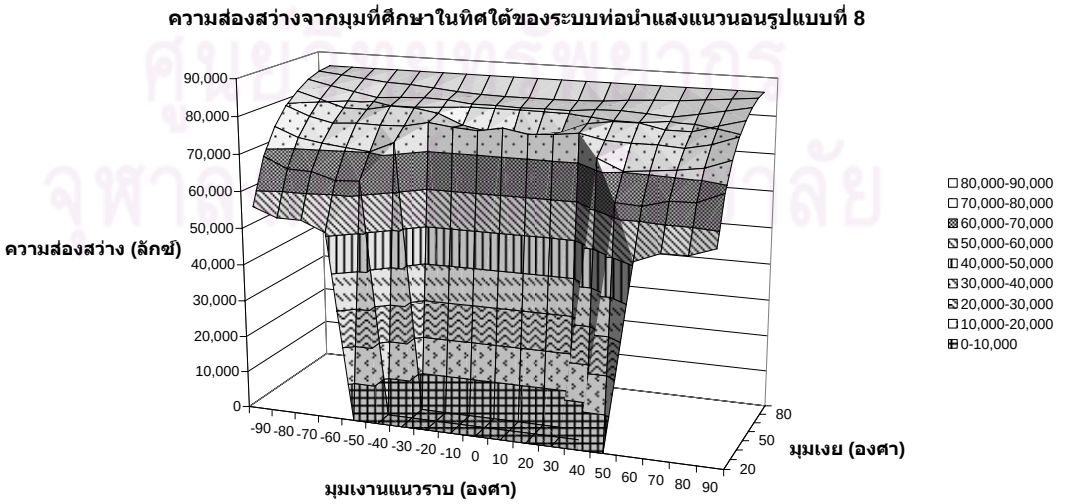
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 มีค่าอยู่ในช่วง 48,910.57 - 86,638.13 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 75,297.21 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8,429.91 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 73 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 60 (-60) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 19 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

3.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

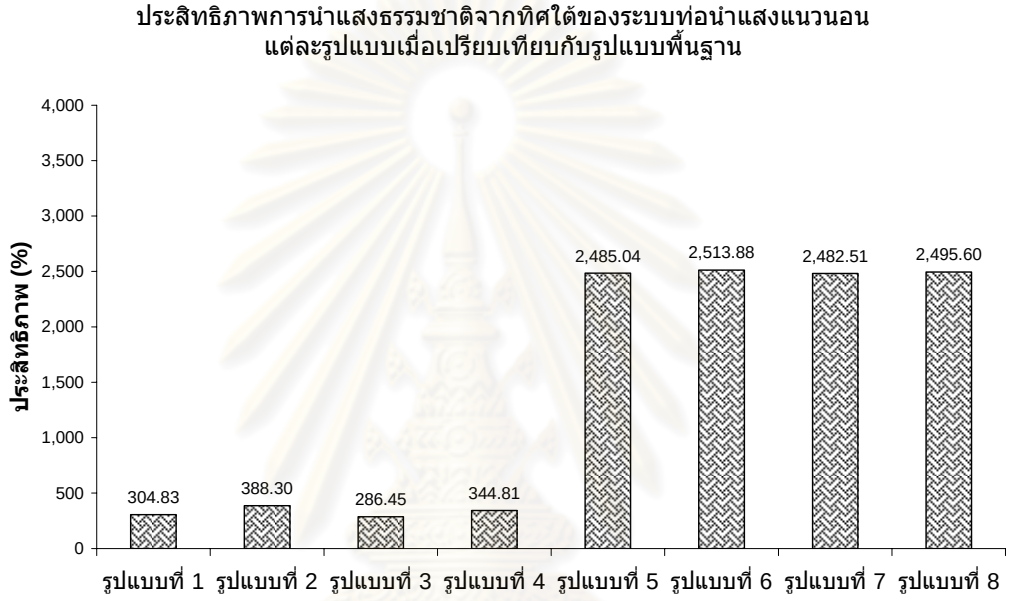
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศใต้ที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 มีค่าอยู่ในช่วง 13,881.28 - 134,029.17 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 75,937.61 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 41,635.88 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 74 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ -60 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 20 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

4. <u>การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในทิศใต้</u>

ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบในทิศใต้สามารถประเมินได้จากการเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐานในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากค่าความส่องสว่างเฉลี่ยจากมุมเงยและมุมเงาแนวราบที่กำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนพื้นที่ของกรุงเทพมหานครตลอดทั้งปีในขอบเขตที่ศึกษา ตามรูปที่ 75



รูปที่ 21 ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน

ผลจากรูปที่ 75 ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศใต้ของระบบท่อนำแสงแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนสามารถเรียงลำดับจากมากที่สุด (สูญเสียแสงธรรมชาติในระหว่างการนำแสงน้อยที่สุด) ไปน้อยที่สุด (สูญเสียแสงธรรมชาติในระหว่างการนำแสงมากที่สุด) ได้ดังนี้

1) รูปแบบที่ 6 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,513.88%

2) รูปแบบที่ 8 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,495.60%

3) รูปแบบที่ 5 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,485.04%

4) รูปแบบที่ 7 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,482.51%

5) รูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 388.30%

6) รูปแบบที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 344.81%

7) รูปแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 304.83%

8) รูปแบบที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 286.45%

ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนสามารถแยกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 2,482.51 - 2,513.88% ซึ่งมีความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเท่ากับ 1.26% ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 รูปแบบที่ 6 รูปแบบที่ 7 และรูปแบบที่ 8 ซึ่งเป็นระบบท่อนำแสงที่ใช้ตัวสะท้อนแสงเป็นแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้

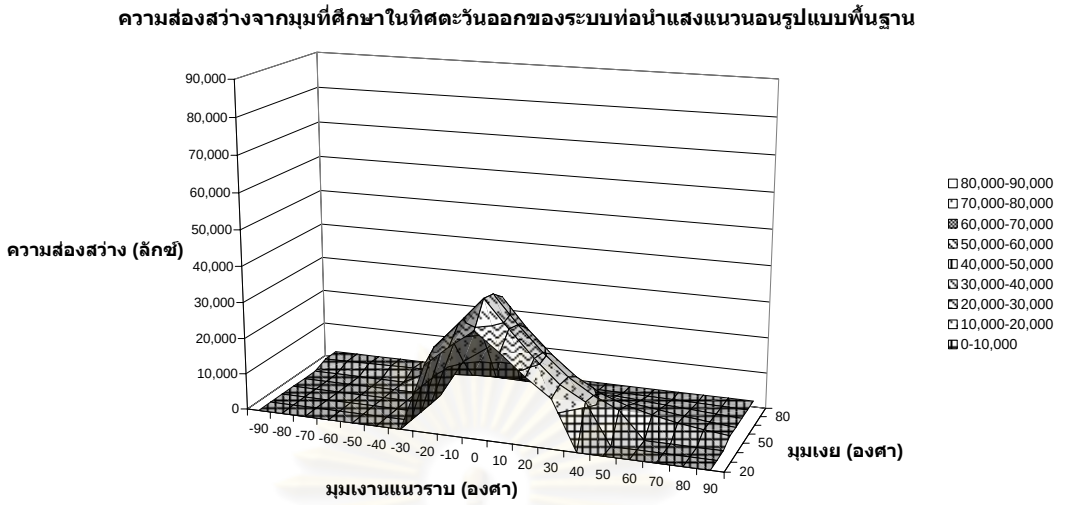
กลุ่มที่สองมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 286.45 - 388.30% ซึ่งมีความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเท่ากับ 35.56% ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นระบบท่อนำแสงที่ใช้ตัวสะท้อนแสงเป็นแบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้

ผลจากรูปที่ 75 สามารถประเมินได้ว่าส่วนรวมแสงที่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีโดยไม่ต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นมากนัก

5. <u>ผลการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนในทิศตะวันออก</u>

5.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

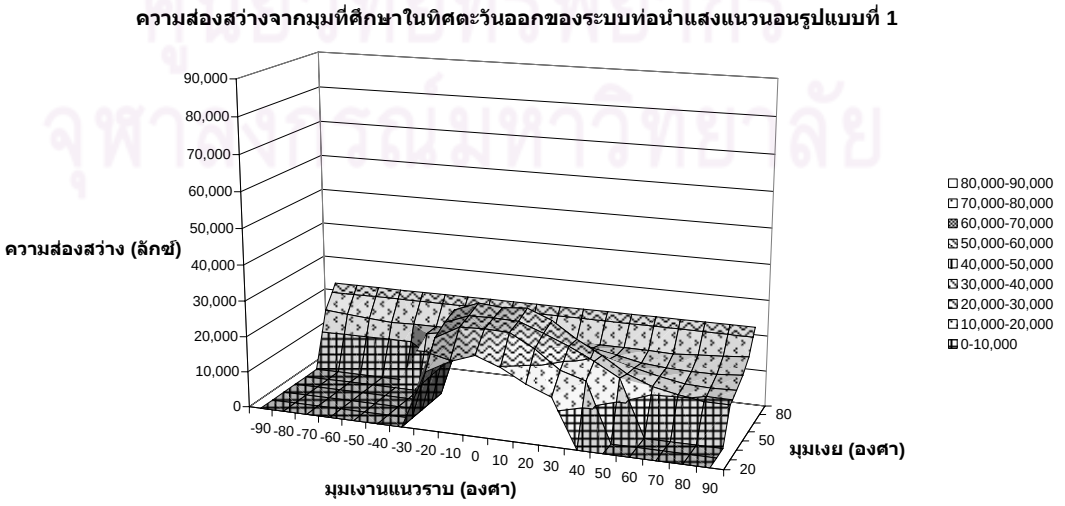
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานมีค่าอยู่ในช่วง 1,315.97 - 36,159.19 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 10,146.63 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9,921.21 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 76 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 60 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 (-90) องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 30 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 22 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

5.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

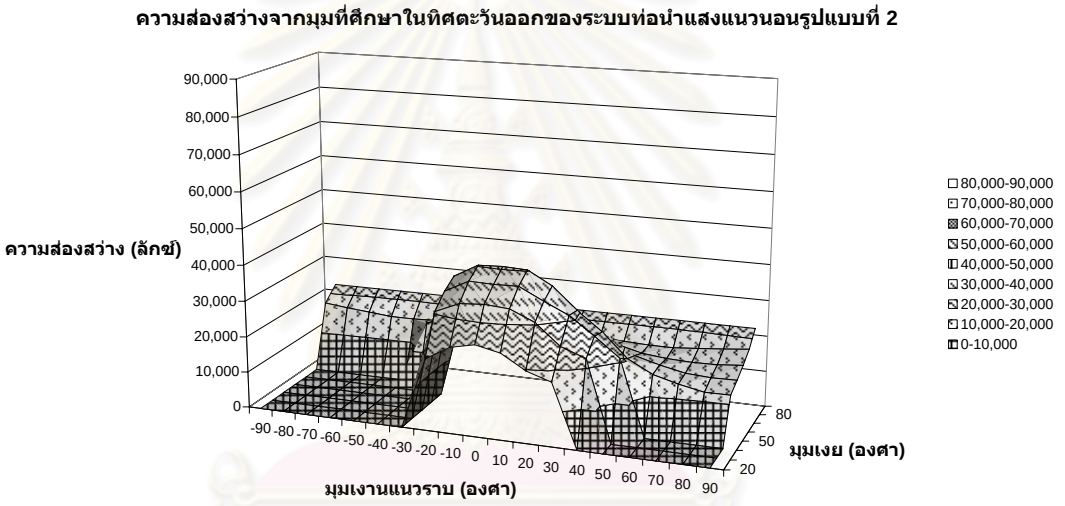
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 8,903.13 - 45,677.22 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 18,028.95 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6,013.70 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 77 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 80 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 10 องศา



รูปที่ 23 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

5.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

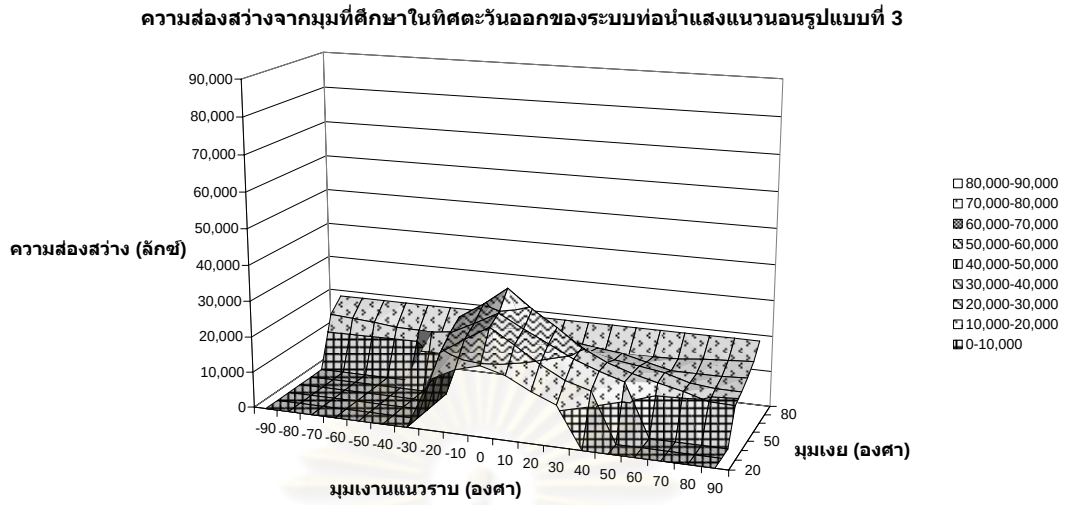
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 8,484.33 - 54,263.46 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 22,499.46 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9,854.55 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 78 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 80 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 24 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

5.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

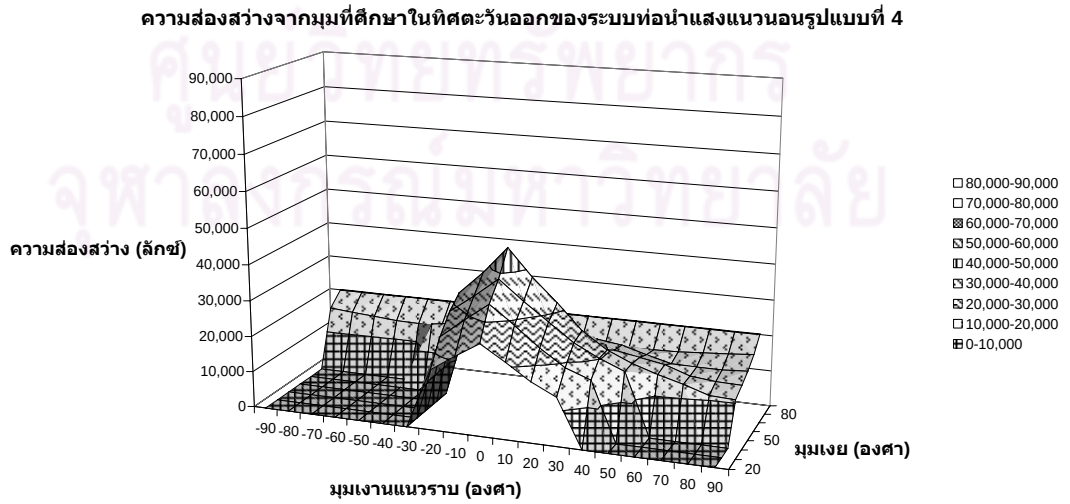
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 7,944.42 - 47,710.07 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 16,897.23 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6,274.98 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 79 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 25 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

5.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

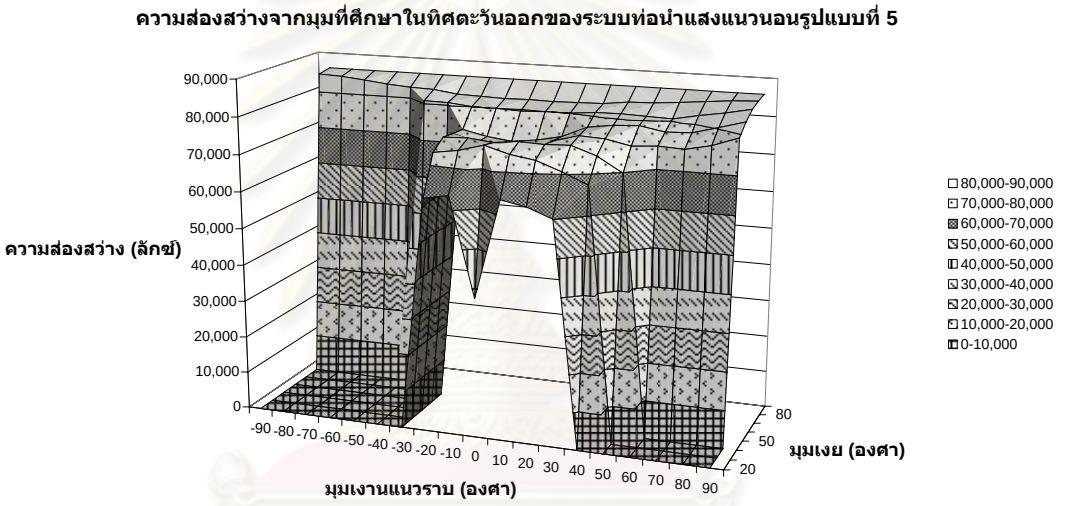
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 7,197.70 - 49,383.17 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 20,278.65 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8,799.13 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 80 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 90 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 50 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา



รูปที่ 26 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

5.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

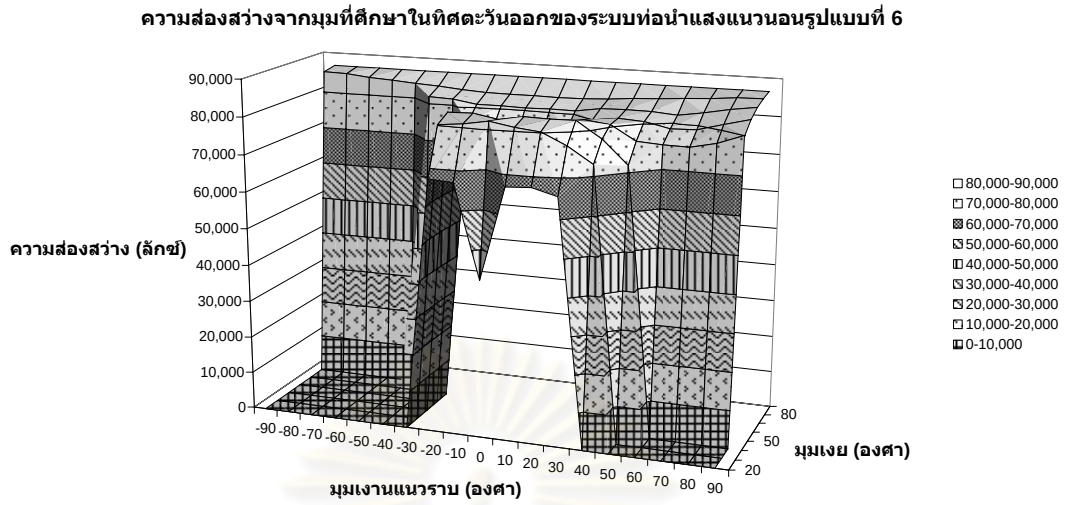
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 มีค่าอยู่ในช่วง 35,263.26 - 88,696.91 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 77,034.78 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7,257.68 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 81 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 27 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

5.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

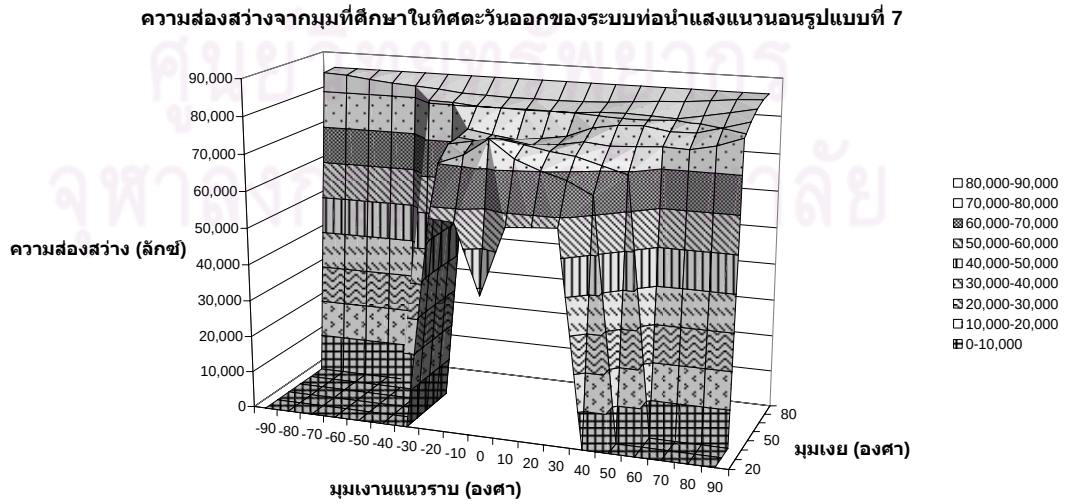
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วง 19,388.25 - 164,370.97 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 79,525.00 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 47,787.99 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 82 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 28 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

5.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

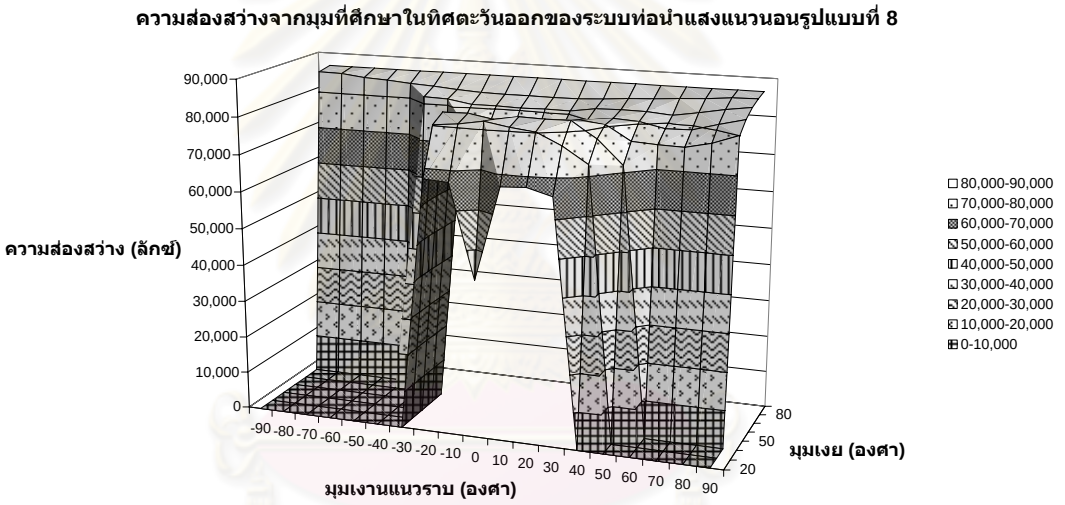
ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 มีค่าอยู่ในช่วง 35,284.75 - 86,638.13 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 76,358.46 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8,329.31 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 83 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)



รูปที่ 29 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

5.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

ค่าความส่องสว่างและทิศทางการรับแสงธรรมชาติในขอบเขตทิศตะวันออกที่ได้จากการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 พบว่า ค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 มีค่าอยู่ในช่วง 19,835.86 - 134,029.17 ลักซ์ มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 78,079.06 ลักซ์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 40,496.10 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 84 ทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ที่มุมเงย 20 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 องศา และทิศทางการรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอยู่ที่มุมเงย 90 องศากับมุมเงาแนวราบ 0 - 90 องศา (เป็นมุมที่ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากัน)

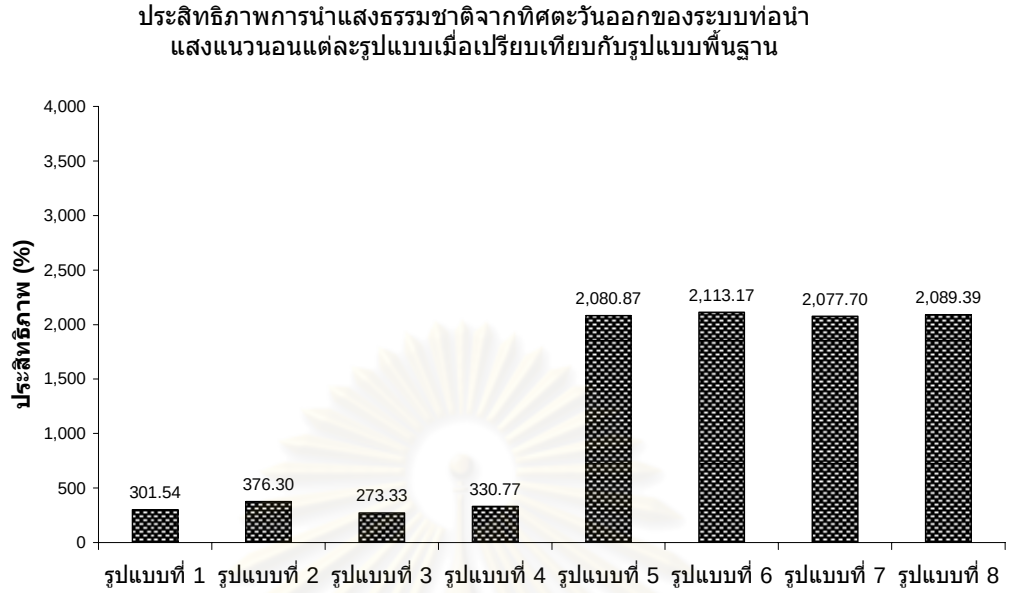


รูปที่ 30 ความส่องสว่างจากมุมที่ศึกษาในทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

6. <u>การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในทิศตะวันออก</u>

ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบในทิศตะวันออกสามารถประเมินได้จากการเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐานในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากค่าความส่องสว่างเฉลี่ยจากมุมเงยและมุมเงาแนวราบที่กำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนพื้นที่ของกรุงเทพมหานครตลอดทั้งปีในขอบเขตที่ศึกษา ตามรูปที่ 85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปภาพ 31 ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน

ผลจากรูปที่ 85 ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกของระบบท่อนำแสงแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนสามารถเรียงลำดับจากมากที่สุด (สูญเสียแสงธรรมชาติในระหว่างการนำแสงน้อยที่สุด) ไปน้อยที่สุด (สูญเสียแสงธรรมชาติในระหว่างการนำแสงมากที่สุด) ได้ดังนี้

1) รูปแบบที่ 6 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,113.17%
2) รูปแบบที่ 8 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,089.39%
3) รูปแบบที่ 5 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,080.87%
4) รูปแบบที่ 7 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,077.70%
5) รูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 376.30%
6) รูปแบบที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 330.77%
7) รูปแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 301.54%
8) รูปแบบที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 273.33%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนสามารถแยกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 2,077.70 - 2,113.17% ซึ่งมีความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเท่ากับ 1.71% ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 รูปแบบที่ 6 รูปแบบที่ 7 และรูปแบบที่ 8 ซึ่งเป็นระบบท่อนำแสงที่ใช้ตัวสะท้อนแสงเป็นแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้

กลุ่มที่สองมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 273.33 - 376.30% ซึ่งมีความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเท่ากับ 37.67% ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นระบบท่อนำแสงที่ใช้ตัวสะท้อนแสงเป็นแบบแผ่นเรียบโค้งเข้าหาส่วนนำพาแสงไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้

ผลจากรูปที่ 85 สามารถประเมินได้ว่าส่วนรวมแสงที่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีโดยไม่ต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นมากนัก

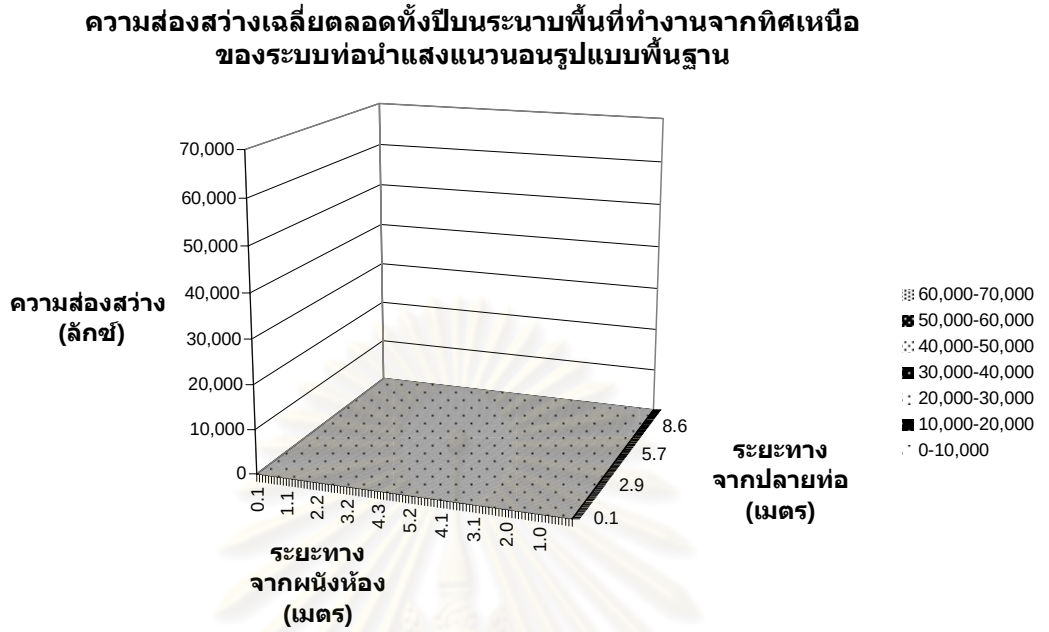
ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปียสำหรับการศึกษาปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานจากระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบมีผลการศึกษาตามทิศทางการรับแสงธรรมชาติดังนี้

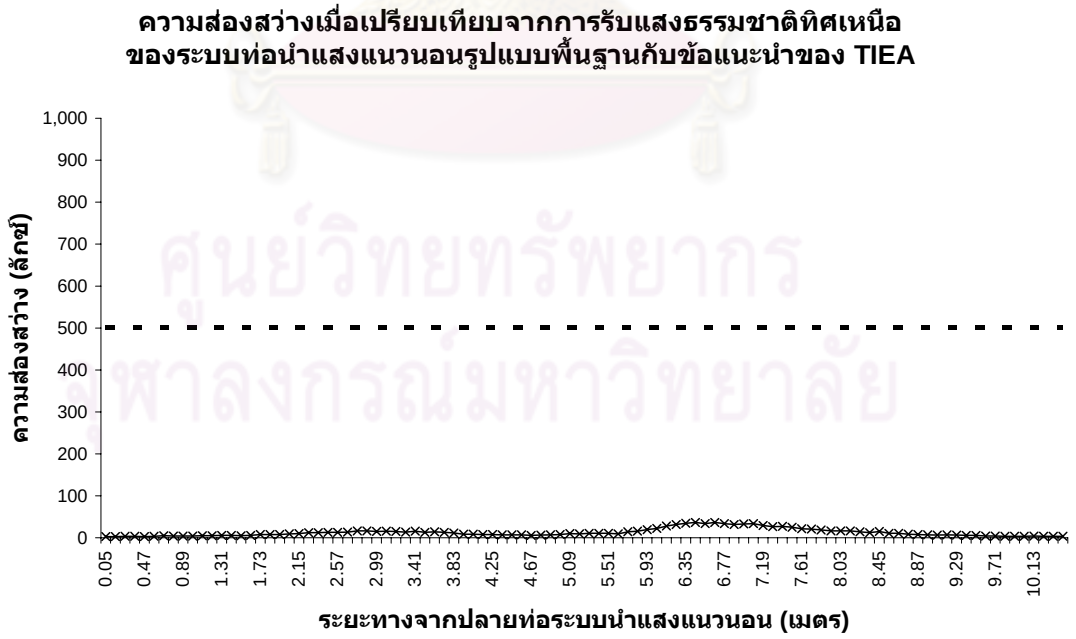
1. <u>ผลการศึกษาระนาบพื้นที่ทำงานในทิศเหนือ</u>

1.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 2,142.79 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 86 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 2.56 - 36.81 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 87



รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ



รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

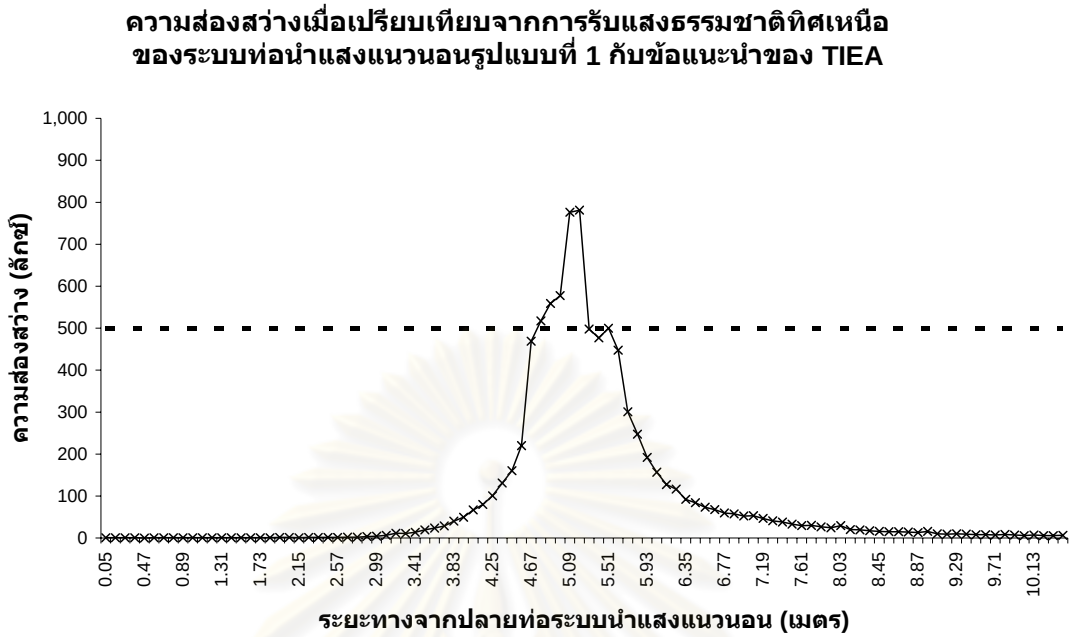
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 10,990.64 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 88 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.26 - 781.16 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.5 เมตร ตามรูปที่ 89

รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

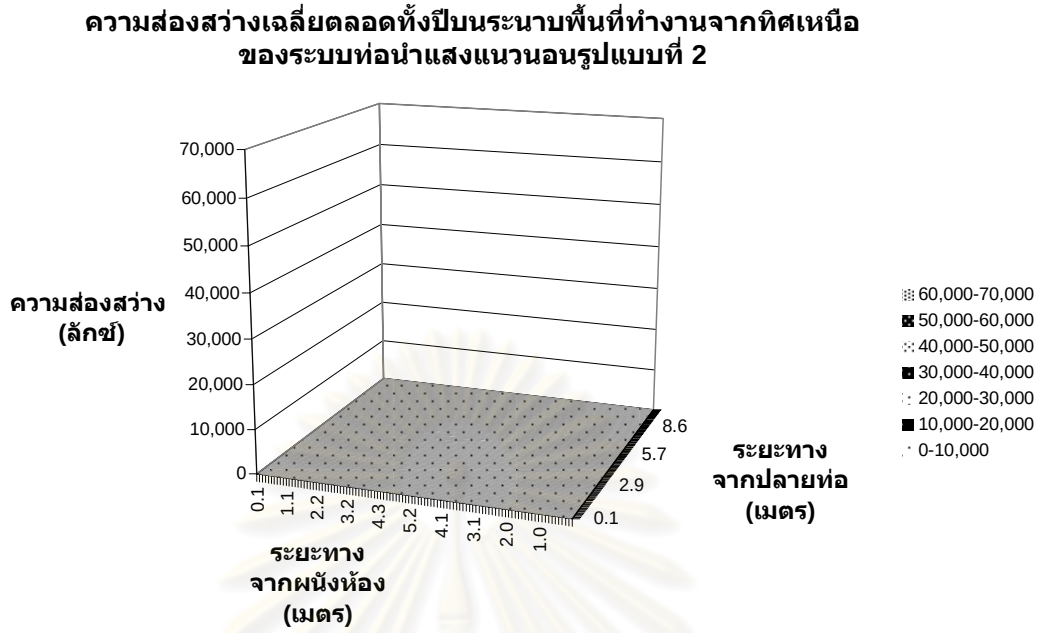


รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

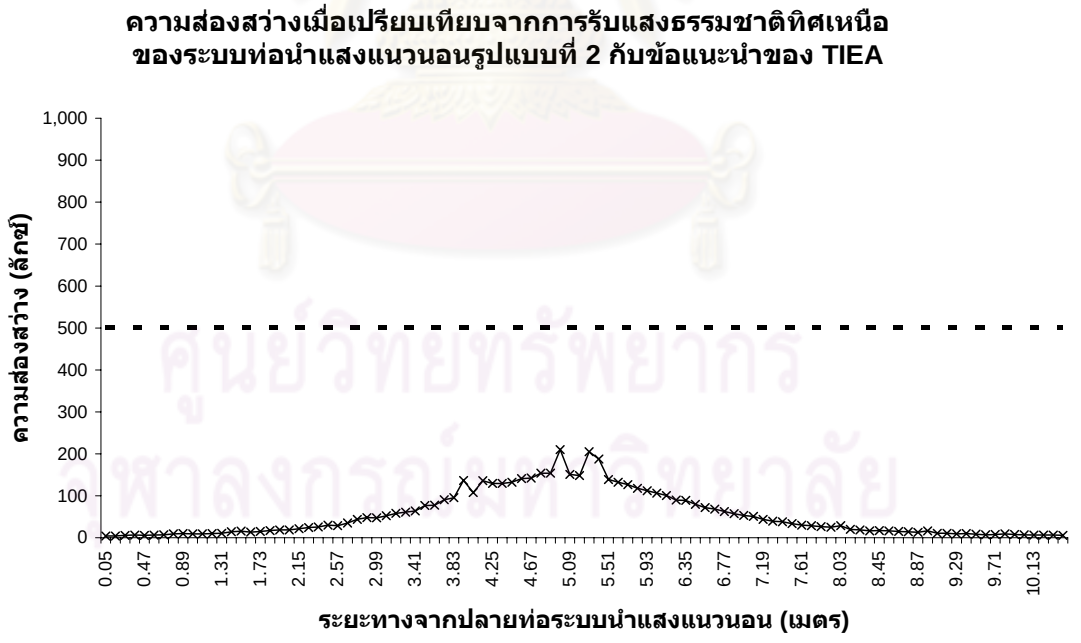
1.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 13,124.75 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 90 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.31 - 210.24 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ

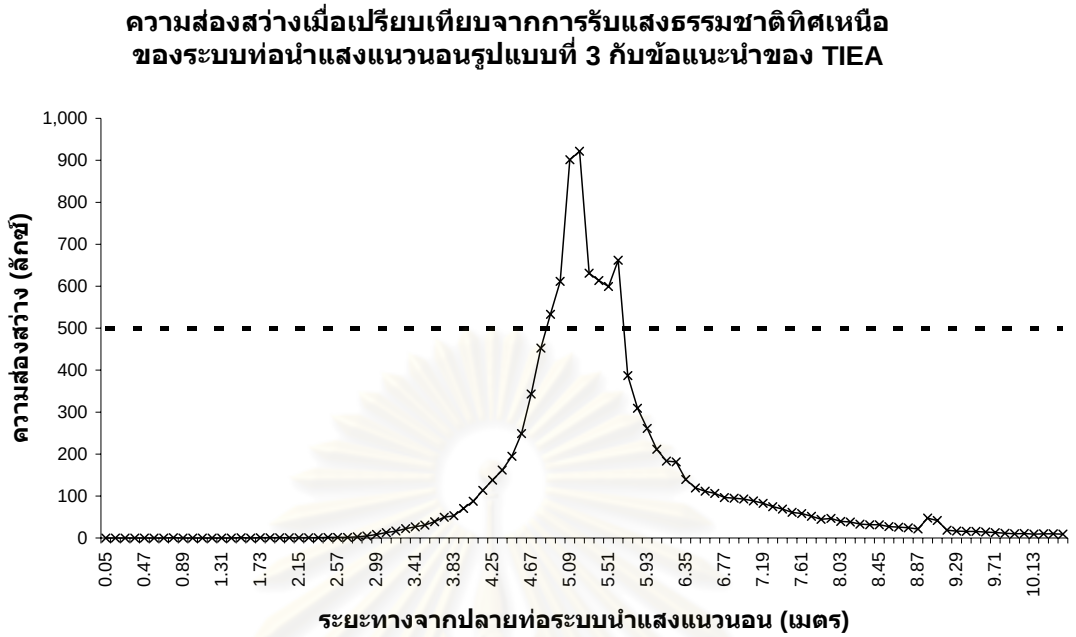


รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 10,453.06 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 92 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.07 - 921.91 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 93

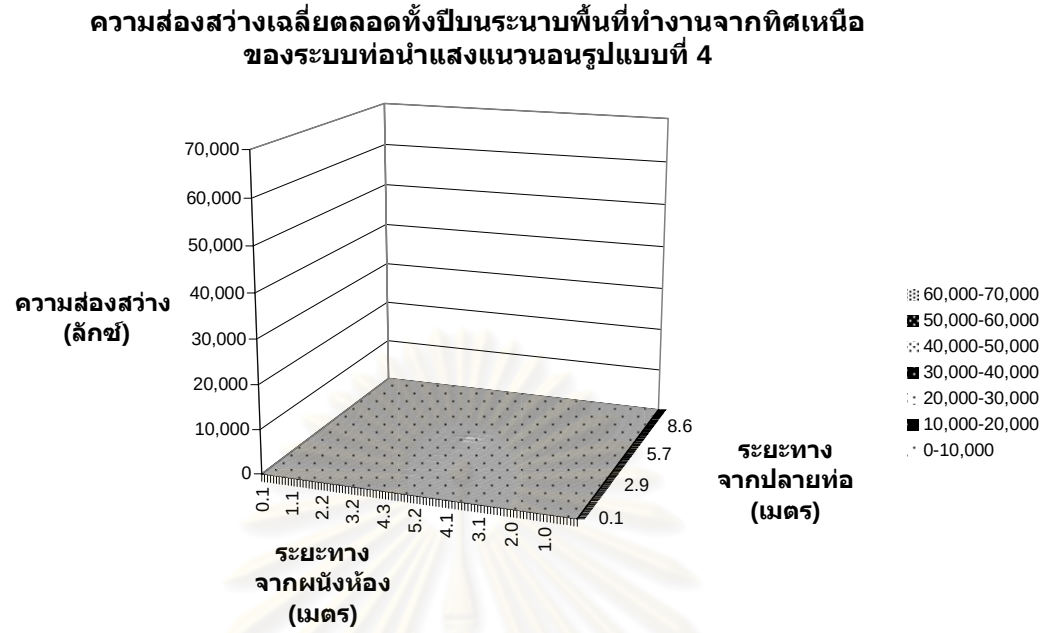
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ



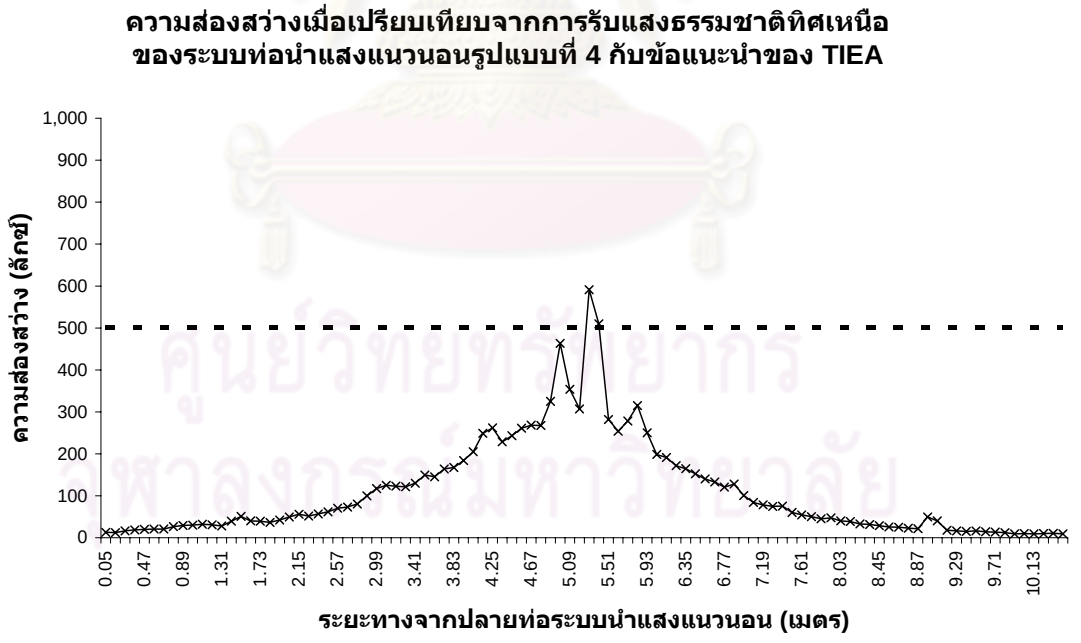
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 11,974.44 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 94 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 9.56 - 591.28 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงจะอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 5.3 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.3 เมตร ตามรูปที่ 95



รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ



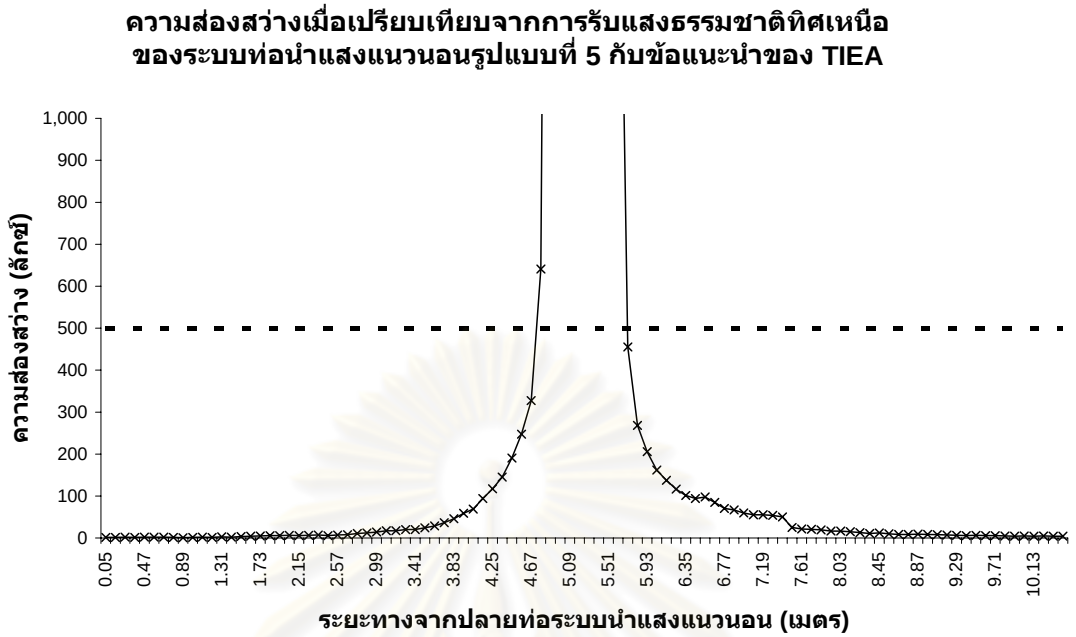
รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 76,518.50 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 96 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 1.02 - 60,223.07 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 97

รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

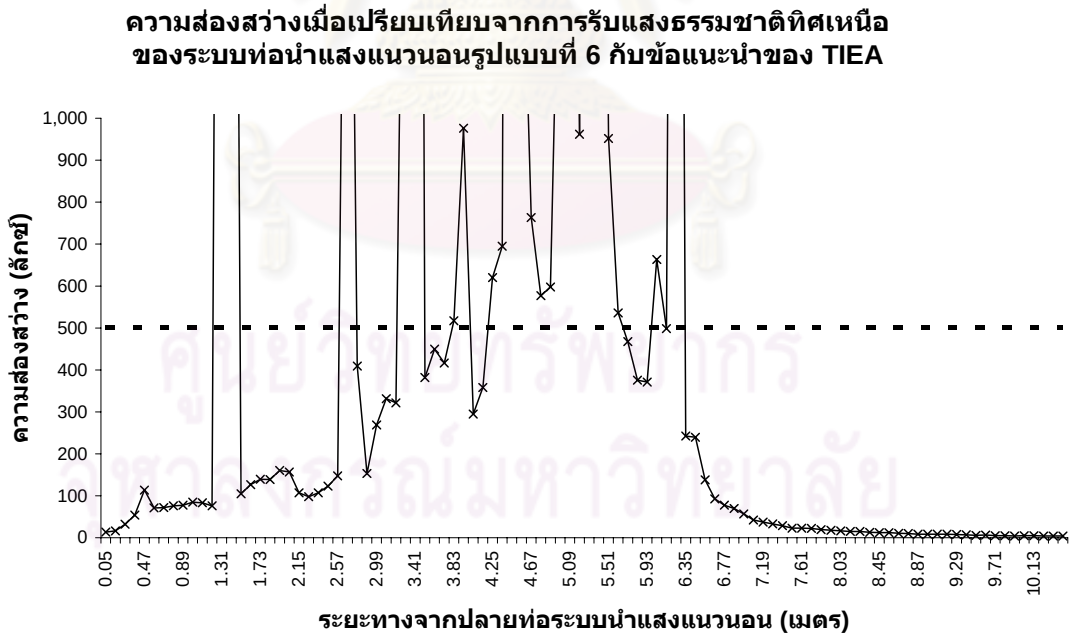


รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 77,250.97 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 98 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.10 - 7,033.72 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งห้อง บริเวณที่มีขอบเขตกว้างที่สุดมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.2 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.6 เมตร โดยมีขอบเขตของส่วนย่อยประมาณ 0.1 - 0.4 เมตร กระจายทั่วพื้นที่ ตามรูปที่ 99

รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ

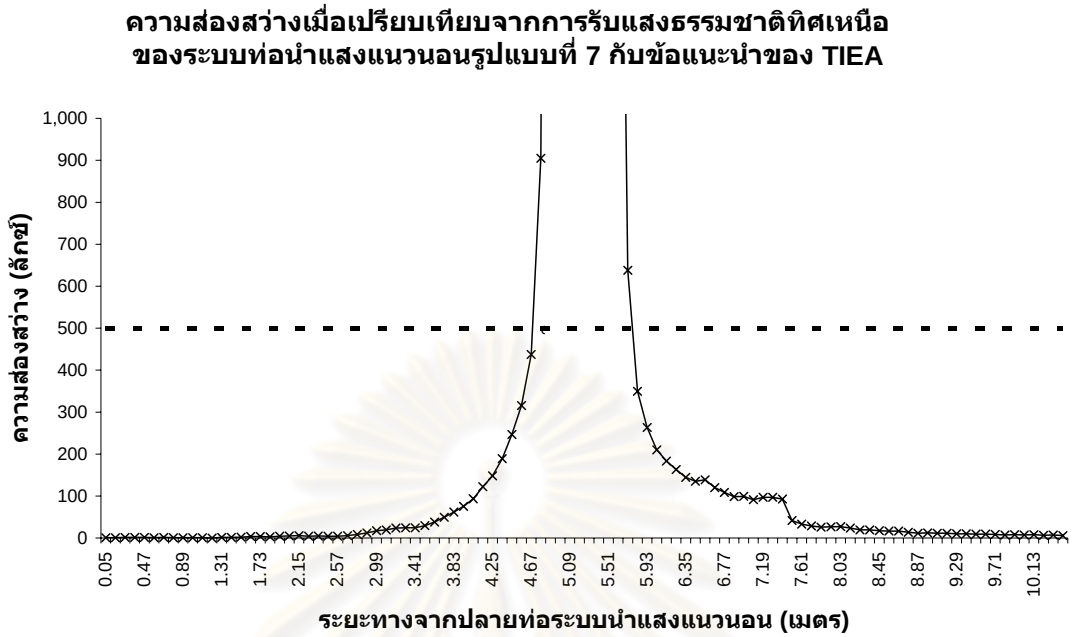


รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 76,479.35 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 100 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.32 - 60,600.05 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 101

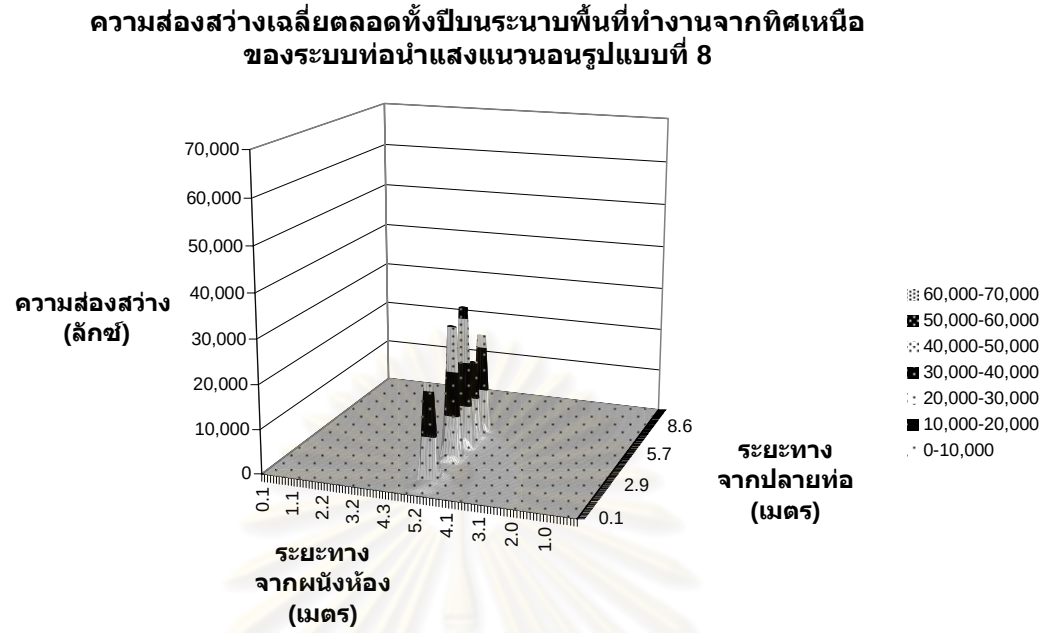
รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ



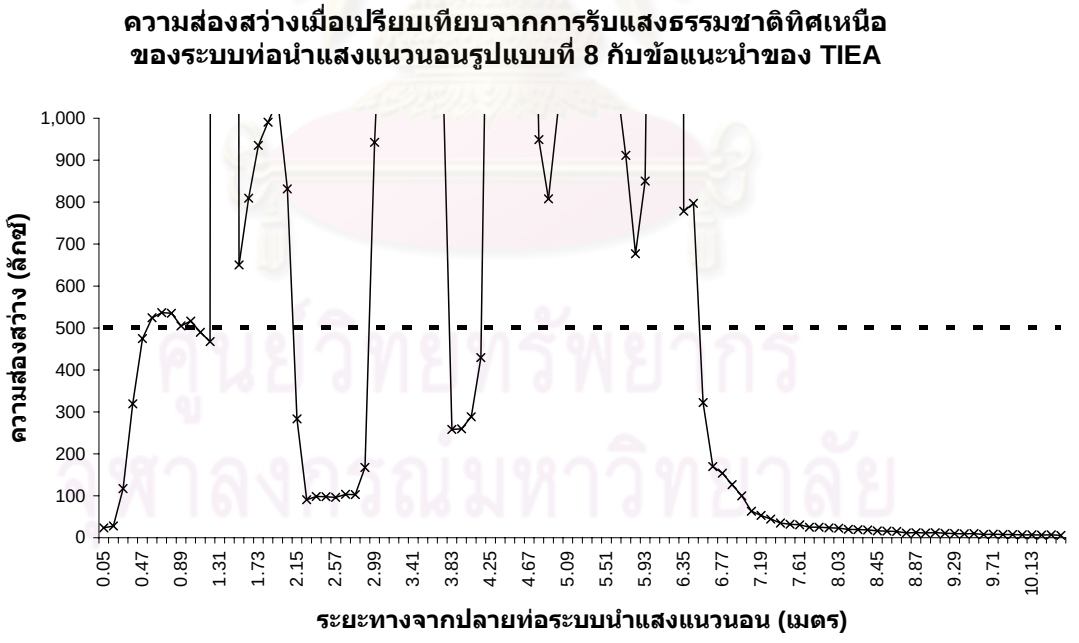
รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 76,769.25 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 102 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.02 - 32,771.01 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงแยกเป็นสามส่วน ส่วนแรกมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 0.6 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.6 เมตร ส่วนที่สองมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 3.1 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.7 เมตร และส่วนที่สามมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.2 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.3 เมตร ตามรูปที่ 103



รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ



รูปที่ 7 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

2. <u>การเปรียบเทียบลักษณะแสงสว่างในทิศเหนือ</u>

การเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานเมื่อพิจารณาจากค่าความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ สามารถแยกประเภทของระบบท่อนำแสงแนวนอนตามลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานได้ดังนี้

2.1 กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างไม่ถึง 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 411.89%) เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าไม่ถึง 500 ลักซ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงาน

2.2กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 802.42%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 959.64%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 28,644.09%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 30,257.56%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่เป็นรูปแบบเอียง 45 องศาปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติให้การกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ แต่ขอบเขตปริมาณความส่องสว่างค่อนข้างแคบ จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงเพื่อเพิ่มขอบปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานก่อนนำไปใช้งาน สำหรับระบบท่อนำแสงรูปแบบที่ 1 และระบบท่อนำแสงรูปแบบที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงอาจทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า 500 ลักซ์ เนื่องจากค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงคุณภาพแสงมีค่าค่อนข้างน้อย

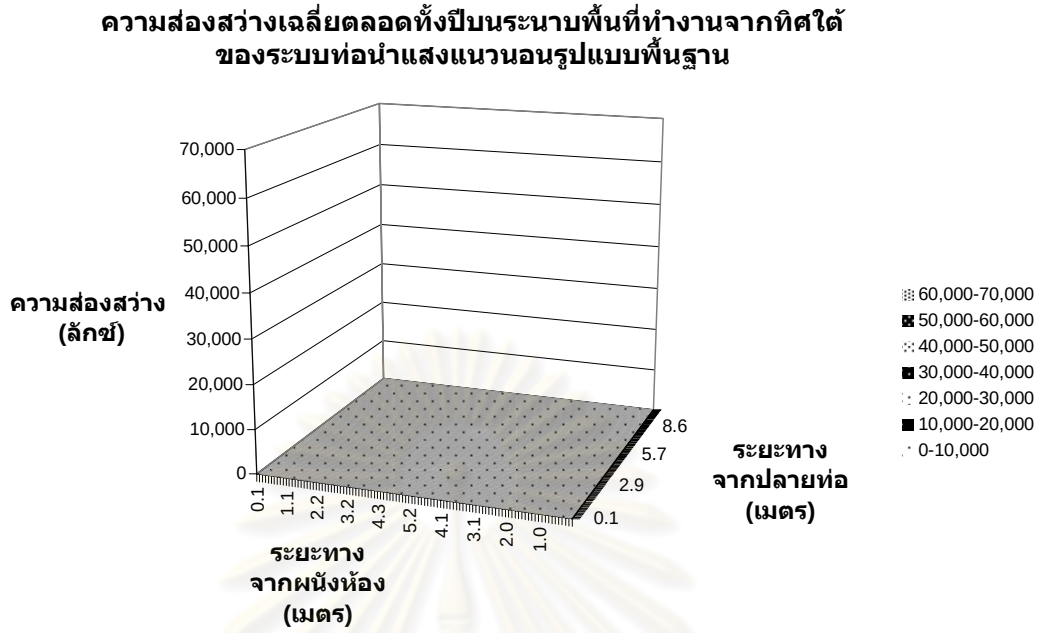
2.3กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงไม่มีความสม่ำเสมอ ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 967.21%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 6,373.66%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 25,497.28%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่เป็นรูปแบบโค้งปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติให้การกระจายแสงแผ่ทั่วห้อง เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ การกระจายแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ถึงแม้มีบางบริเวณที่มีขอบเขตปริมาณความส่องสว่างที่ค่อนข้างกว้างและสามารถนำไปใช้งานได้ แต่การควบคุมจัดการบริเวณที่มีขอบเขตแคบและยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้เป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงก่อนนำไปใช้งาน เพื่อสร้างความสม่ำเสมอให้กับขอบเขตของปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน สำหรับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 การปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงอาจทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า 500 ลักซ์ เนื่องจากค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงคุณภาพแสงมีค่าค่อนข้างน้อยมาก

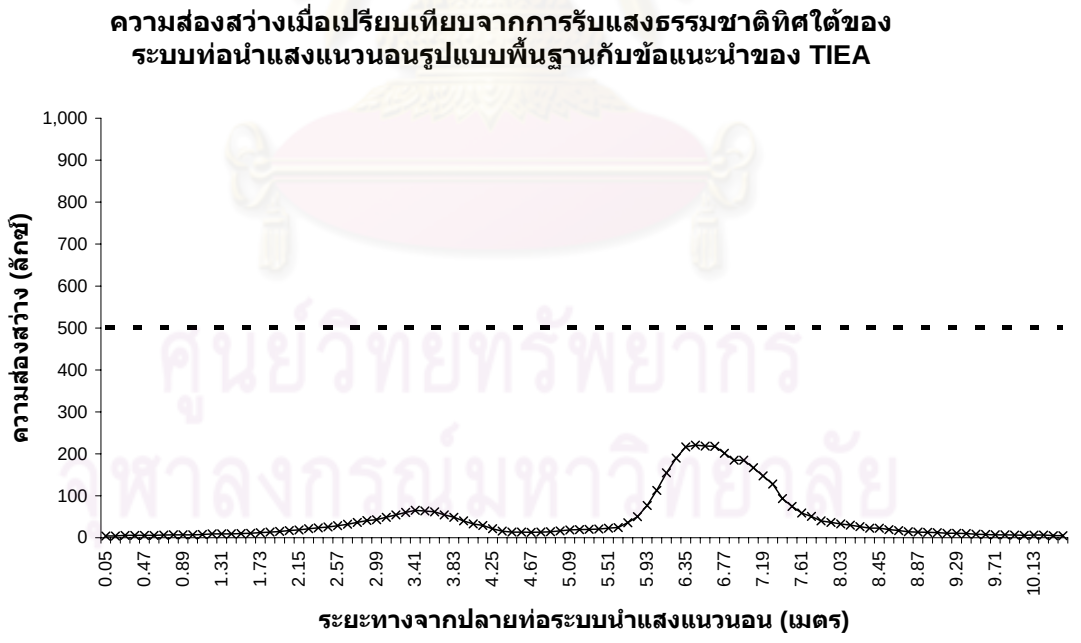
3. <u>ผลการศึกษาระนาบพื้นที่ทำงานในทิศใต้</u>

3.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 5,120.05 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 104 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.58 - 221.14 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 105



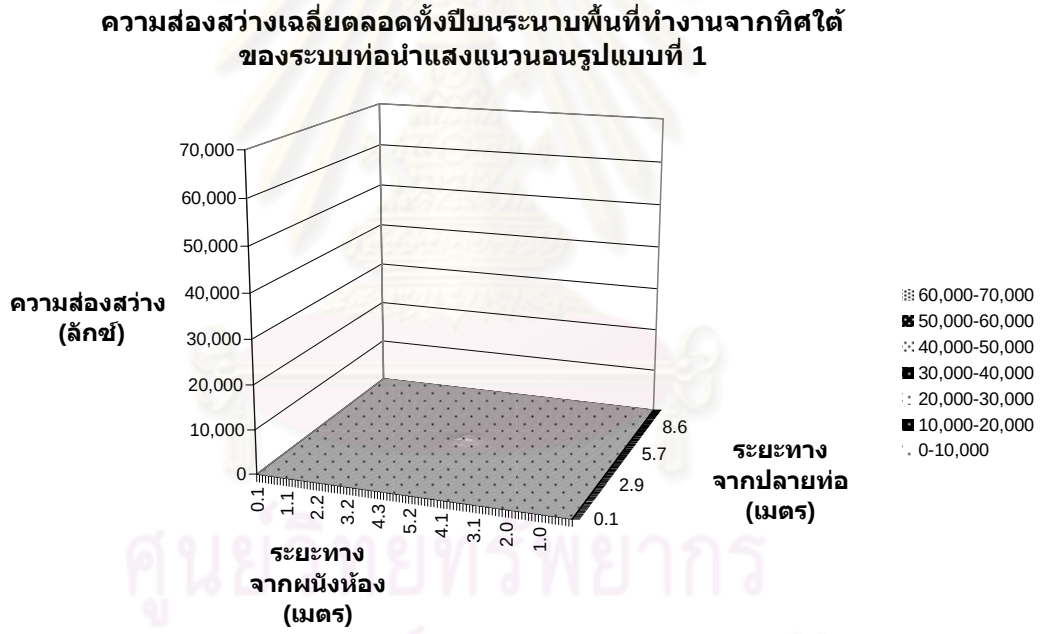
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้



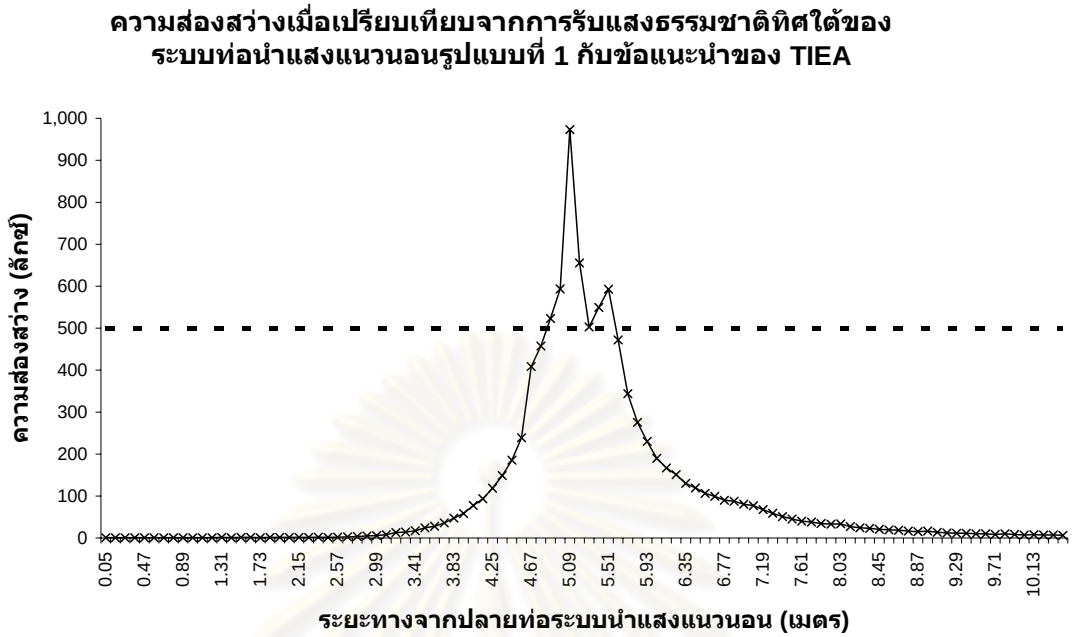
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 13,768.25 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 106 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.44 - 973.09 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 107



รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้

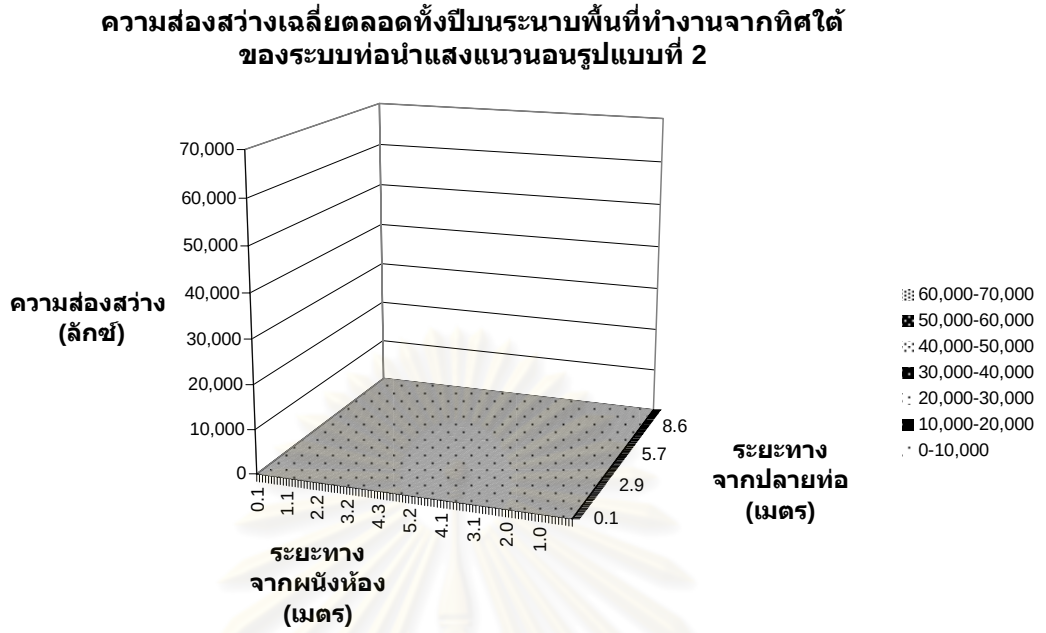


รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

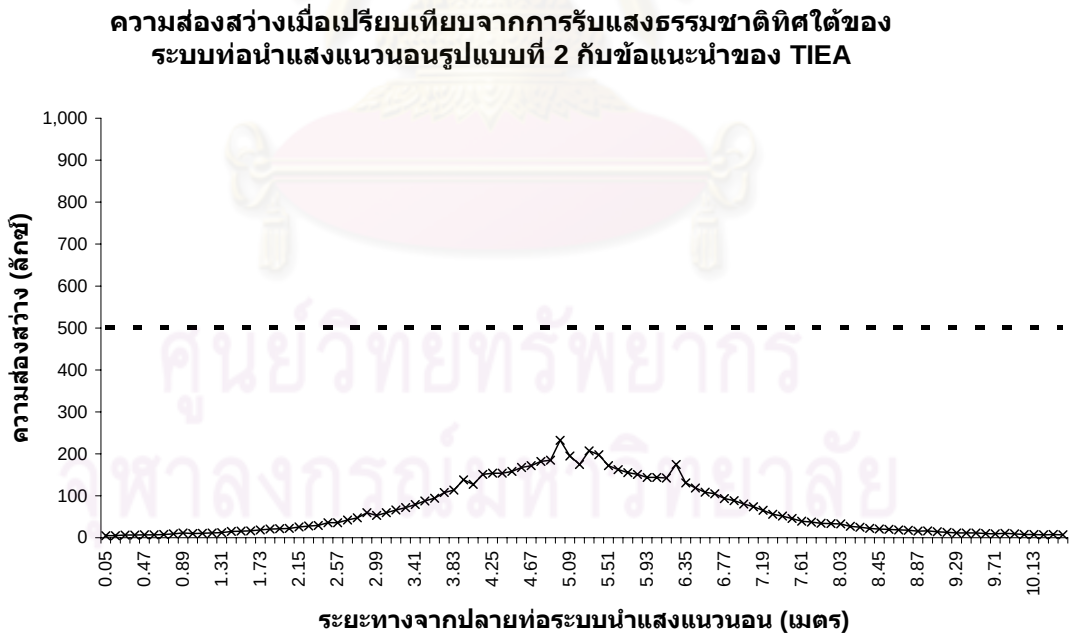
3.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 17,195.87 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 108 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.92 - 232.49 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



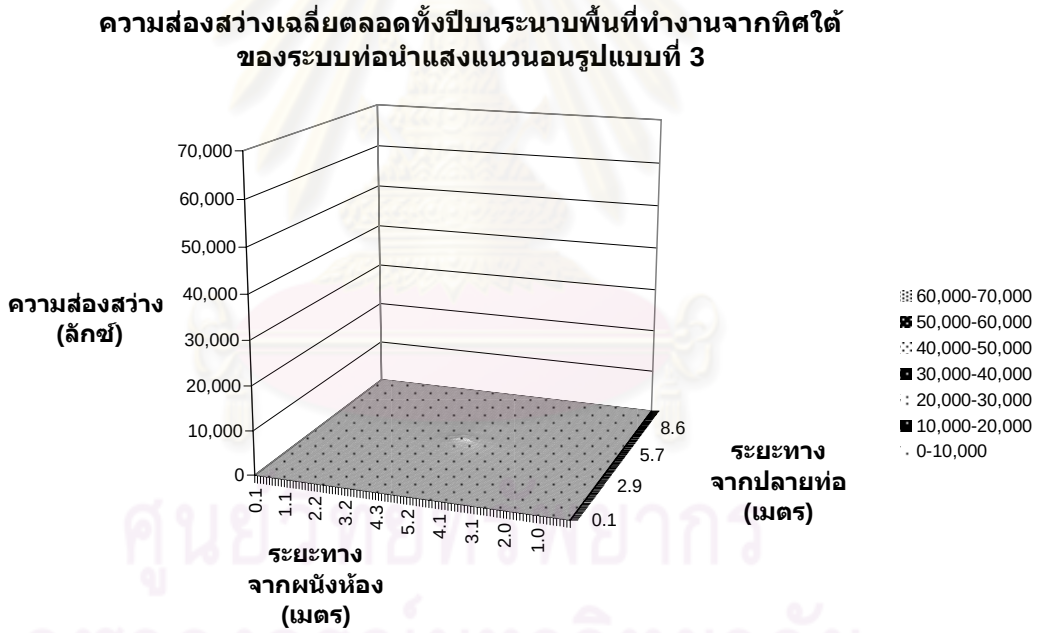
รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้



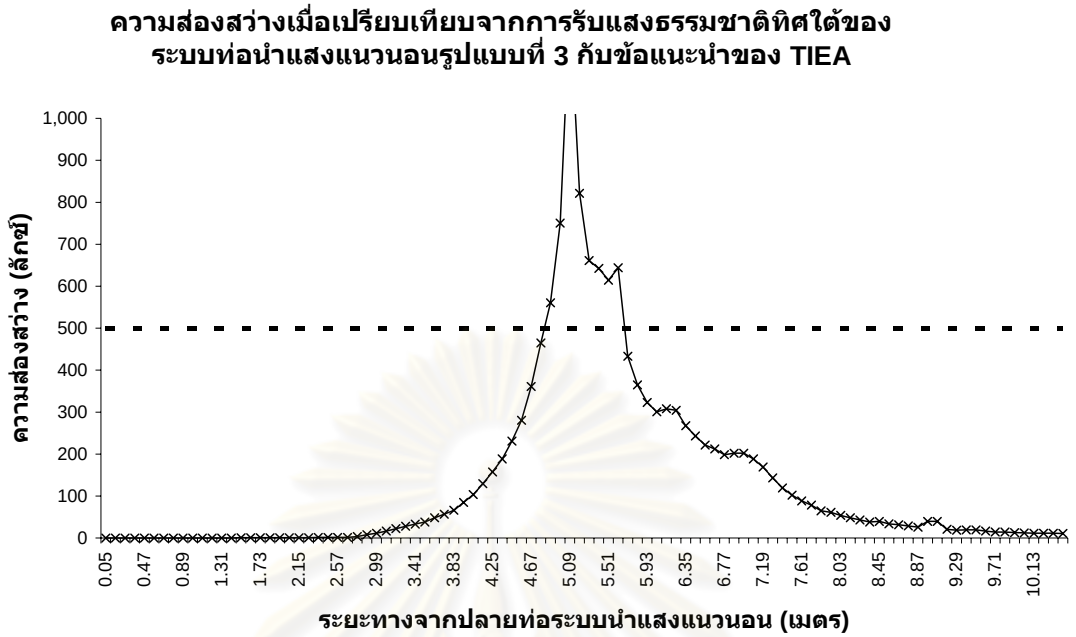
รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 13,288.60 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 110 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.14 - 1,264.16 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 111



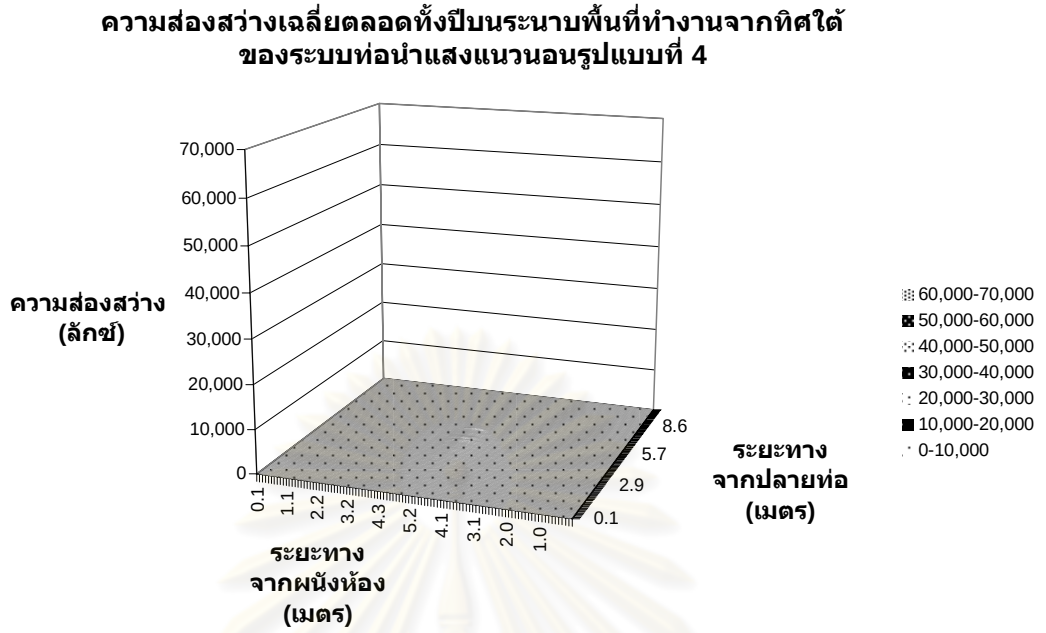
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้



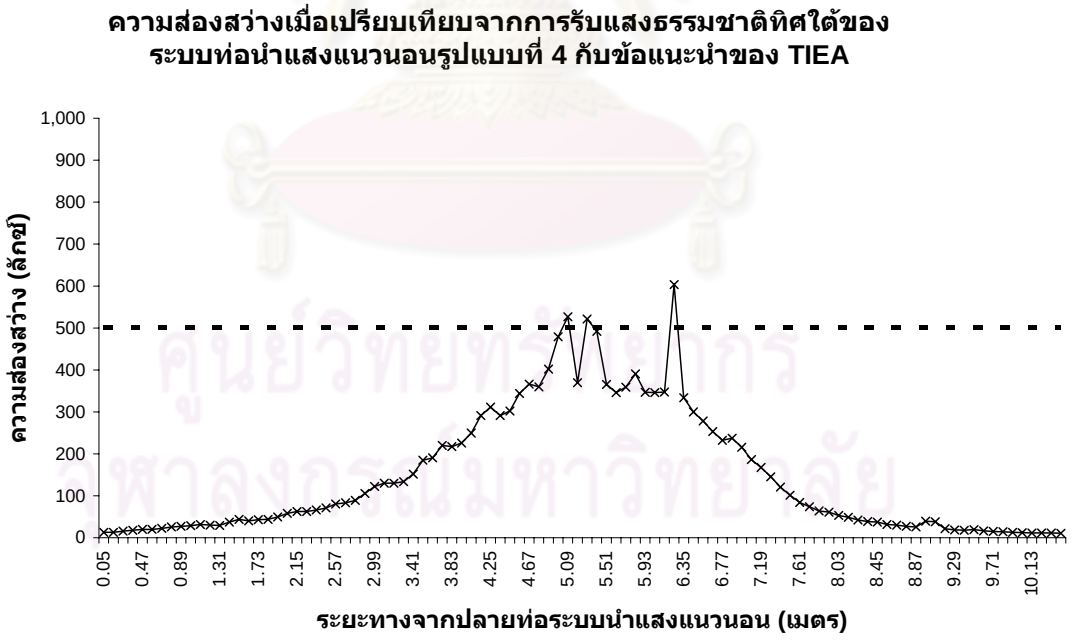
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 15,671.74 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 112 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 10.88 - 760.89 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงไม่สม่ำเสมอแยกเป็นสามส่วน ส่วนแรกมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 5.0 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.1 เมตร ส่วนที่สองมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 5.3 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.1 เมตร และส่วนที่สามมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 6.3 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.1 เมตร ตามรูปที่ 113



รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้

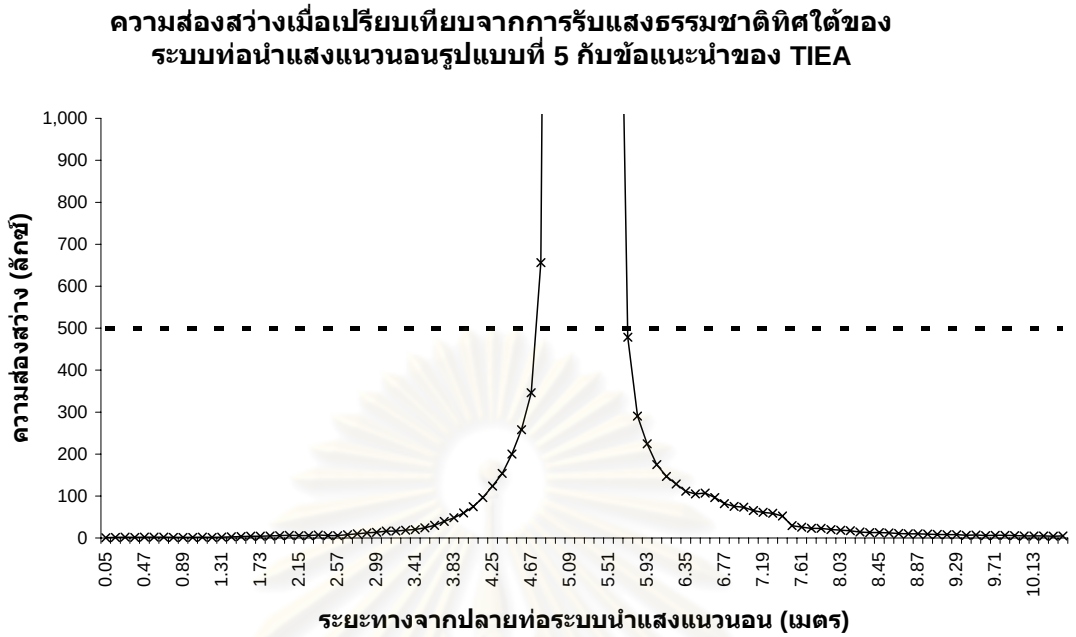


รูปภาพ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 75,487.56 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 114 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 1.06 - 56,001.98 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 115

รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้

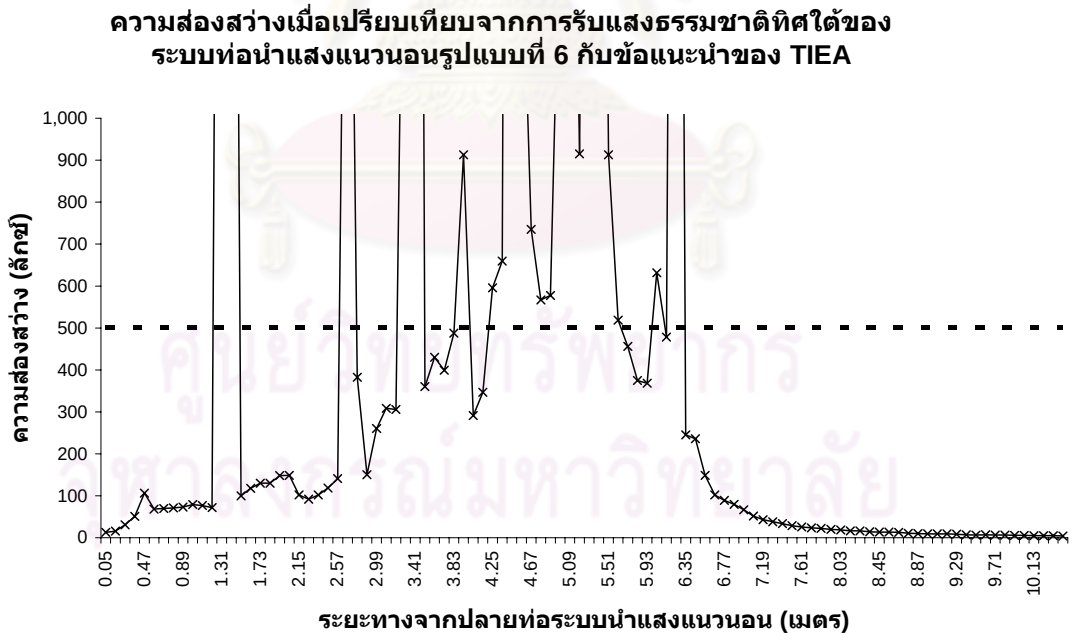


รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 76,708.90 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 116 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.66 - 6,579.18 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งห้อง บริเวณที่มีขอบเขตกว้างที่สุดมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.2 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.6 เมตร โดยมีขอบเขตของส่วนย่อยประมาณ 0.1 - 0.3 เมตร กระจายทั่วพื้นที่ ตามรูปที่ 117

รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้

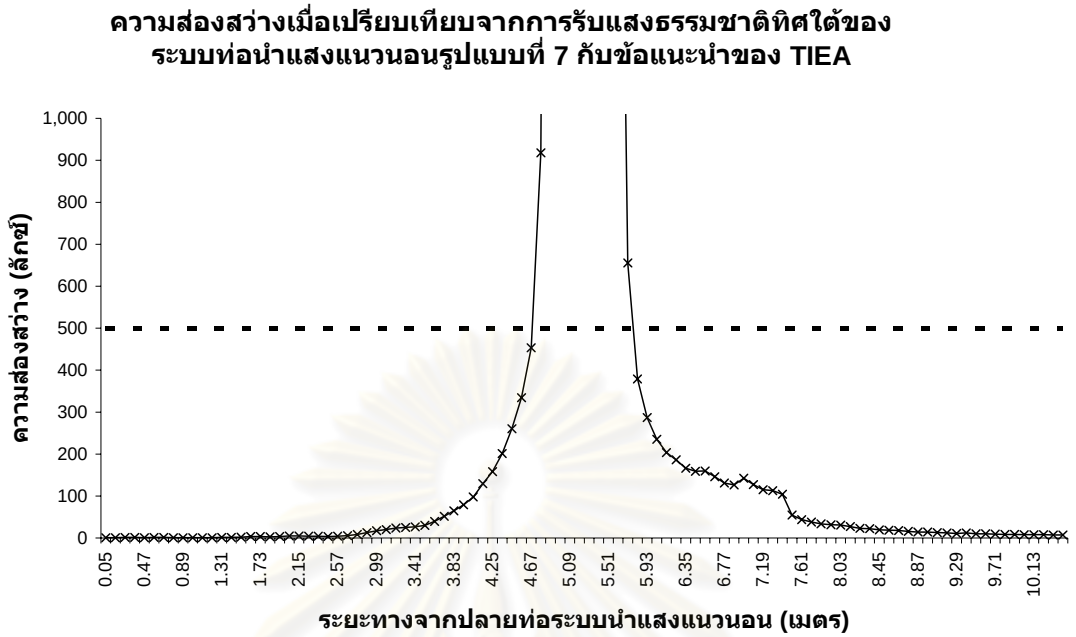


รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 75,297.21 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 118 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.39 - 56,403.31 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 119

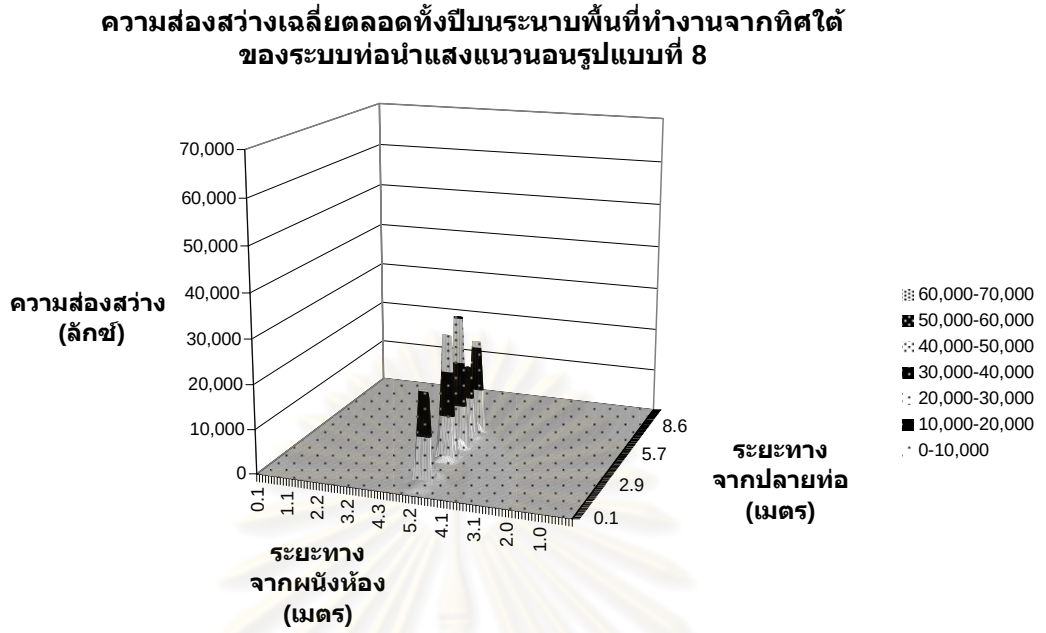
รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้



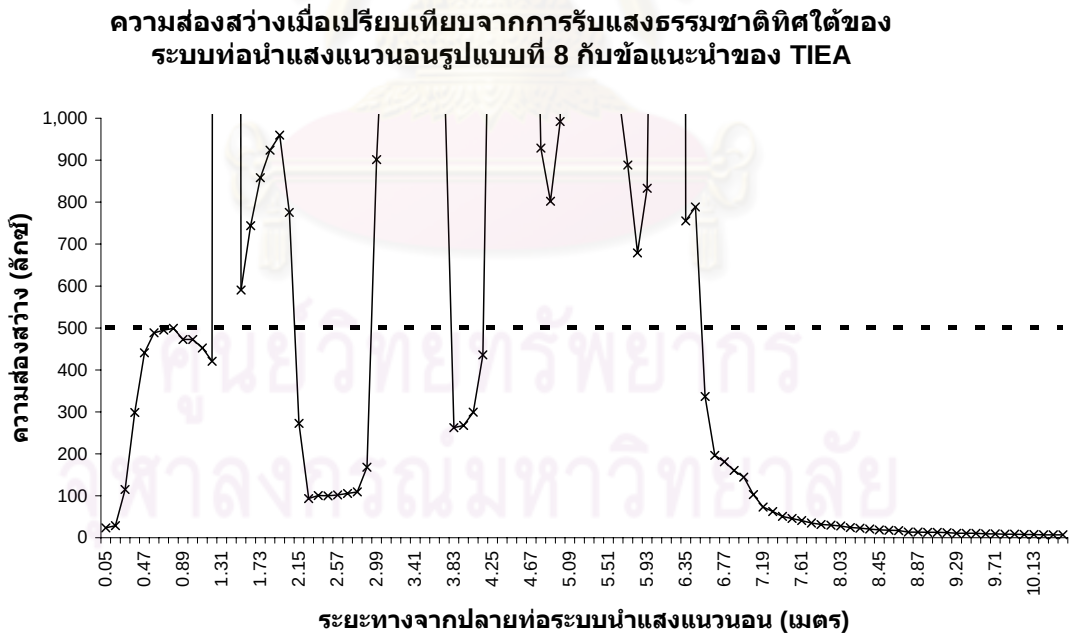
รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้มีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 75,937.61 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 120 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.00 - 30,565.05 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงแยกเป็นสามส่วน ส่วนแรกมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 1.3 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.8 เมตร ส่วนที่สองมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 3.1 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.8 เมตร และส่วนที่สามมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.2 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.4 เมตร ตามรูปที่ 121



รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้



รูปที่ 7 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

4. <u>การเปรียบเทียบลักษณะแสงสว่างในทิศใต้</u>

การเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานเมื่อพิจารณาจากค่าความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ สามารถแยกประเภทของระบบท่อนำแสงแนวนอนตามลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานได้ดังนี้

4.1 กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างไม่ถึง 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 161.17%) เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าไม่ถึง 500 ลักซ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงาน

4.2 กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 337.55%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 444.46%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 13,534.72%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 14,262.97%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่เป็นรูปแบบเอียง 45 องศา ปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติให้การกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ แต่ขอบเขตปริมาณความส่องสว่างค่อนข้างแคบ จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงเพื่อเพิ่มขอบปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานก่อนนำไปใช้งาน สำหรับระบบท่อนำแสงรูปแบบที่ 1 และระบบท่อนำแสงรูปแบบที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงอาจทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า 500 ลักซ์ เนื่องจากค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงคุณภาพแสงมีค่าค่อนข้างน้อย

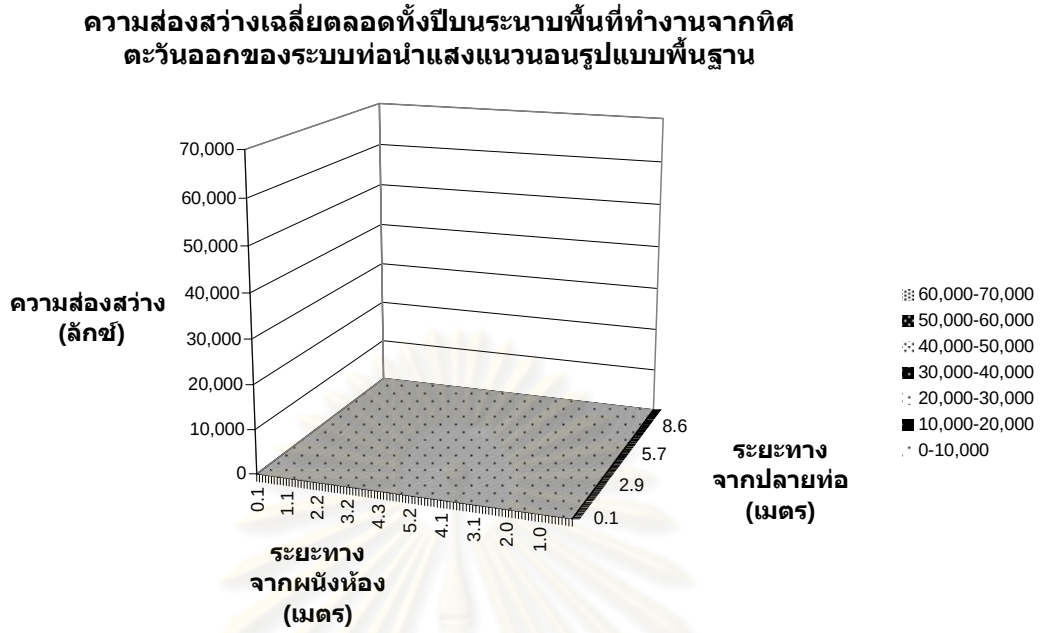
4.3กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงไม่มีความสม่ำเสมอ ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 459.89%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,775.09%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 11,527.30%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่เป็นรูปแบบโค้งปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติให้การกระจายแสงแผ่ทั่วห้อง เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ การกระจายแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ถึงแม้มีบางบริเวณที่มีขอบเขตปริมาณความส่องสว่างที่ค่อนข้างกว้างและสามารถนำไปใช้งานได้ แต่การควบคุมจัดการบริเวณที่มีขอบเขตแคบและยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้เป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงก่อนนำไปใช้งาน เพื่อสร้างความสม่ำเสมอให้กับขอบเขตของปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน สำหรับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 การปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงอาจทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า 500 ลักซ์ เนื่องจากค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงคุณภาพแสงมีค่าค่อนข้างน้อยมาก

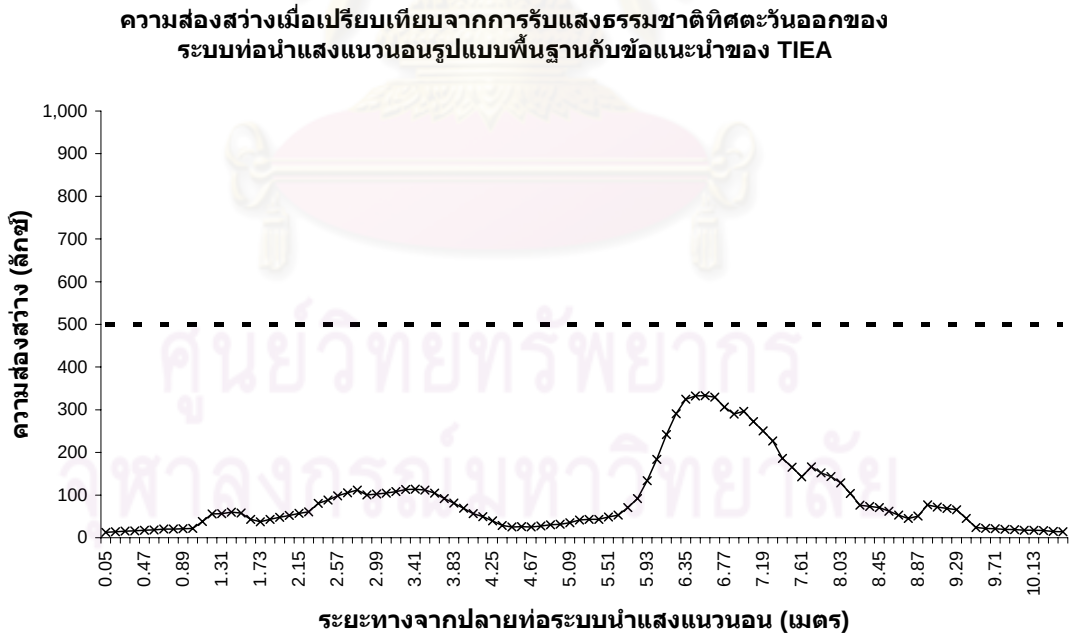
5. <u>ผลการศึกษาระนาบพื้นที่ทำงานในทิศตะวันออก</u>

5.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 10,146.63 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 122 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 12.63 - 333.28 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 123



รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก



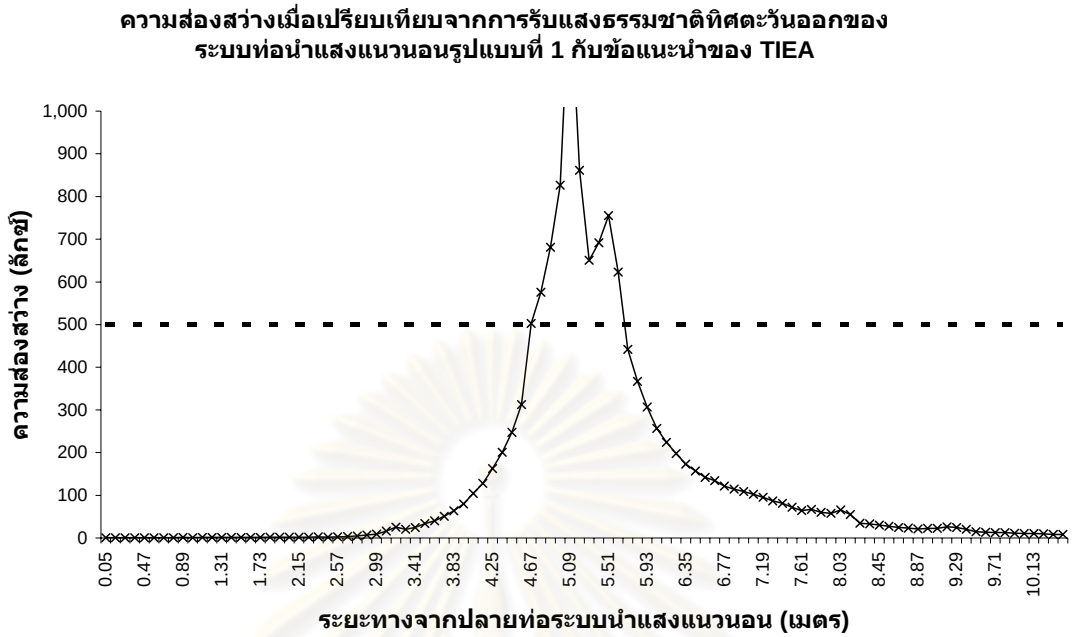
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 18,028.95 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 124 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.73 - 1,309.81 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ ลักษณะการกระจายแสงจะอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากปลายท่อประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 125

รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก

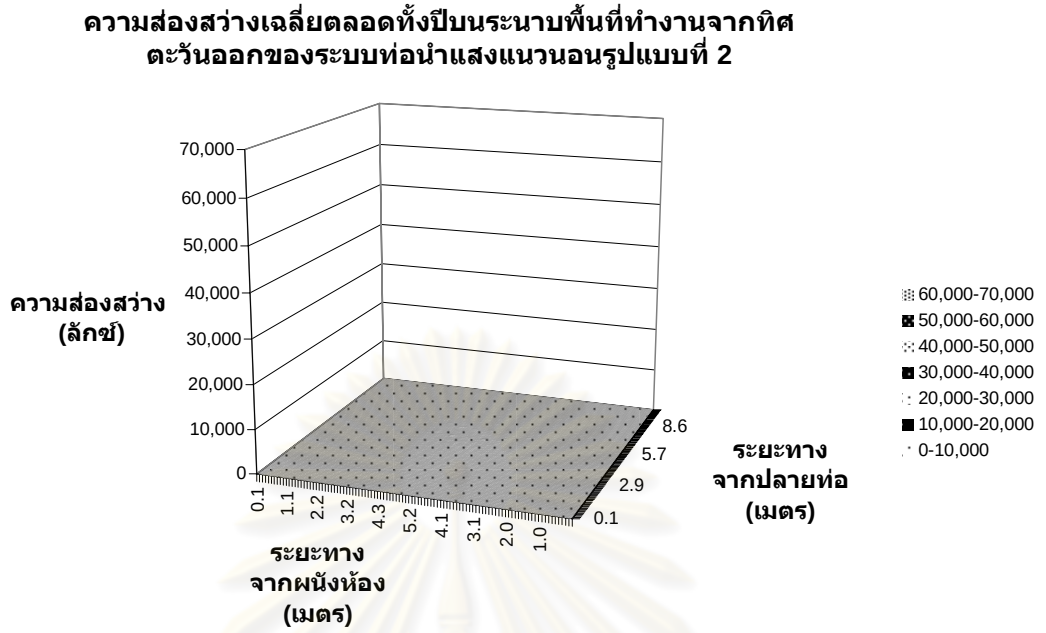
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



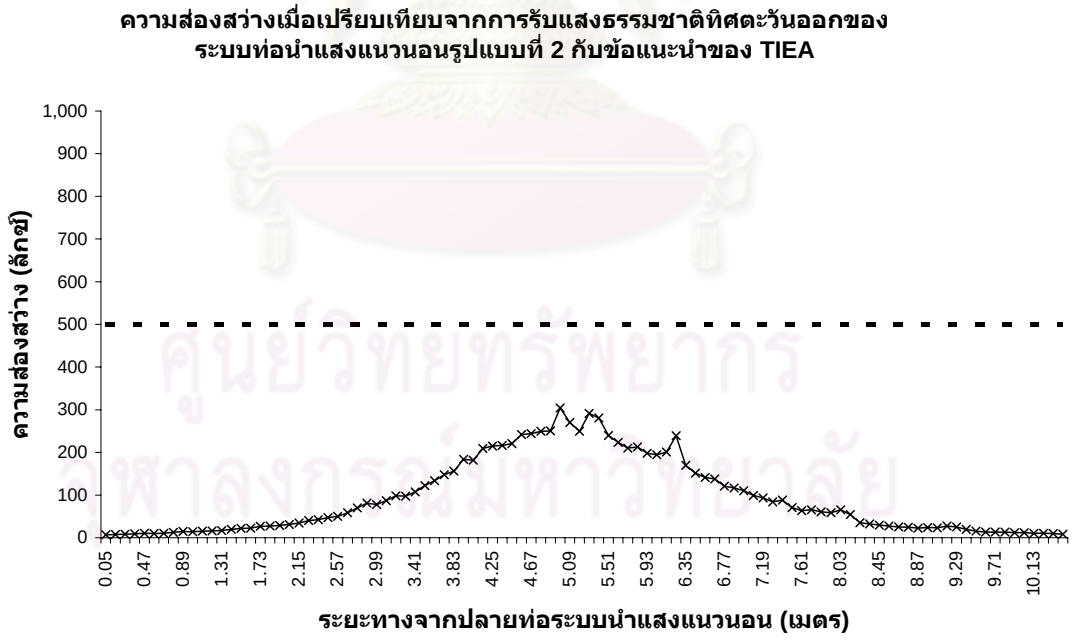
รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 22,499.46 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 126 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.80 - 303.92 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 127



รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก

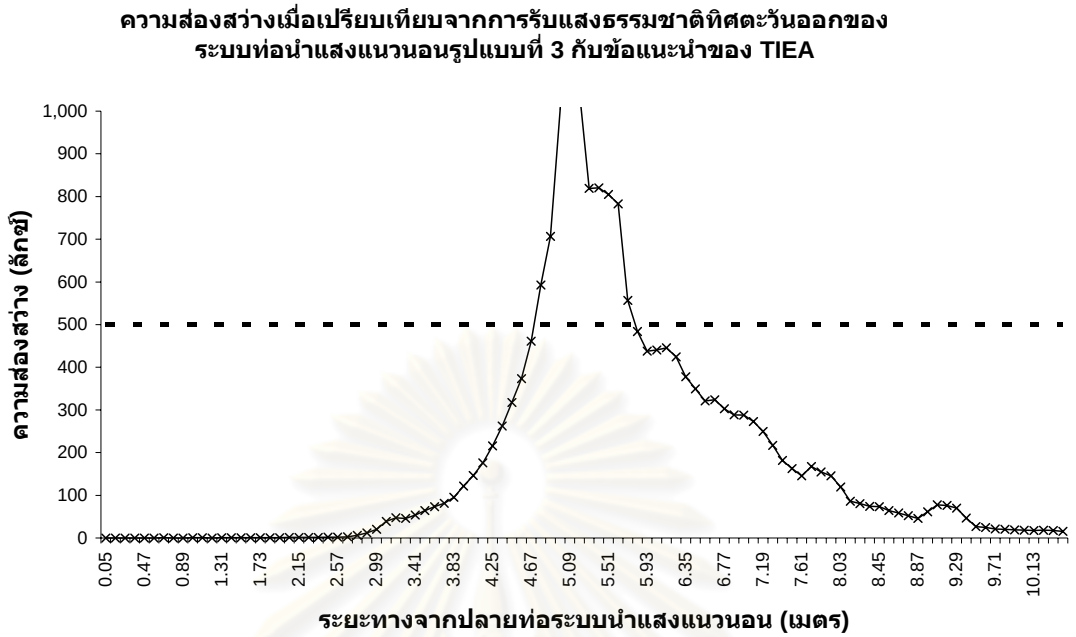


รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 16,897.23 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 128 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.21 - 1,655.51 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 129

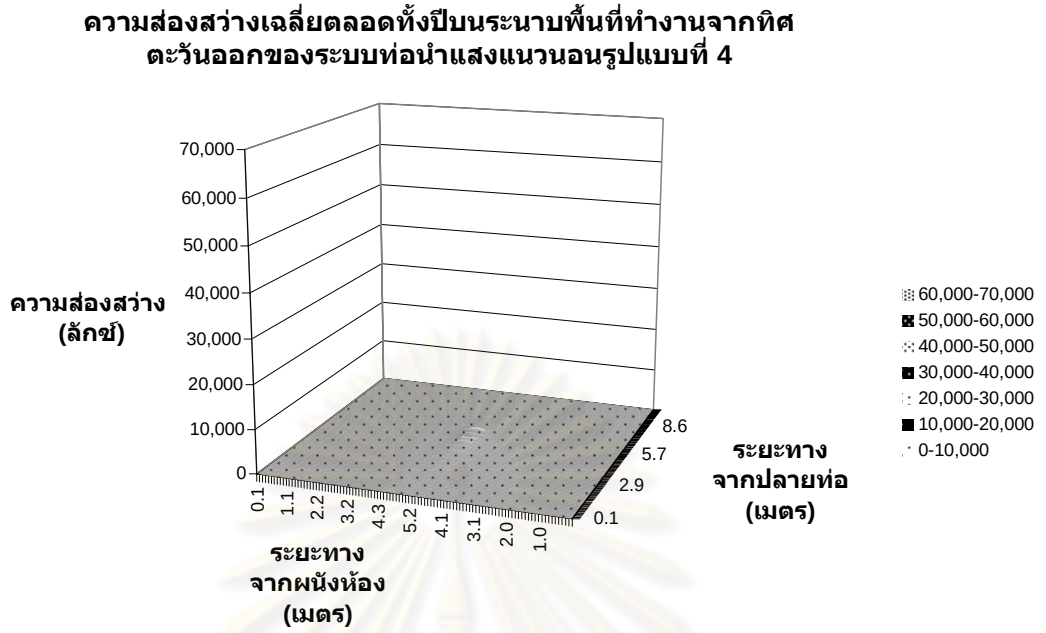
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก



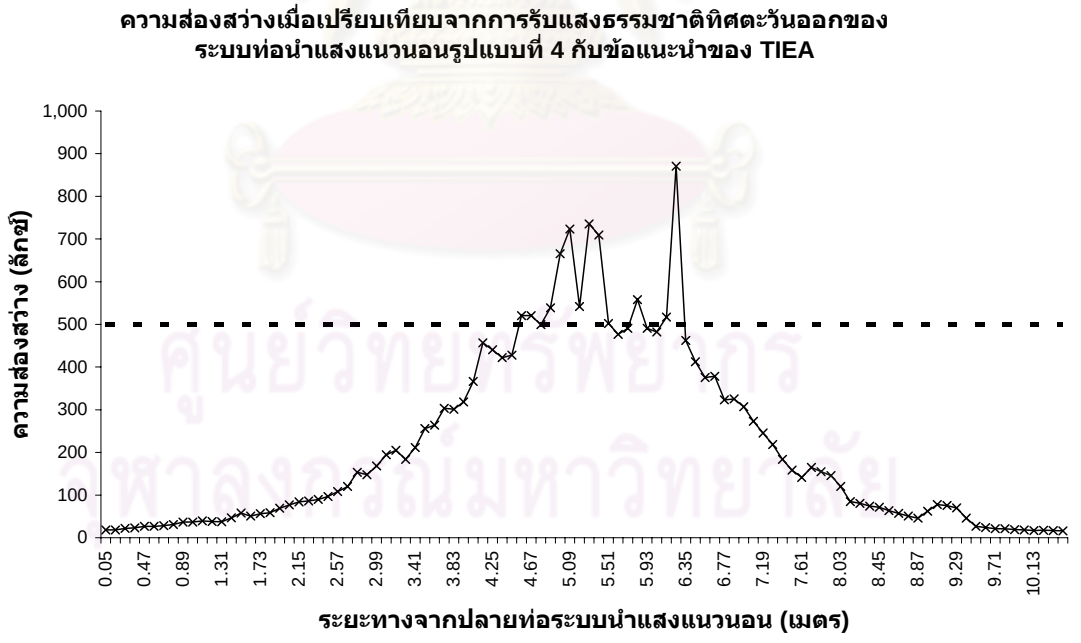
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 20,278.65 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 130 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 16.38 - 870.65 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างมีมากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงไม่สม่ำเสมอแยกเป็นสามส่วน ส่วนแรกมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.9 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.7 เมตร ส่วนที่สองมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 5.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.1 เมตร และส่วนที่สามมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 6.2 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.1 เมตร ตามรูปที่ 131



รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก

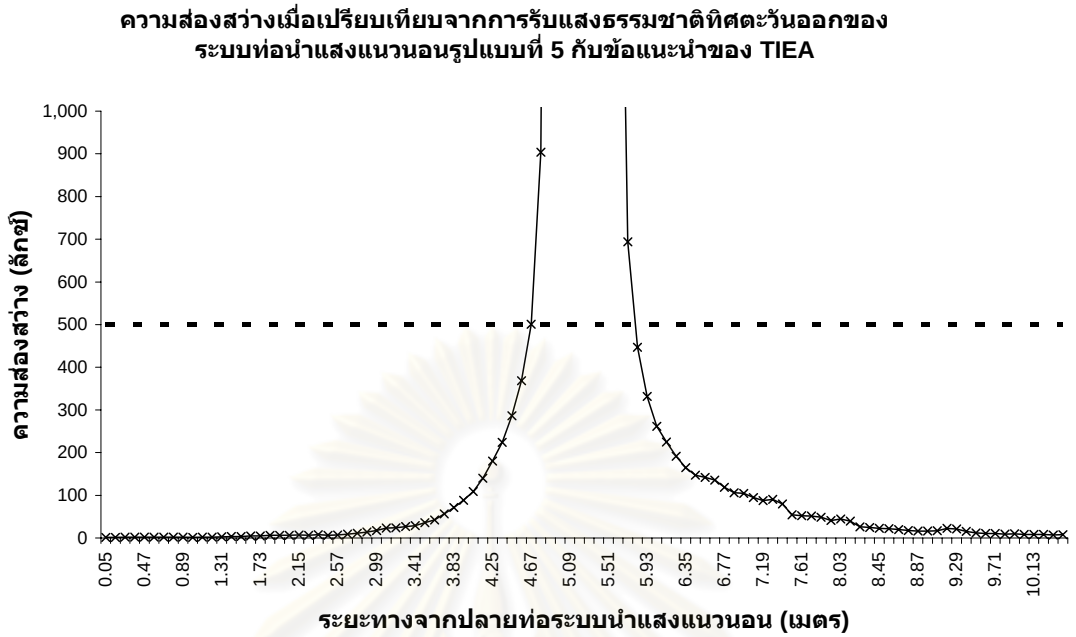


รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 77,034.78 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 132 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 1.35 - 54,567.73 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.0 เมตร ตามรูปที่ 133

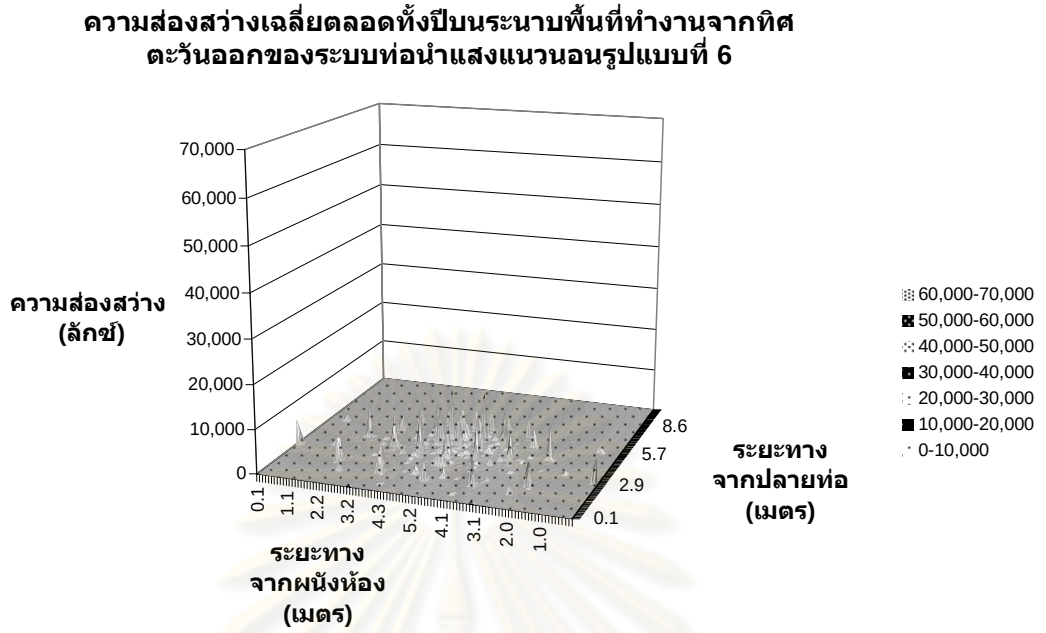
รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก



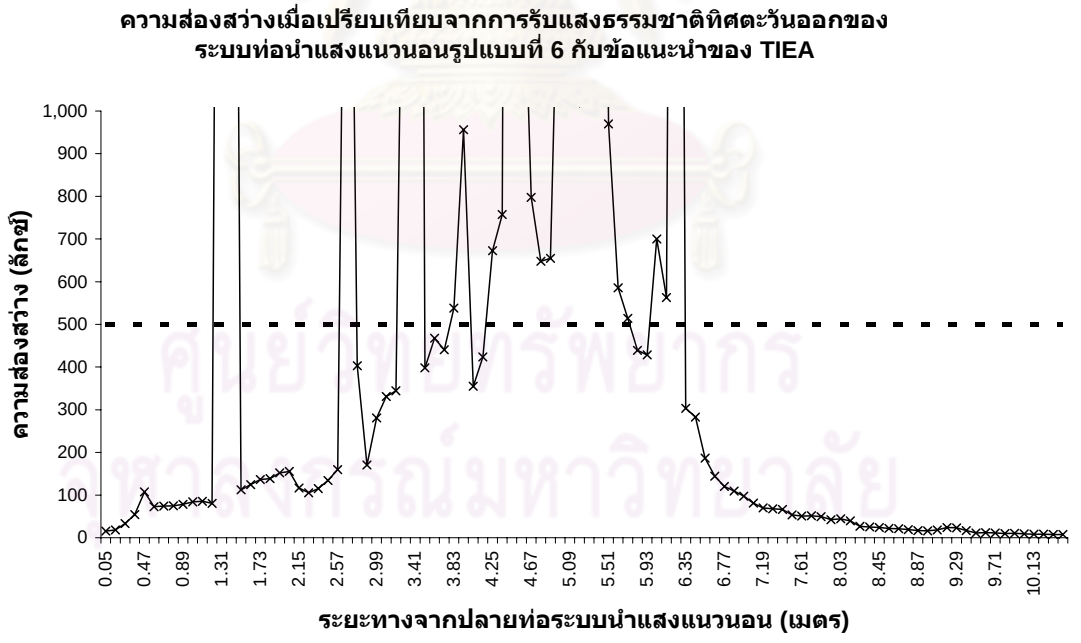
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 79,525.00 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 134 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.63 - 6,453.38 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งห้อง บริเวณที่มีขอบเขตกว้างที่สุดมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.2 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.6 เมตร โดยมีขอบเขตของส่วนย่อยประมาณ 0.1 - 0.4 เมตร กระจายทั่วพื้นที่ ตามรูปที่ 135



รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก

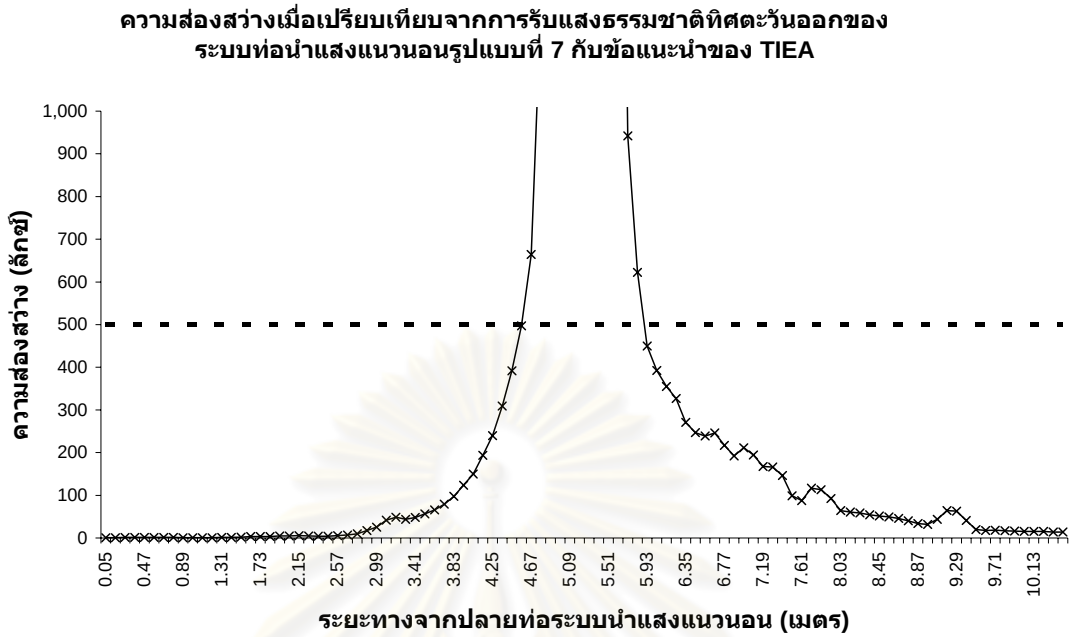


รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 76,358.46 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 136 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.63 - 55,067.24 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.7 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.2 เมตร ตามรูปที่ 137

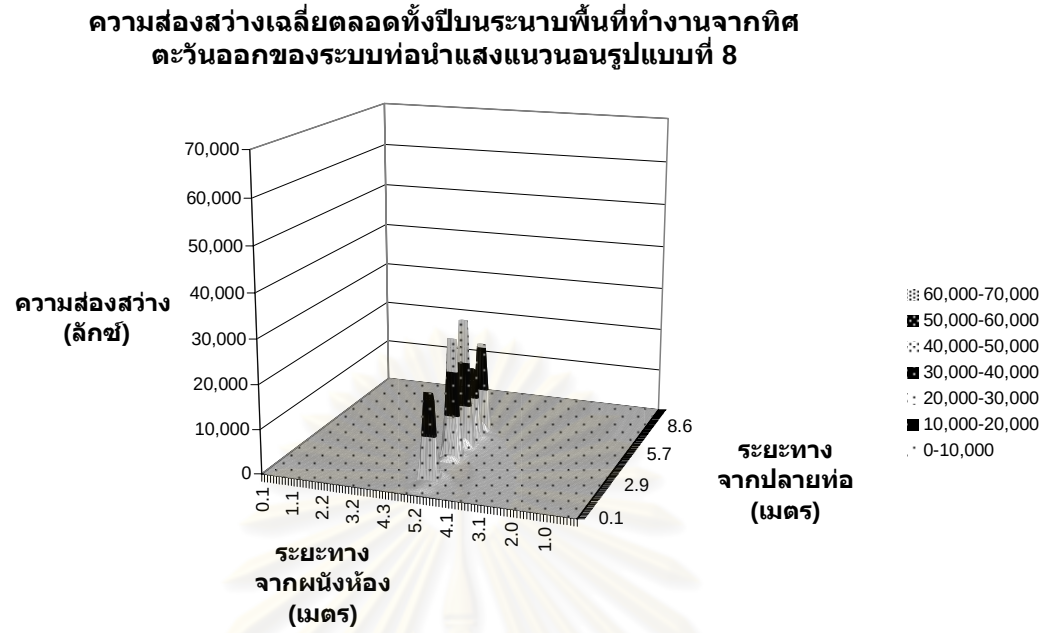
รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก



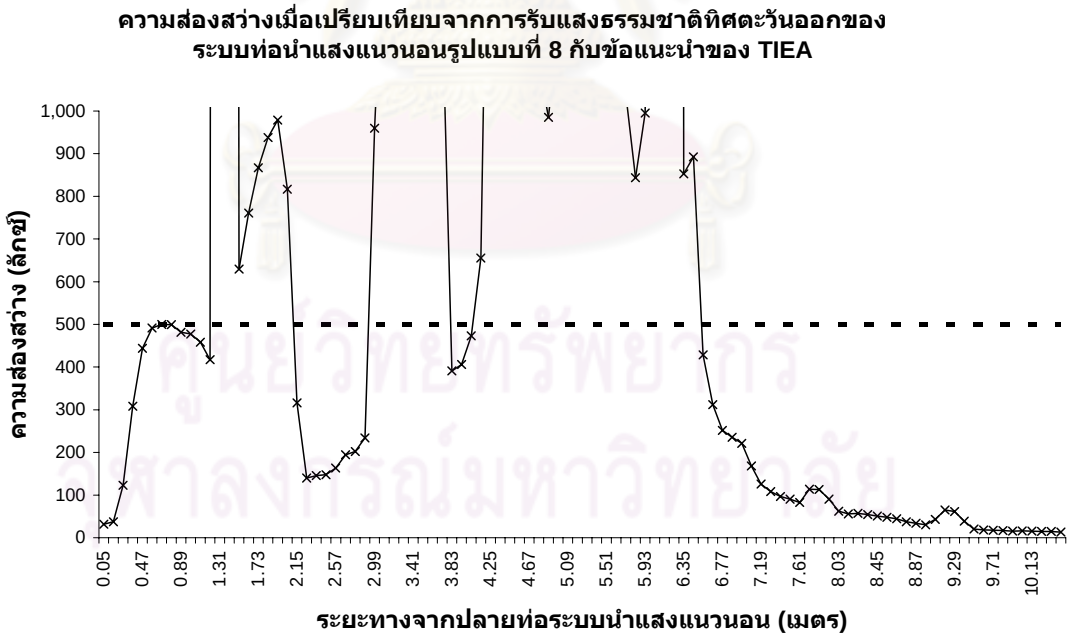
รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

5.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 77,528.85 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 138 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 13.54 - 29,729.62 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงแยกเป็นสามส่วน ส่วนแรกมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 1.3 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.8 เมตร ส่วนที่สองมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 3.1 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.8 เมตร และส่วนที่สามมีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.1 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.5 เมตร ตามรูปที่ 139



รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก



รูปที่ 7 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

6. <u>การเปรียบเทียบลักษณะแสงสว่างในทิศตะวันออก</u>

การเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานเมื่อพิจารณาจากค่าความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออก สามารถแยกประเภทของระบบท่อนำแสงแนวนอนตามลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานได้ดังนี้

6.1 กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างไม่ถึง 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 67.48%) เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าไม่ถึง 500 ลักซ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงาน

6.2กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 181.42%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 253.23%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 6,456.27%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 6,842.20%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่เป็นรูปแบบเอียง 45 องศาปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติให้การกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ แต่ขอบเขตปริมาณความส่องสว่างค่อนข้างแคบ จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงเพื่อเพิ่มขอบปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานก่อนนำไปใช้งาน สำหรับระบบท่อนำแสงรูปแบบที่ 1 และระบบท่อนำแสงรูปแบบที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงอาจทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า 500 ลักซ์ เนื่องจากค่าความ

ส่องสว่างก่อนการปรับปรุงคุณภาพแสงมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

6.3 กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงไม่มีความสม่ำเสมอ ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 286.86%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 1,068.75%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 4,319.80%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อที่เป็นรูปแบบโค้งปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงธรรมชาติให้การกระจายแสงแผ่ทั่วห้อง เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ การกระจายแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ถึงแม้มีบางบริเวณที่มีขอบเขตปริมาณความส่องสว่างที่ค่อนข้างกว้างและสามารถนำไปใช้งานได้ แต่การควบคุมจัดการบริเวณที่มีขอบเขตแคบและยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้เป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงก่อนนำไปใช้งาน เพื่อสร้างความสม่ำเสมอให้กับขอบเขตของปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน สำหรับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 การปรับปรุงคุณภาพแสงด้วยส่วนกระจายแสงอาจทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า 500 ลักซ์ เนื่องจากค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงคุณภาพแสงมีค่าค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

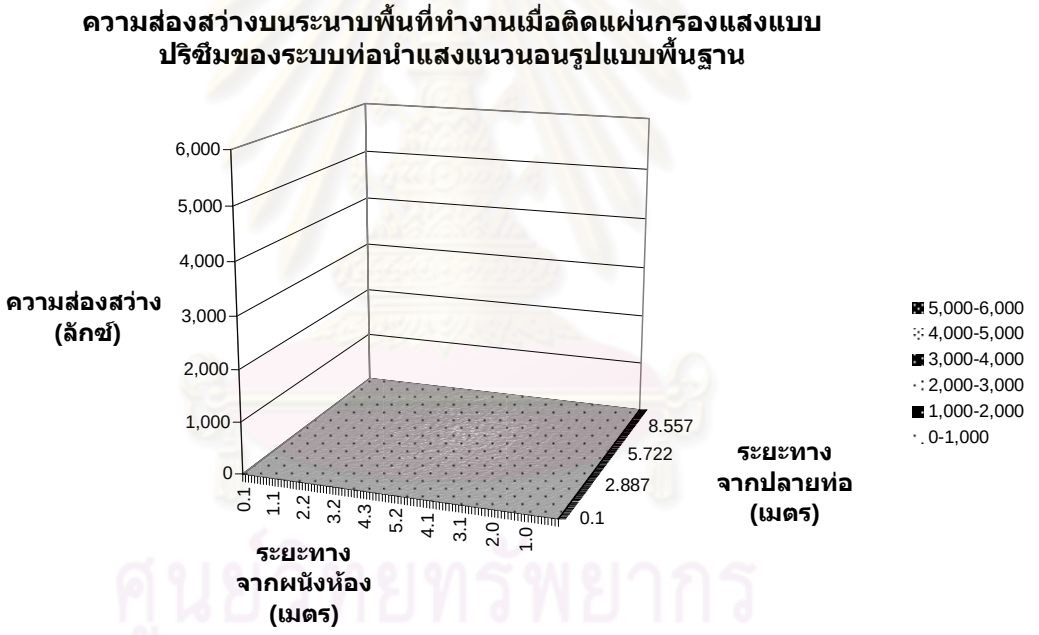
ลักษณะแสงสว่างจากส่วนกระจายแสง

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมโฟโตเปียสำหรับการศึกษาลักษณะแสงสว่างจากส่วนกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานจากระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบมีผลการศึกษาตามรูปแบบของส่วนกระจายแสงแต่ละชนิดดังนี้

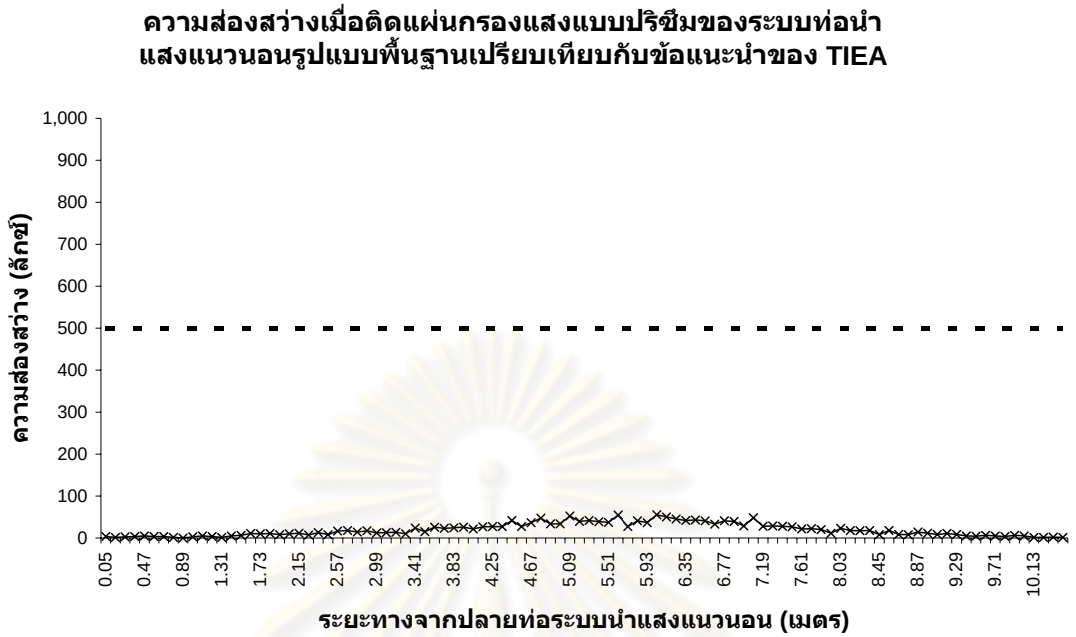
1. <u>ส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึม</u>

1.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานเมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม จะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 3,490.17 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 140 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 55.13 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 141



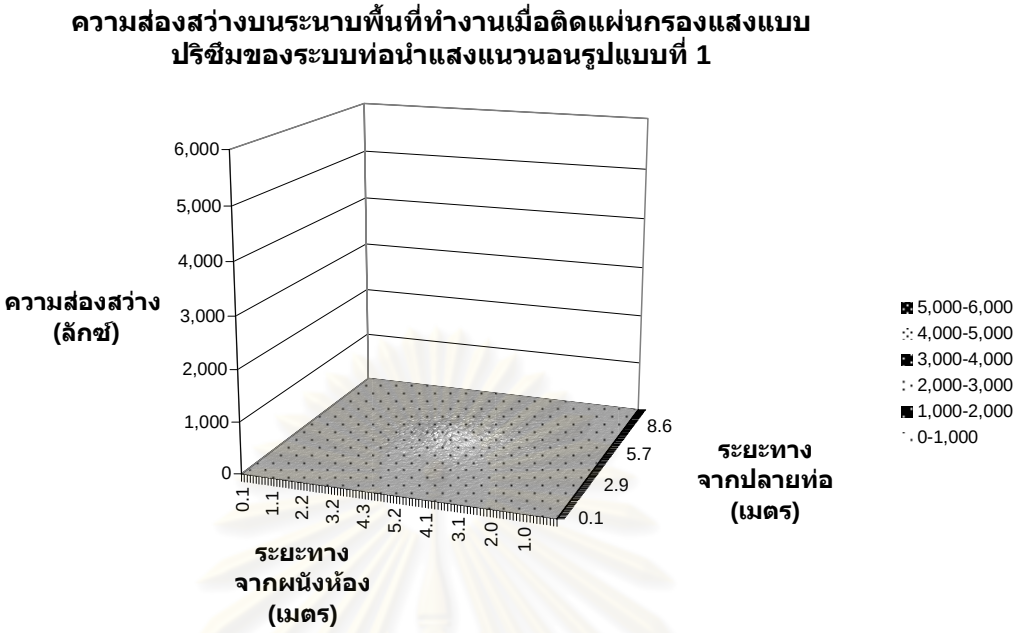
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม



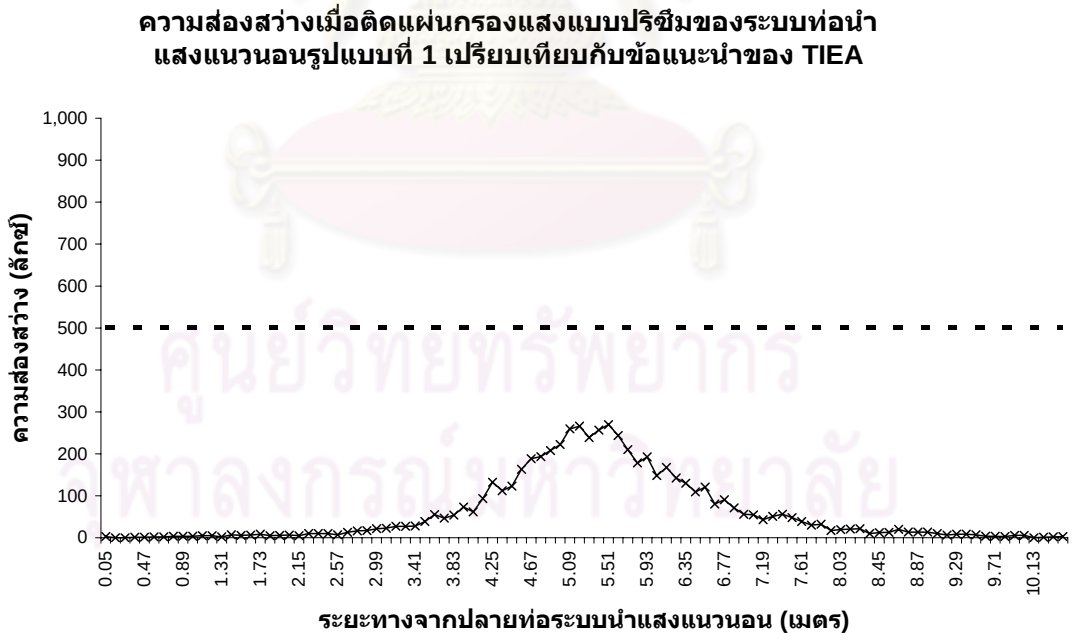
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 9,971.83 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 142 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 269.44 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 143



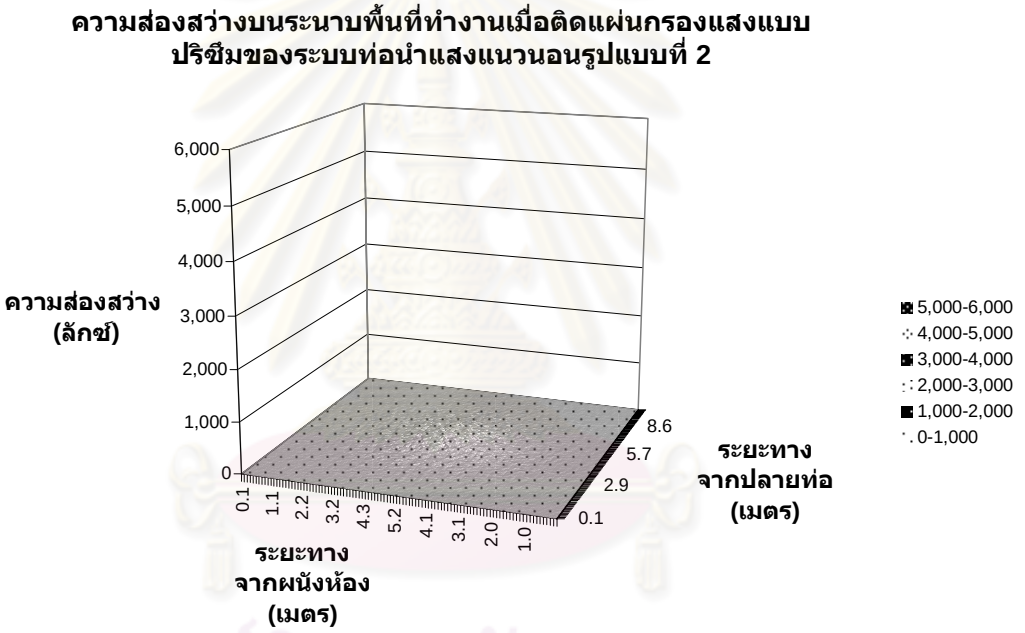
รูปภาพ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม



รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

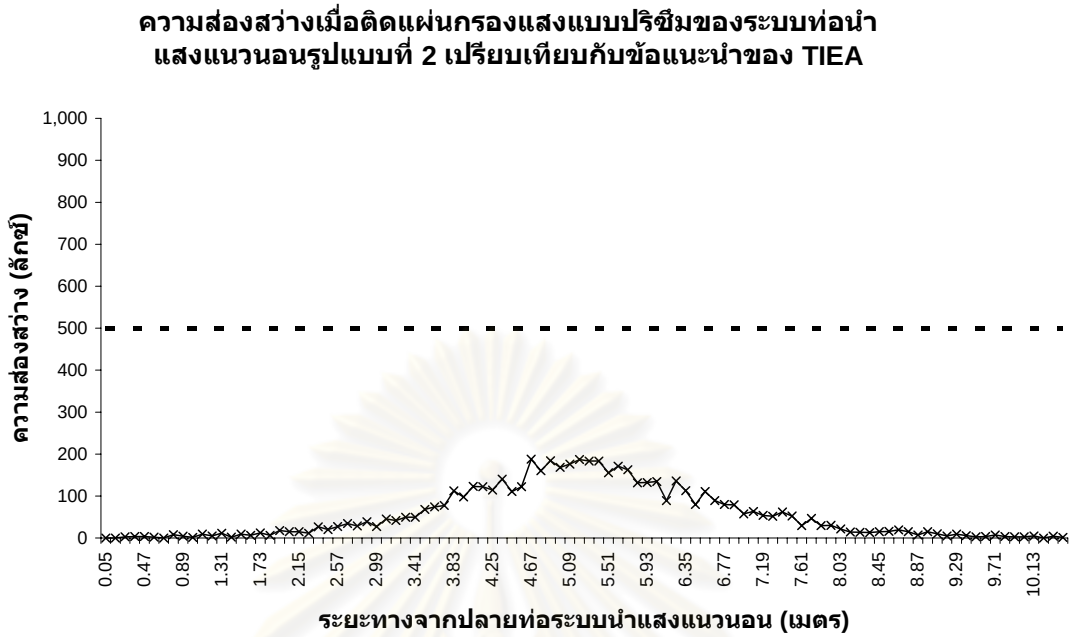
1.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 11,698.85 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 144 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 187.88 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 145



รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม

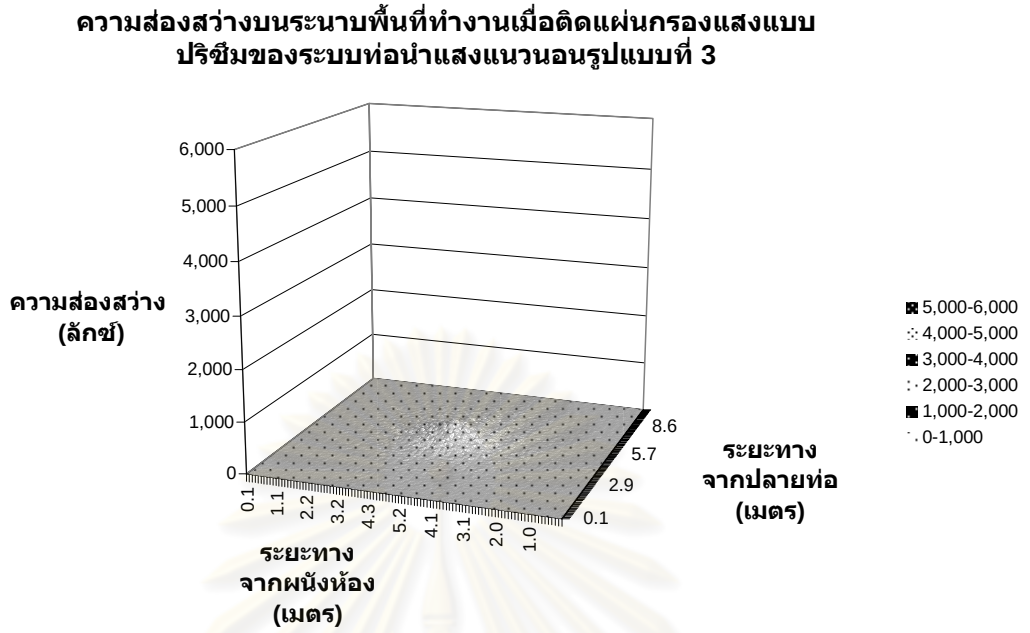
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



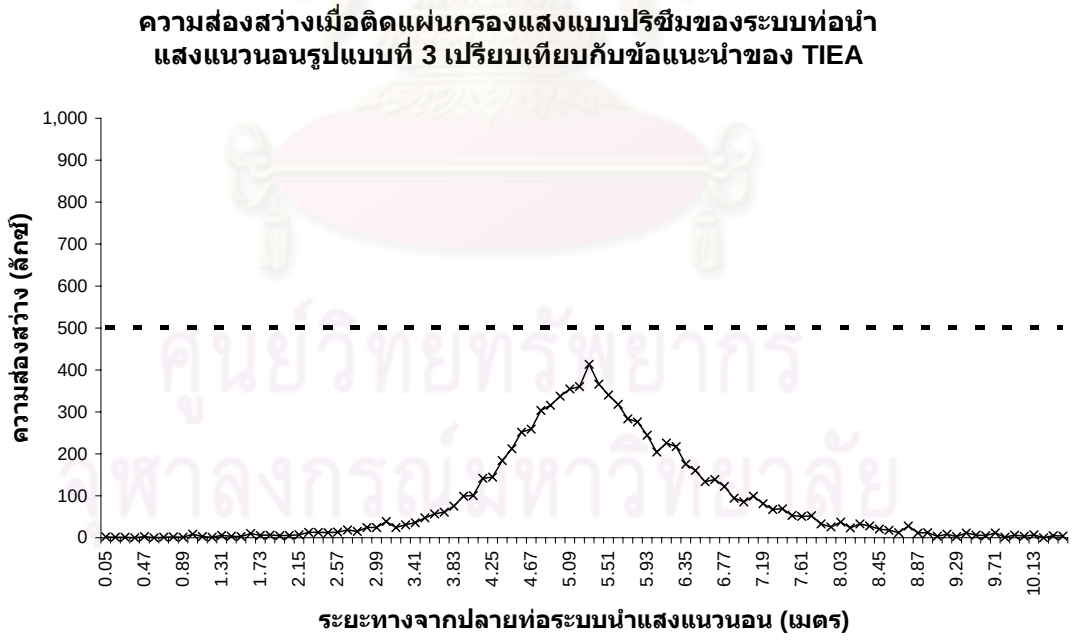
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 10,229.56 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 146 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 413.76 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 147



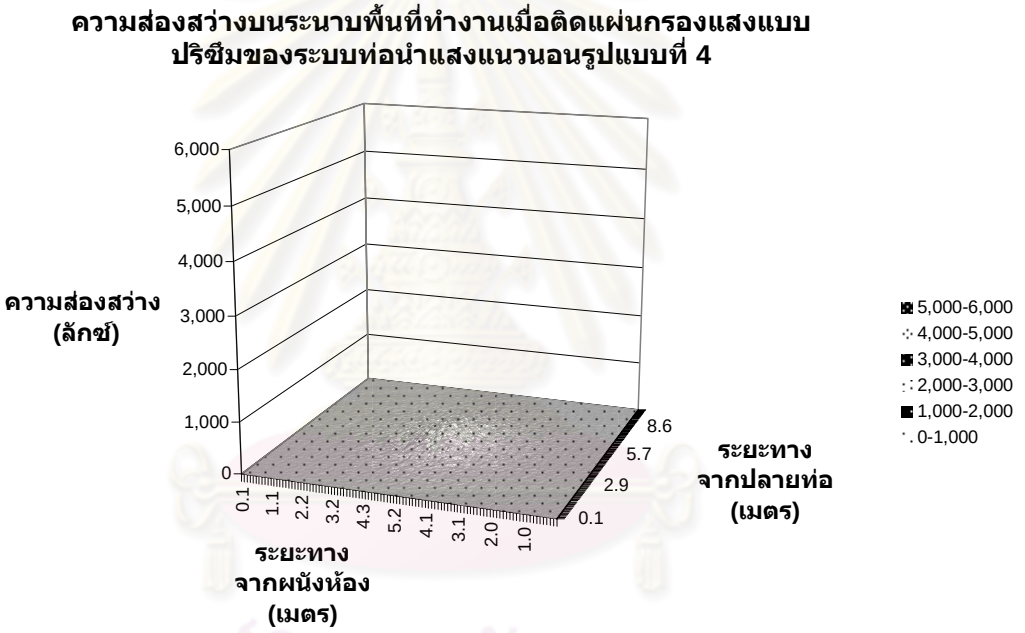
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม



รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

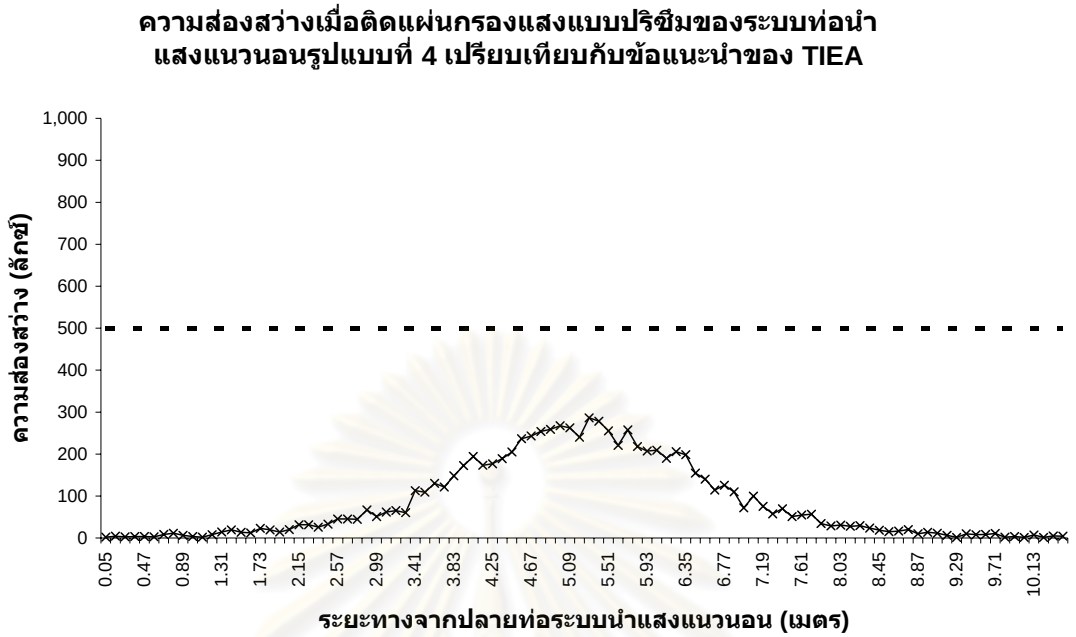
1.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 10,832.55 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 148 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 1.28 - 286.63 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 149



รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

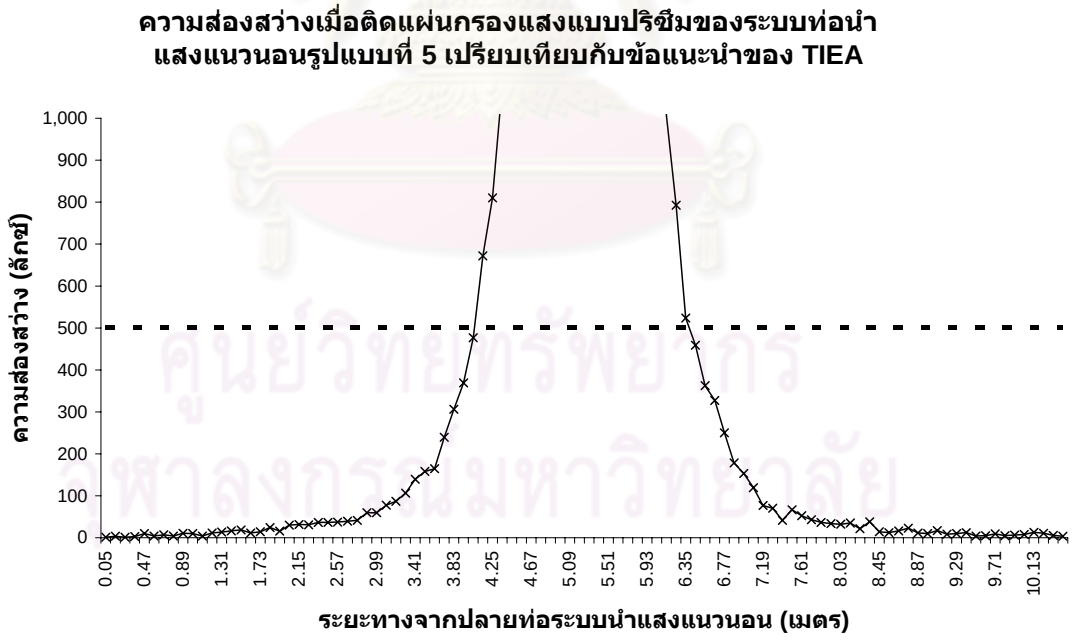


รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 57,428.38 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 150 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 1.54 - 4,083.62 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.1 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.3 เมตร ตามรูปที่ 151

รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม

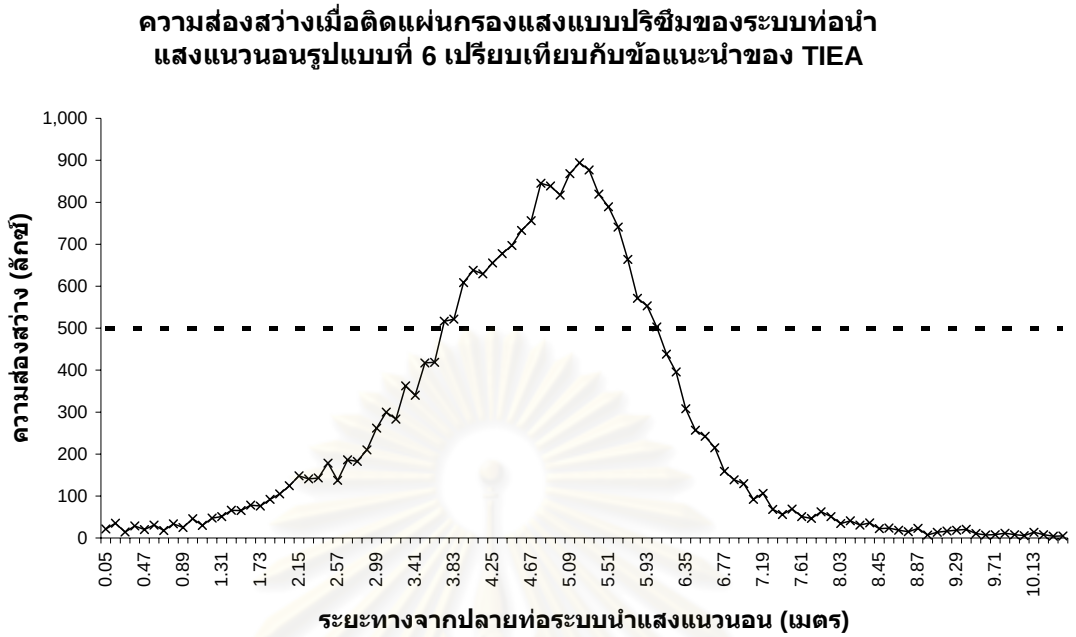


รูปที่ 7 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 50,730.33 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 152 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.01 - 894.01 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 3.8 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.3 เมตร ตามรูปที่ 153

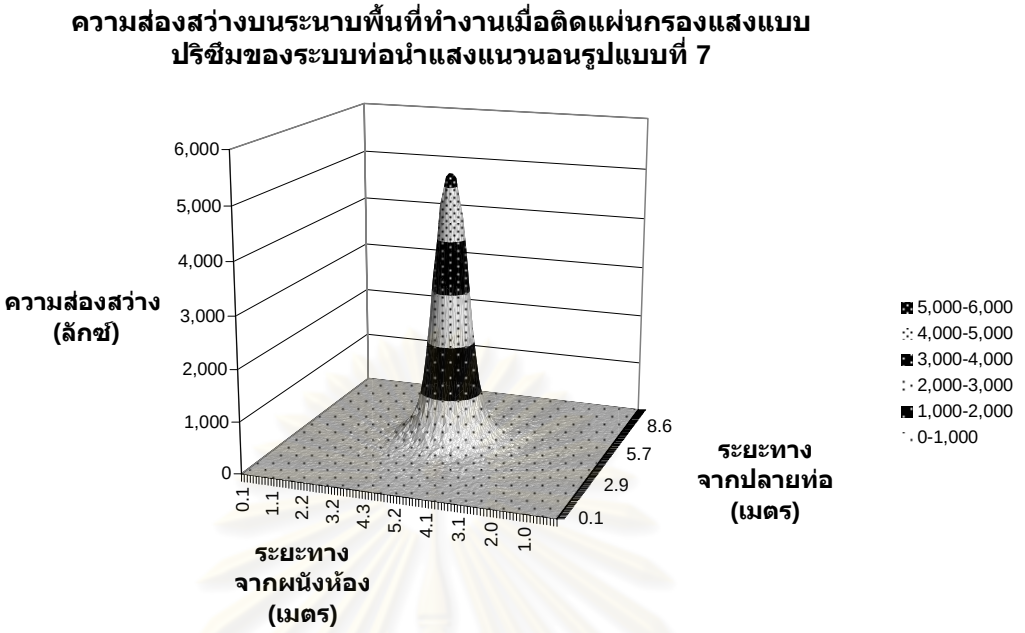
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม



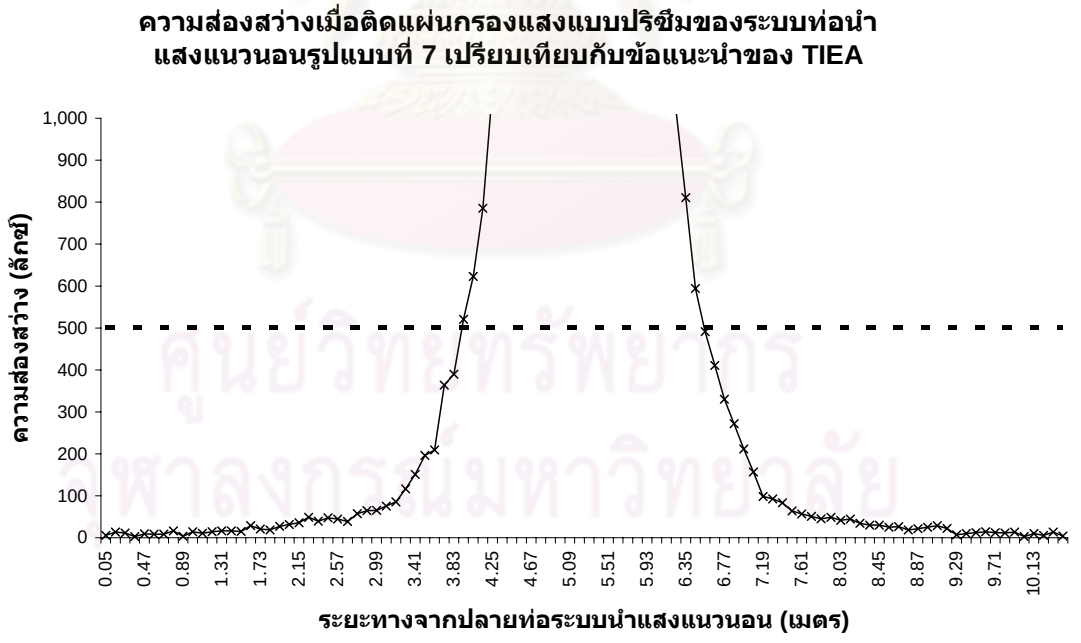
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 56,511.15 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 154 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 2.71 - 5,253.69 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 3.9 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.7 เมตร ตามรูปที่ 155



รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม



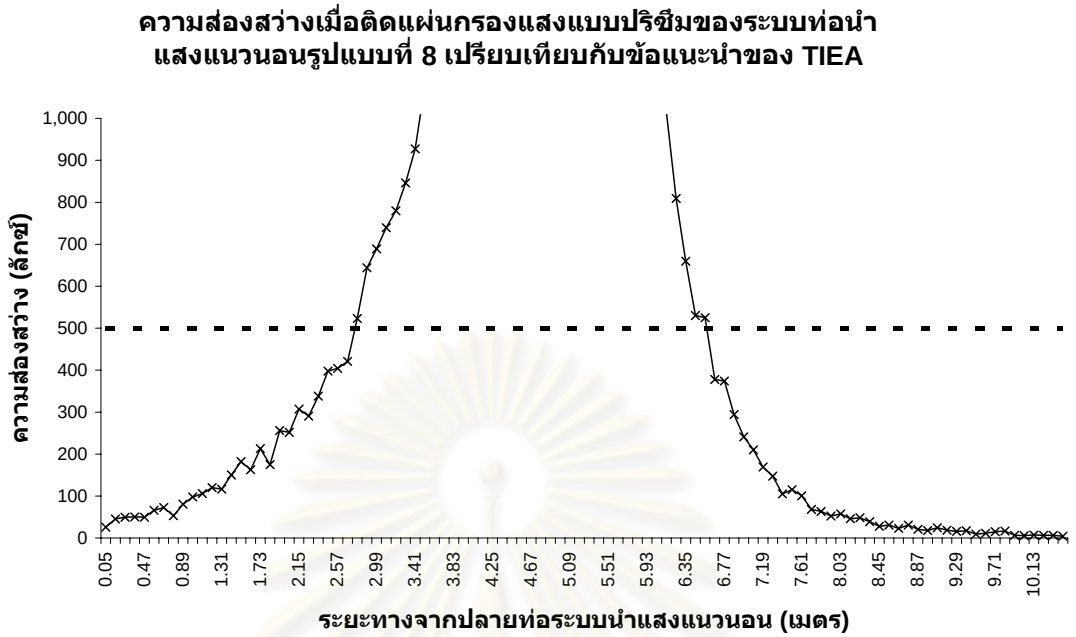
รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

1.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 51,365.77 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 156 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.41 - 2,116.96 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 2.7 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 3.9 เมตร ตามรูปที่ 157

รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

2. <u>การเปรียบเทียบลักษณะแสงสว่างเมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึม</u>

การเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานเมื่อพิจารณาจากค่าความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบที่ติดตั้งส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึม สามารถแยกประเภทของระบบท่อนำแสงแนวนอนตามลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานได้ดังนี้

2.1 กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างไม่ถึง 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 201.79%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 180.87%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 324.02%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 325.60%) เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบ

พื้นฐาน ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 มีค่าไม่ถึง 500 ลักซ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงาน

2.2กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

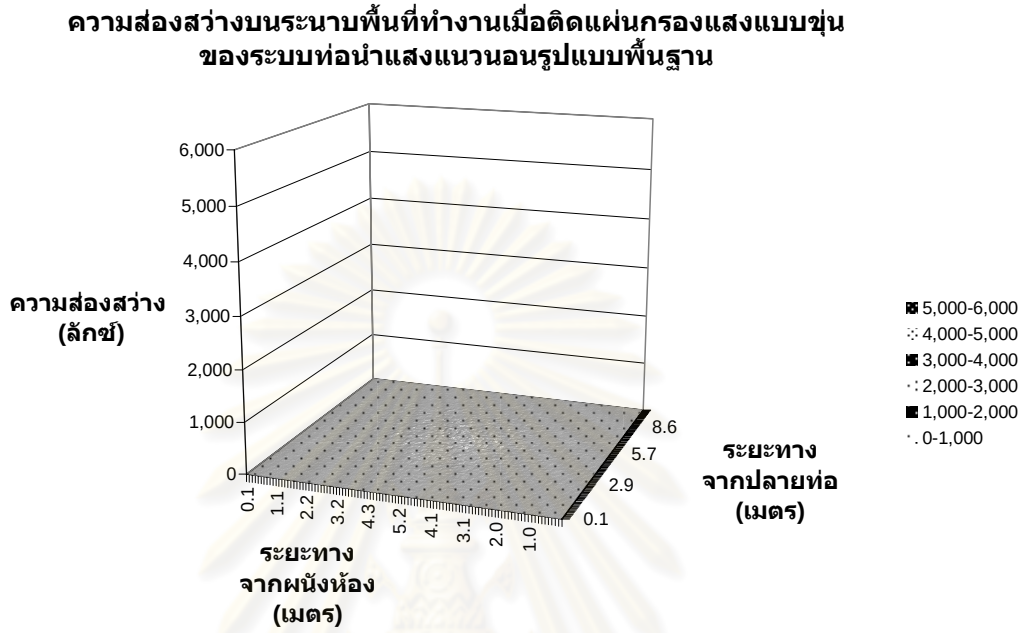
กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,936.56%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 1,139.82%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 3,774.27%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 2,804.69%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึม ช่วยทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีขอบเขตที่กว้างขึ้นและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 มีขอบเขตปริมาณความส่องสว่างที่กว้างเพียงพอสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงานได้อย่างเหมาะสม แต่ปริมาณความส่องสว่างยังมีค่าที่ค่อนข้างสูงมากดังนั้นจึงควรมีการลดความเข้มของแสงก่อนนำไปใช้งานจริง ส่วนระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 มีขอบเขตปริมาณความส่องสว่างและปริมาณความส่องสว่างที่เหมาะสมเพียงพอสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงานได้ทันที

3. <u>ส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวขุ่น</u>

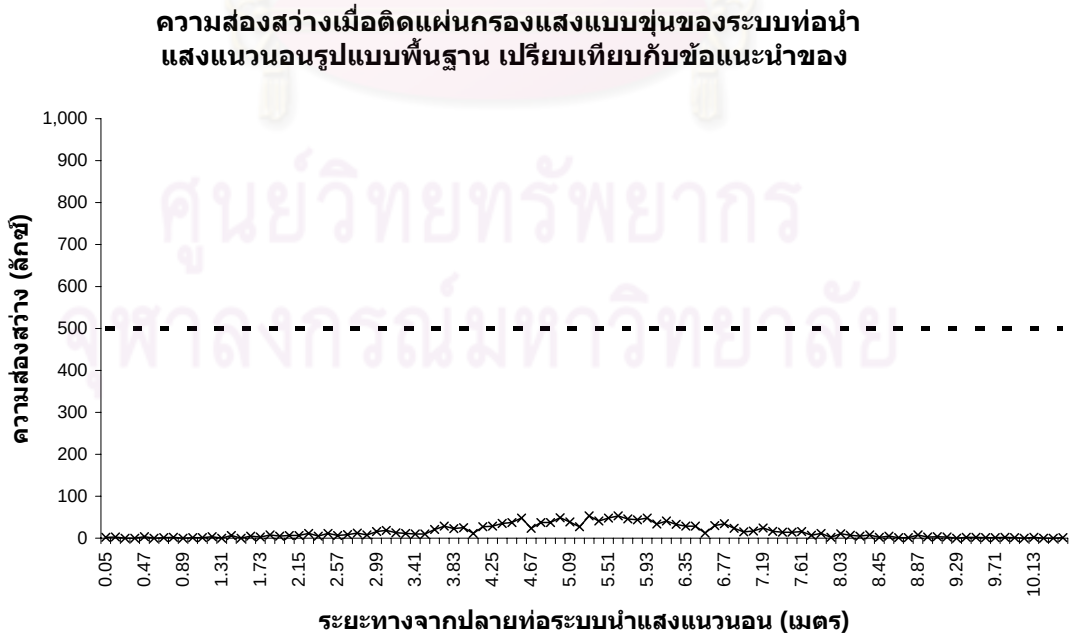
3.1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานเมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่นจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 2,828.62 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 158 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า

ปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 53.28 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 159



รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น

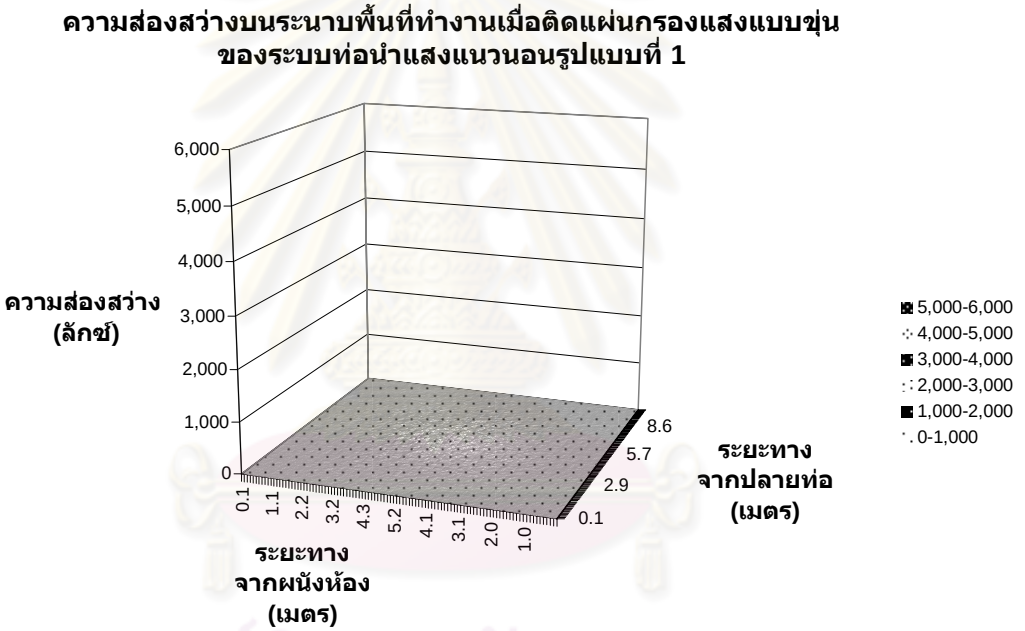


รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

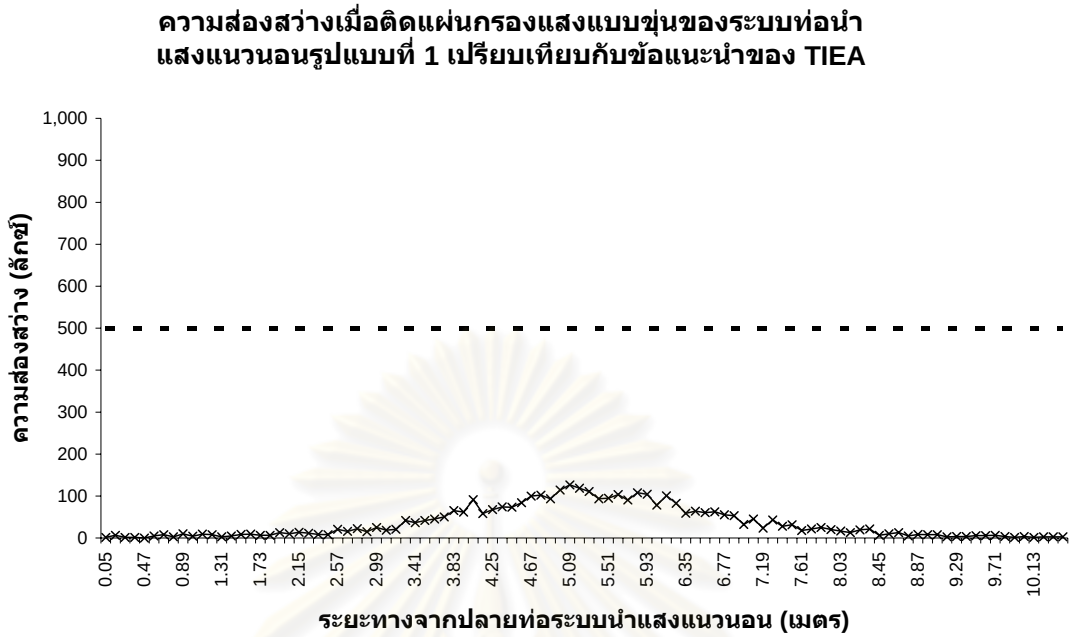
3.2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่นจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 8,100.16 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 160 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 126.81 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 161



รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น

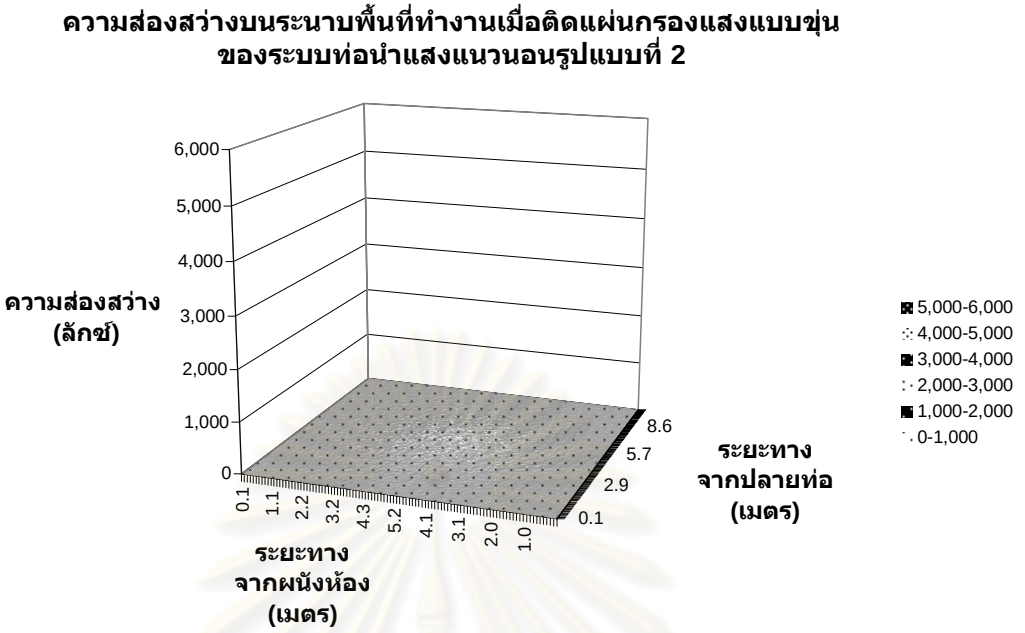
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



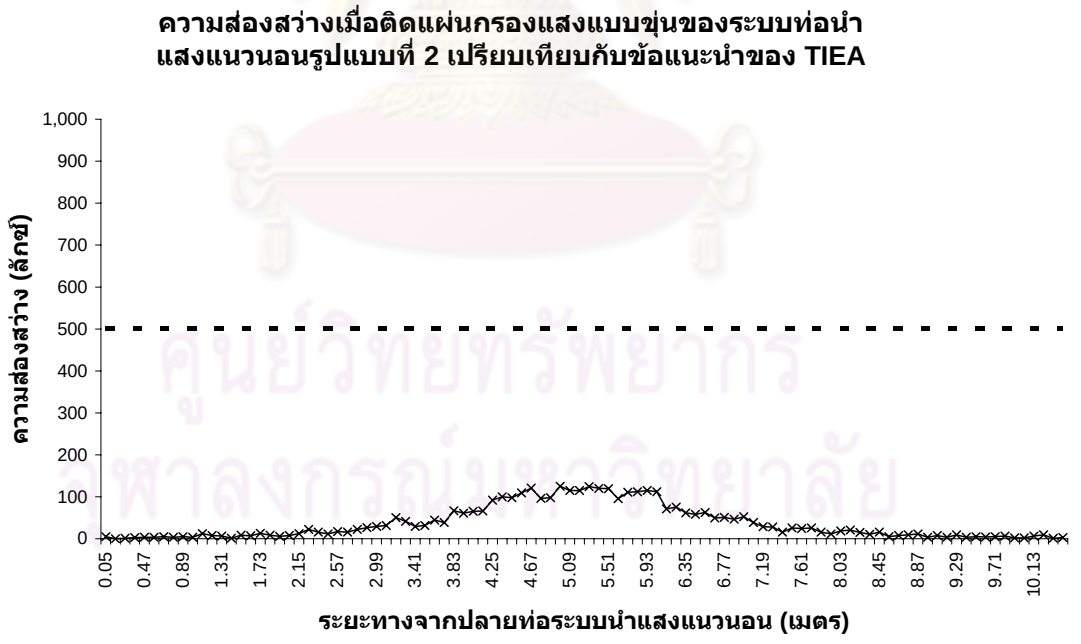
รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่นจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 9,165.21 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 162 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 124.95 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 163



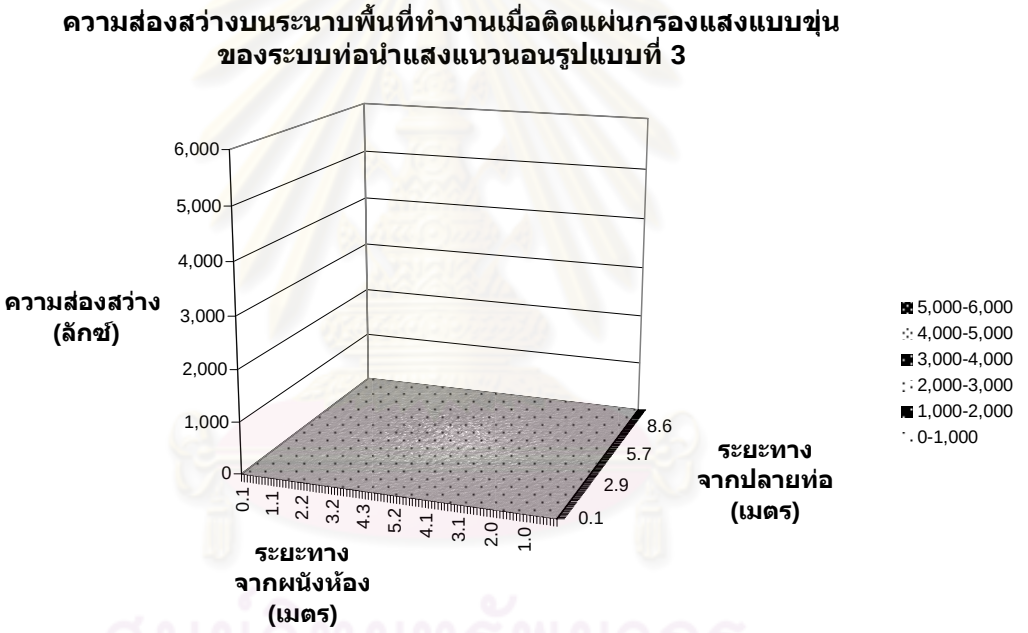
รูปที่ 6 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอน รูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น



รูปที่ 7 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอน รูปแบบที่ 2 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

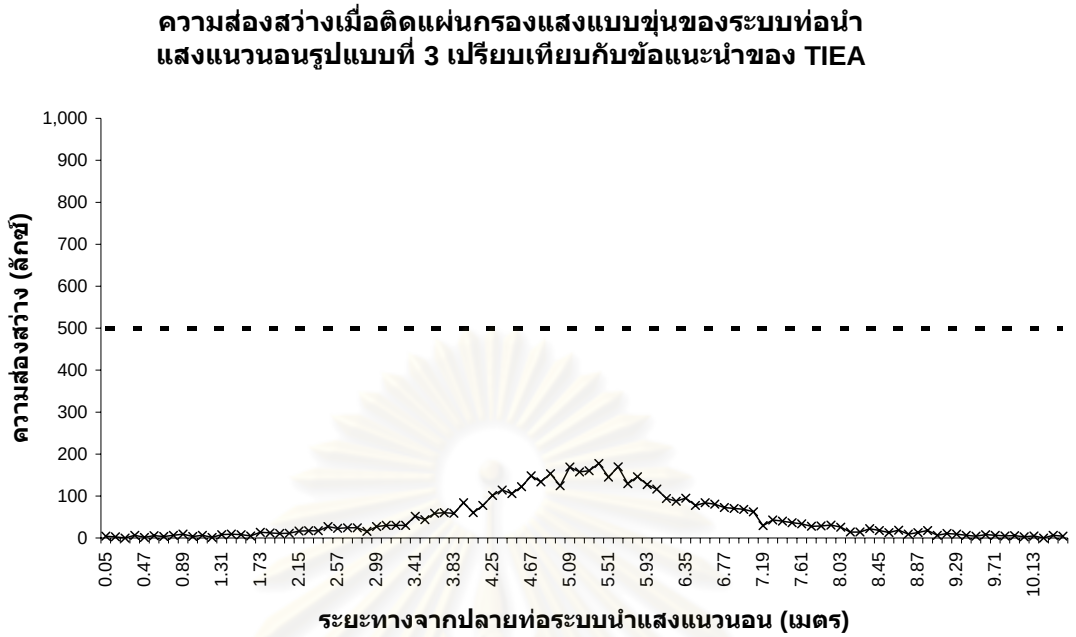
3.4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่นจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 8,277.28 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 164 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 177.39 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 165



รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น

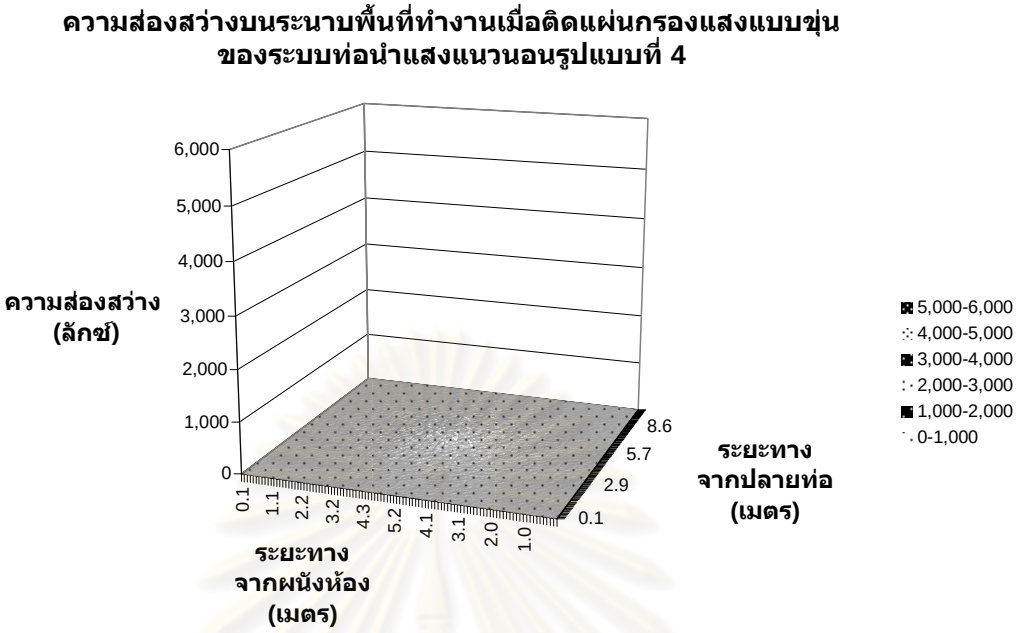
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



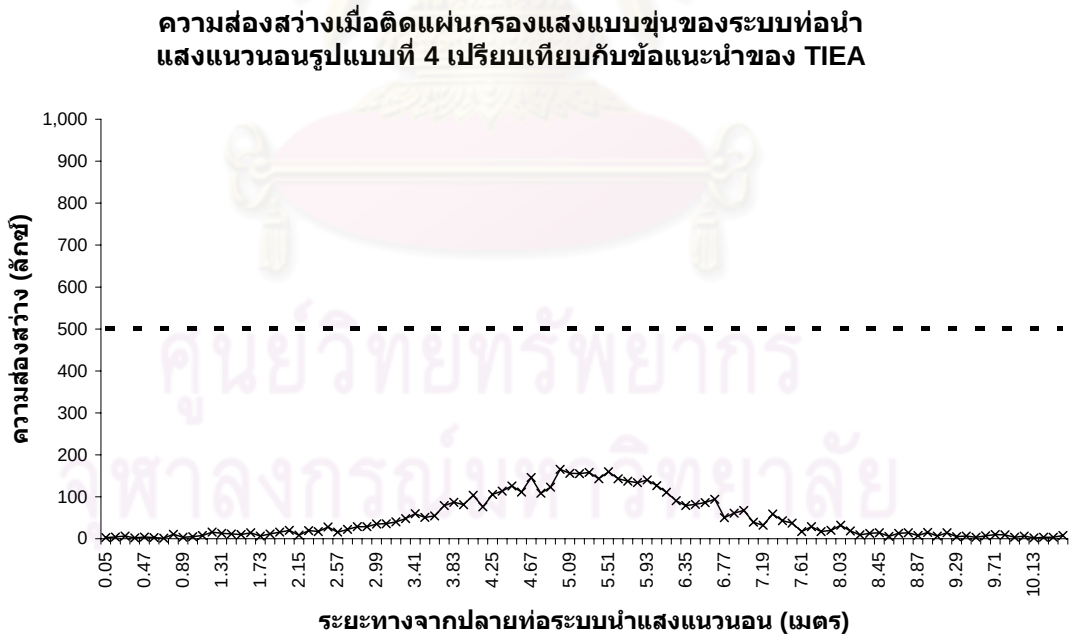
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่นจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 8,503.49 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 166 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 1.48 - 165.43 ลักซ์ ซึ่งไม่ถึง 500 ลักซ์ ตามระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 167



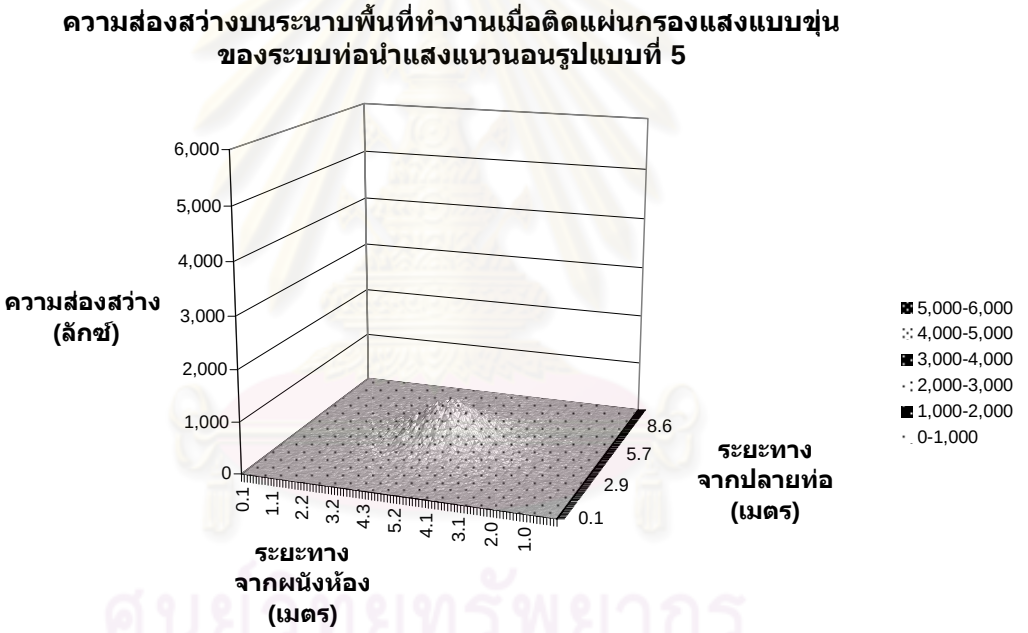
รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอน รูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น



รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอน รูปแบบที่ 4 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

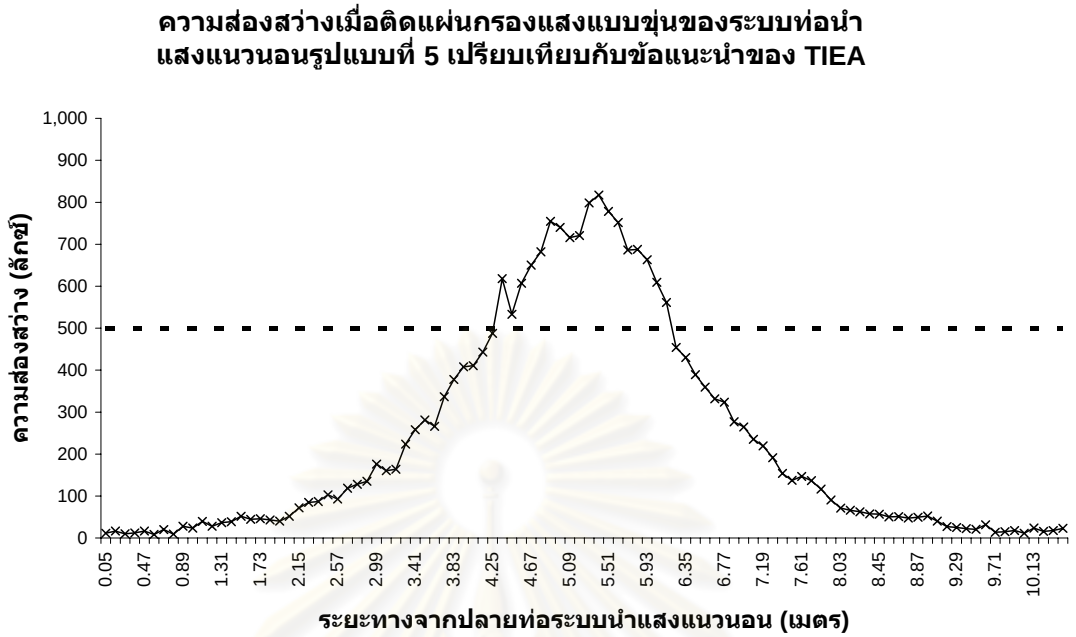
3.6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 48,372.91 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 168 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 8.86 - 817.25 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.3 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 1.9 เมตร ตามรูปที่ 169



รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น

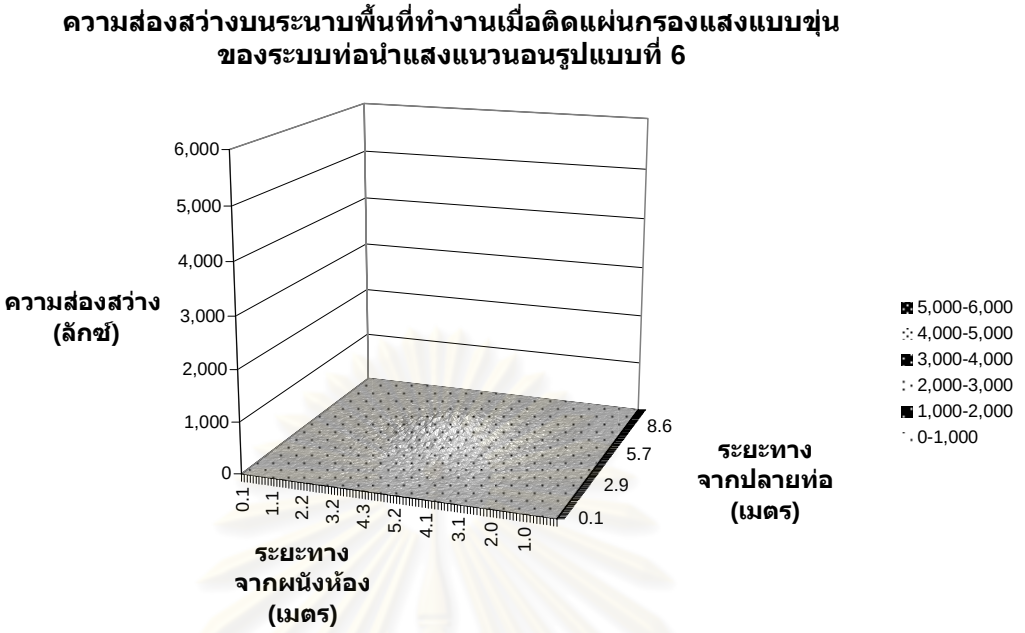
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



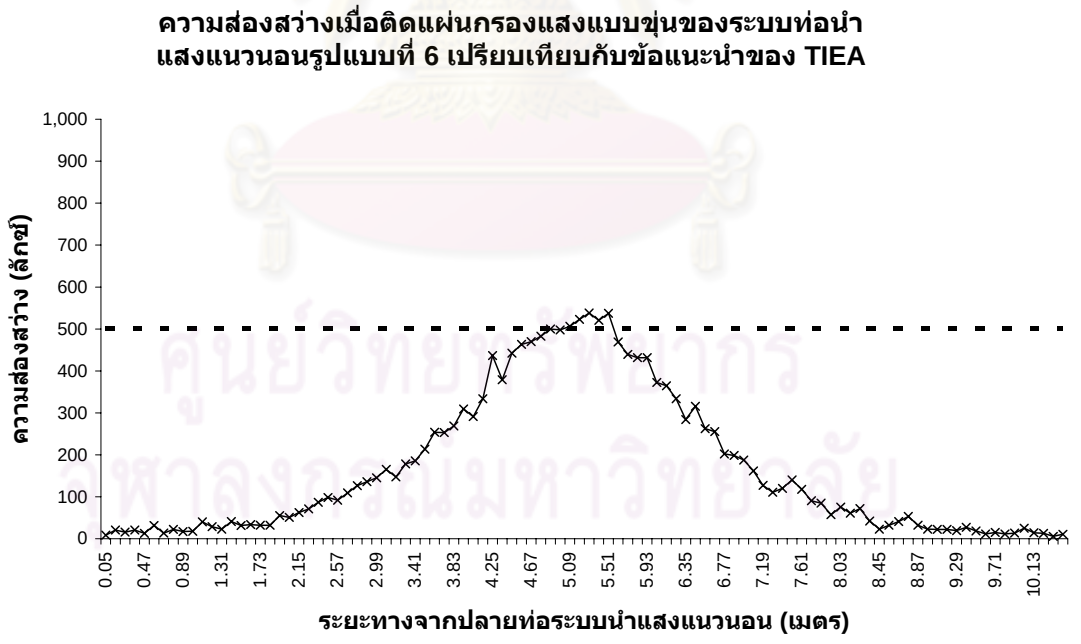
รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.7 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 40,527.87 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 170 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 5.79 - 538.24 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.9 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 0.6 เมตร ตามรูปที่ 171



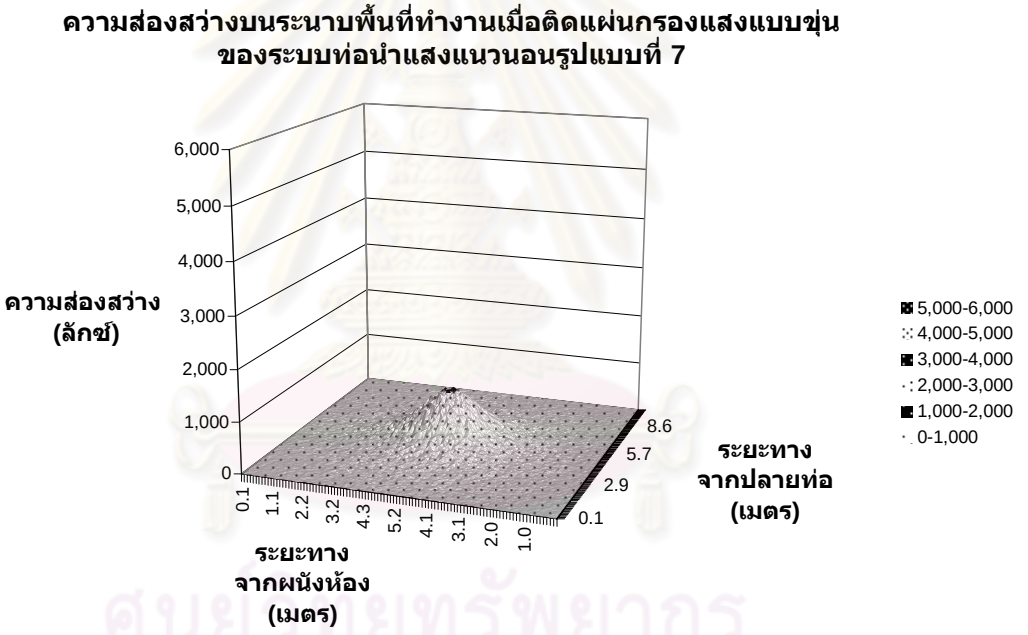
รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอน รูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น



รูปที่ 3 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอน รูปแบบที่ 6 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

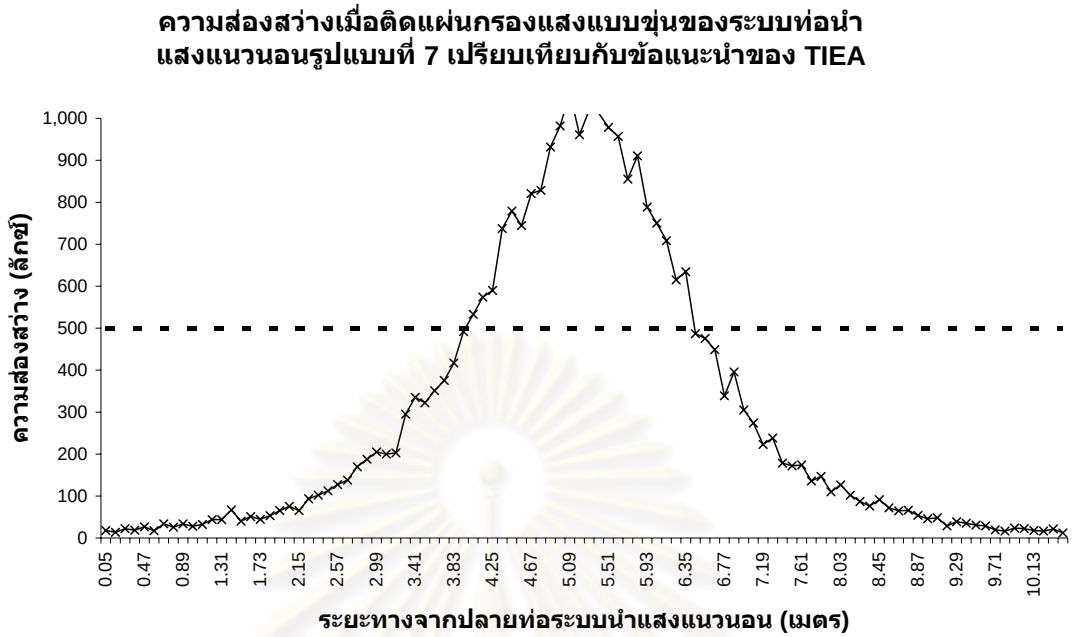
3.8 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 47,443.15 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 172 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 12.16 - 1,060.23 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.0 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.5 เมตร ตามรูปที่ 173



รูปที่ 4 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น

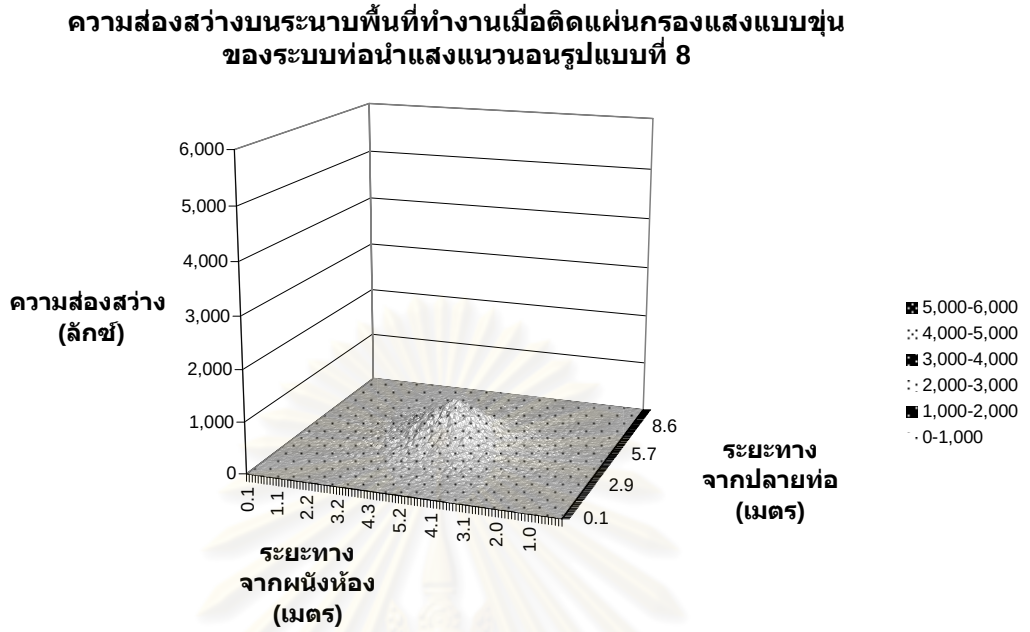
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



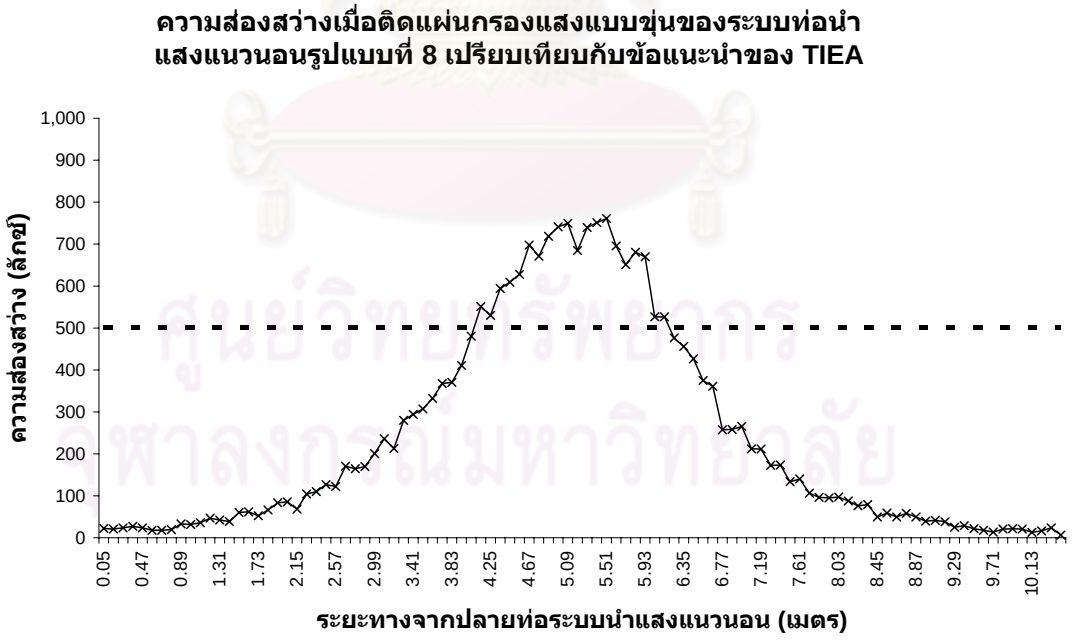
รูปที่ 5 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

3.9 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบปริซึมจะมีค่าความส่องสว่างจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉลี่ยเท่ากับ 41,166.72 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ตามรูปที่ 174 ปริมาณและการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าปริมาณความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.15 - 761.33 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ มีลักษณะการกระจายแสงอยู่กึ่งกลางห้อง มีระยะห่างจากช่องรับแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนประมาณ 4.1 เมตร ขอบเขตความกว้างประมาณ 2.1 เมตร ตามรูปที่ 175



รูปที่ 1 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น



รูปที่ 2 ปริมาณและลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ที่ติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อแนะนำของ TIEA

4. <u>การเปรียบเทียบลักษณะแสงสว่างเมื่อติดแผ่นกรองแสงแบบขุ่น</u>

การเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานเมื่อพิจารณาจากค่าความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบที่ติดตั้งส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวขุ่น สามารถแยกประเภทของระบบท่อนำแสงแนวนอนตามลักษณะการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานได้ดังนี้

4.1 กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างไม่ถึง 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 132.99%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 146.02%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 211.84%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 216.81%) เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 มีค่าไม่ถึง 500 ลักซ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงาน

4.2กลุ่มที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้อง ณ ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

กลุ่มนี้ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 1,411.14%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 997.34%) ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 1,812.03%) และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 (มีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบพื้นฐาน 1,463.56%) สามารถประเมินได้ว่าส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวขุ่น ช่วยทำให้ปริมาณความส่องสว่างมีขอบเขตที่กว้างขึ้นและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ ของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 และระบบท่อนำแสง

แนวนอนรูปแบบที่ 8 มีขอบเขตปริมาณความส่องสว่างที่กว้างกว่าการไม่ติดตั้งส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวขุ่น แต่ขอบเขตยังแคบกว่าการไม่ติดตั้งส่วนกระจายแสงแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึม สำหรับปริมาณความส่องสว่างยังมีค่าที่ค่อนข้างเหมาะสมจึงสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เป็นส่วนทำงานของอาคารสำนักงานได้ ส่วนระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 มีขอบเขตปริมาณความส่องสว่างที่แคบมากจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัยระบบท่อนำแสงแนวนอน

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์ (Simulation Research) เพื่อศึกษาเทคนิคในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร โดยออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน ผลการศึกษาและวิเคราะห์ระบบท่อนำแสงแนวนอนตามที่ออกแบบ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. <u>ประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร</u>

ปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ระบบท่อนำแสงแนวนอนนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารสำนักงานจากทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก สามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพของรูปแบบของระบบท่อนำแสงจากมากไปน้อยได้ ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 1 ปริมาณความส่องสว่าง (ลักซ์) จากระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละแบบในแต่ละทิศ

ลำดับ	รูปแบบของระบบ	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก
1	รูปแบบที่ 6	77,250.97	76,708.90	79,525.00
2	รูปแบบที่ 8	76,769.25	75,937.61	77,528.85
3	รูปแบบที่ 5	76,518.50	75,487.56	77,034.78
4	รูปแบบที่ 7	76,479.35	75,297.21	76,358.46
5	รูปแบบที่ 2	13,124.75	17,195.87	22,499.46
6	รูปแบบที่ 4	11,974.44	15,671.74	20,278.65
7	รูปแบบที่ 1	10,990.64	13,768.25	18,028.95
8	รูปแบบที่ 3	10,453.06	13,288.60	16,897.23
9	รูปแบบพื้นฐาน	2,142.79	5,468.08	9,921.21

จากตารางที่ 8 สามารถสรุปได้ว่าระบบท่อนำแสงแนวนอนทุกรูปแบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน โดยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 มีประสิทธิภาพมากที่สุดและ

ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด ซึ่งระบบท่อนำแสงแนวนอนที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือให้ปริมาณความส่องสว่างอยู่ในช่วง 10,453.06 - 77,250.97 ลักซ์ ส่วนระบบท่อนำแสงแนวนอนที่รับแสงธรรมชาติจากทิศใต้ให้ปริมาณความส่องสว่างอยู่ในช่วง 13,288.60 - 76,708.90 ลักซ์ และระบบท่อนำแสงแนวนอนที่รับแสงธรรมชาติจากทิศตะวันออกให้ปริมาณความส่องสว่างอยู่ในช่วง 16,897.23 - 79,525.00 ลักซ์ เมื่อพิจารณาทิศทางการรับแสงธรรมชาติในช่วงขอบเขตที่ศึกษาตามรูปที่ 49, 50 และ 51 ในหน้า 46, 46 และ 47 ตามลำดับ ซึ่งทิศตะวันออกจะเป็นทิศทางที่เหมาะสมในการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนมากที่สุด แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบระยะเวลาในการรับแสงธรรมชาติในช่วงขอบเขตที่ศึกษา คือ ช่วงเวลาประมาณ 8:00 - 16:00 น. ทิศใต้จะเป็นทิศทางที่เหมาะสมในการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนมากที่สุด เนื่องจากมีเวลาในการรับแสงธรรมชาติตลอดวันมากกว่าที่สุด โดยจะมีประสิทธิภาพมากกว่าทิศเหนือ 22.82% และมีประสิทธิภาพมากกว่าทิศตะวันออก 64.67%.

2. <u>ลักษณะแสงธรรมชาติบนระนาบพื้นที่ทำงานภายในอาคาร</u>

ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่รับแสงธรรมชาติจากทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก สามารถเรียงลำดับช่วงค่าความส่องสว่างและค่า Daylight Factor สูงสุดบนระนาบพื้นที่ทำงานจากมากไปน้อยได้ ตามตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ปริมาณความส่องสว่าง (ลักซ์) บนระนาบพื้นที่ทำงานในแต่ละทิศ

ลำดับ	รูปแบบของระบบ	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก
1	รูปแบบที่ 7	0.32 - 60,600.05	0.39 - 56,403.31	0.63 - 55,067.24
2	รูปแบบที่ 5	1.02 - 60,223.07	1.06 - 56,001.98	1.35 - 54,567.30
3	รูปแบบที่ 8	6.02 - 32,771.01	7.00 - 30,565.05	13.54 - 29,729.62
4	รูปแบบที่ 6	4.10 - 7,033.72	4.66 - 6,579.18	7.63 - 6,453.38
5	รูปแบบที่ 3	0.09 - 921.91	0.14 - 1,264.16	0.21 - 1,655.51
6	รูปแบบที่ 1	0.26 - 781.16	0.44 - 973.09	0.73 - 1,309.81
7	รูปแบบที่ 4	9.56 - 591.28	10.88 - 603.76	16.38 - 870.65
8	รูปแบบที่ 2	4.31 - 210.24	4.92 - 232.49	12.63 - 333.28
9	รูปแบบพื้นฐาน	2.56 - 36.81	4.58 - 221.14	6.80 - 303.92

ตารางที่ 3 ค่า Daylight Factor สูงสุด (%) บนระนาบพื้นที่ทำงานในแต่ละทิศ

ลำดับ	รูปแบบของระบบ	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก
1	รูปแบบที่ 7	75.31	70.10	68.43
2	รูปแบบที่ 5	74.84	69.59	67.81
3	รูปแบบที่ 8	40.73	37.98	36.95
4	รูปแบบที่ 6	8.74	8.18	8.02
5	รูปแบบที่ 3	1.15	1.57	2.06
6	รูปแบบที่ 1	0.97	1.21	1.63
7	รูปแบบที่ 4	0.73	0.75	1.08
8	รูปแบบที่ 2	0.26	0.29	0.41
9	รูปแบบพื้นฐาน	0.05	0.27	0.38

จากตารางที่ 9 และ 10 สามารถสรุปได้ว่าระบบท่อนำแสงแนวนอนทุกรูปแบบช่วยเพิ่มปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานภายในอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐาน โดยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 มีช่วงปริมาณความส่องสว่างมากที่สุดและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีช่วงปริมาณความส่องสว่างน้อยที่สุด และสามารถแบ่งได้เป็นสองกลุ่มตามลักษณะของส่วนรวมแสง เมื่อพิจารณาทิศทางการรับแสงธรรมชาติในช่วงขอบเขตที่ศึกษา ทิศเหนือจะเป็นทิศทางที่ให้ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมากที่สุดในกลุ่มที่มีส่วนรวมแสงเป็นรูปแบบแผ่นเรียบแบนสามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ได้แก่ ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 ส่วนกลุ่มที่มีส่วนรวมแสงเป็นรูปแบบแผ่นเรียบโค้งไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้จะได้รับปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมากที่สุดจากทิศตะวันออก ได้แก่ ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 แต่เมื่อพิจารณาการใช้งานที่ค่า Daylight Factor ประมาณ 2% ของอาคารสำนักงานทั่วไป ระบบท่อนำแสงกลุ่มที่มีส่วนรวมแสงเป็นรูปแบบแผ่นเรียบโค้งไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ยกเว้น เพียง ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 เพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น

ลักษณะของแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานในทิศที่ศึกษา คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก มีลักษณะการกระจายแสงที่ใกล้เคียงกันมากแทบไม่มีความแตกต่างกัน สามารถแยกประเภทของรูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอนตามลักษณะการกระจายแสงบนระนาบ

พื้นที่ทำงานโดยอ้างอิงตามค่าความส่องสว่างขั้นต่ำของพื้นที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานของข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้ดังนี้

1) กลุ่มที่หนึ่งมีค่าความส่องสว่างไม่ถึง 500 ลักซ์ ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบพื้นฐานและระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2

2) กลุ่มที่สองมีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงกระจุกรวมกันอยู่กึ่งกลางของห้องที่ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

3) กลุ่มที่สามมีค่าความส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และมีลักษณะการกระจายแสงไม่มีความสม่ำเสมอที่ค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ ประกอบด้วยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8

การพิจารณาค่าความส่องสว่างเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถนำผลไปใช้จริงได้ ดังนั้น จึงต้องพิจารณาควบคู่ไปกับลักษณะการกระจายแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบด้วย ซึ่งกลุ่มรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีคือกลุ่มที่สองที่มีค่าความส่องสว่างผ่านตามข้อกำหนดและแสงกระจายตัวอยู่ในบริเวณเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ แต่ต้องเป็นการใช้งานเฉพาะทางซึ่งยังไม่เหมาะสมกับสภาพภายในอาคารสำนักงาน เนื่องจากแสงมีความเข้มสูงมาก ในขณะที่รูปแบบอื่นมีการกระจายแสงที่ไม่สม่ำเสมอการนำไปใช้งานทันทีจึงอาจไม่มีความเหมาะสม แต่หากปรับปรุงคุณภาพแสงก่อน เช่น การเสริมแผ่นกรองแสง เพื่อทำให้การกระจายแสงสม่ำเสมอมากขึ้น รูปแบบไม่มีความสม่ำเสมอในการกระจายแสงมากที่สุดอาจเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดได้

3. <u>การนำระบบท่อนำแสงแนวนอนไปประยุกต์ใช้งานจริง</u>

3.1 การพิจารณาตามทิศทางการรับแสงธรรมชาติ

งานวิจัยนี้ศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากสามทิศทาง คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก ผลการศึกษาลักษณะแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน พบว่า การ

รับแสงธรรมชาติทางทิศเหนือจะให้ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมากที่สุด ทิศใต้ให้ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานรองลงมา และทิศตะวันออกให้ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานน้อยที่สุด สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้การเลือกทิศทางที่ให้ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานมากจะได้เปรียบกว่า เนื่องจากสามารถปรับแต่งคุณภาพของแสงได้โดยค่าความส่องสว่างไม่ลดลงจนต่ำกว่าระดับที่ต้องการได้ง่ายกว่าทิศทางที่ให้ปริมาณความส่องสว่างต่ำกว่า

3.2 การพิจารณาตามส่วนประกอบระบบท่อนำแสงแนวนอน

3.2.1 ส่วนรวมแสง

งานวิจัยนี้ศึกษาส่วนรวมแสงรูปแบบแผ่นสะท้อนแสงโค้งและรูปแบบแผ่นสะท้อนแสงแบบที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร พบว่า ส่วนรวมแสงรูปแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่าการไม่มีส่วนรวมแสงเลย 184.55% ส่วนรวมแสงรูปแบบแผ่นเรียบโค้งที่ไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่าการไม่มีส่วนรวมแสงเลย 105.38% ส่วนรวมแสงรูปแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้จึงได้เปรียบกว่าในการนำไปประยุกต์ใช้ แต่การใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์มีต้นทุนที่สูง ดังนั้น การพิจารณาเลือกใช้จึงควรพิจารณาถึงเรื่องงบประมาณในการลงทุนรวมถึงค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาระบบ

3.2.2 ส่วนนำพาแสงส่วนท่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาส่วนนำพาแสงส่วนท่อรูปแบบท่อหน้าตัดวงกลมและรูปแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร พบว่า ส่วนนำพาแสงส่วนท่อรูปแบบท่อหน้าตัดวงกลมมีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่าส่วนนำพาแสงส่วนท่อรูปแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2.00% ซึ่งค่าความแตกต่างค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การนำไปประยุกต์ใช้ควรเน้นการเลือกขนาดความกว้างของท่อและพื้นที่ที่ใช้สำหรับติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนให้เหมาะสมจะเป็นทางเลือกที่ช่วยประหยัดการลงทุนมากกว่า

3.2.3 ส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อรูปแบบข้อต่อเอียง 45 องศา และรูปแบบข้อต่อโค้ง ผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร พบว่า ส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อรูปแบบข้อต่อโค้งมีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่าส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อรูปแบบเอียง 45 องศา 12.60% ดังนั้น การนำไปประยุกต์ใช้ส่วนนำพาแสงส่วนข้อต่อรูปแบบข้อต่อโค้งจึงมีความเหมาะสมกว่ารูปแบบข้อต่อเอียง 45 องศา

3.2.4 ส่วนกระจายแสง

งานวิจัยนี้ศึกษาส่วนกระจายแสงรูปแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึม และรูปแบบแผ่นกรองแสงผิวขุ่น ผลการศึกษาลักษณะแสงสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน พบว่า ส่วนกระจายแสงรูปแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึมมีประสิทธิภาพในการพัฒนาและปรับแต่งคุณภาพของแสงมากกว่ารูปแบบแผ่นกรองแสงผิวขุ่น ทั้งในส่วนของขอบเขตปริมาณความส่องสว่างและค่าปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงาน ซึ่งรูปแบบที่พัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือรูปแบบที่ 8 เนื่องจากรูปแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึมที่ติดตั้งเสริมเข้าไปในระบบท่อนำแสงแนวนอนช่วยเพิ่มขอบเขตของปริมาณความส่องสว่างตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยที่กำหนดความส่องสว่างขั้นต่ำของอาคารสำนักงานไว้ที่ 500 ลักซ์ เป็น 4 เมตร ในแนวขนานแนวท่อของระบบท่อนำแสงแนวนอน เมื่อเทียบกับขนาดช่องแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนแล้วถือว่าขยายขอบเขตได้มากที่สุด ในขณะที่ขอบเขตของปริมาณความส่องสว่างในแนวขวางแนวท่อของระบบท่อนำแสงแนวนอนขยายเพิ่มเป็นประมาณ 2.50 เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับขอบเขตของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7

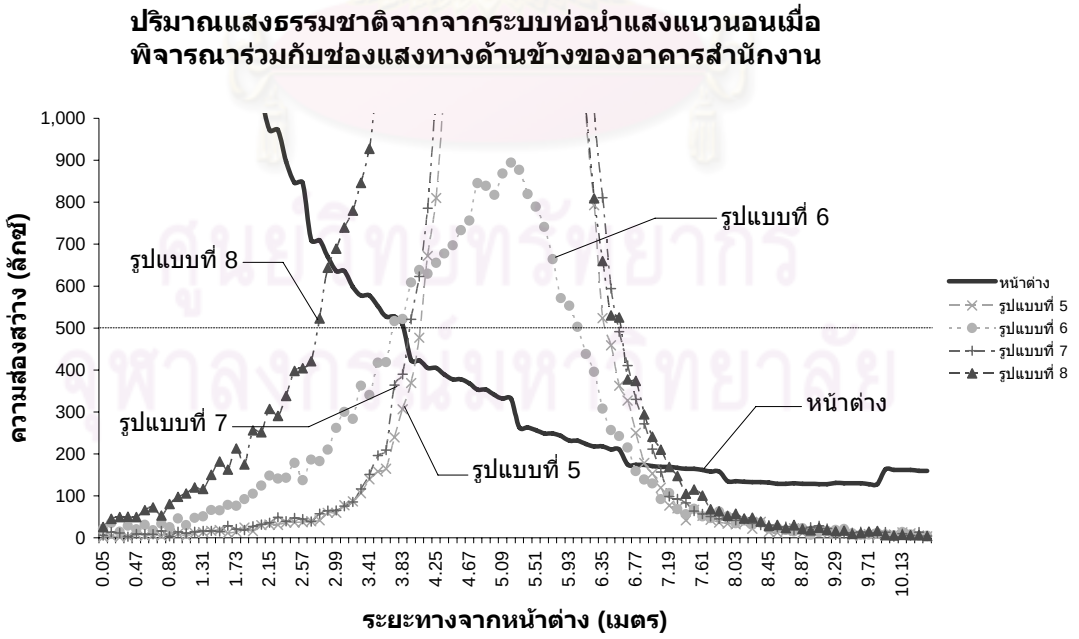
การประยุกต์นำไปใช้งานจริงค่าความส่องสว่างขั้นต่ำที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เริ่มต้นที่ 100 ลักซ์ ตามตารางที่ 7 ในหน้าที่ 27 และการนำไปใช้งานควบคู่กับระบบส่องสว่างภายในอาคารสามารถช่วยลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้ส่วนหนึ่ง ดังนั้น จากการศึกษาส่วนกระจายแสงรูปแบบแผ่นกรองแสงผิวปริซึมของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละรูปแบบสามารถนำไปใช้งานได้ ดังนี้ ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 มีค่าความส่องสว่างอยู่ในช่วง 0.00 - 269.44 ลักซ์ สามารถนำไปใช้ในส่วนของห้องน้ำหรือห้องเก็บเอกสารได้ ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 มีค่าความส่องสว่างอยู่ในช่วง 0.00 - 187.88 ลักซ์ สามารถนำไปใช้ในส่วนของบันไดหรือพื้นที่ทางเดินได้ ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3

มีค่าความส่องสว่างอยู่ในช่วง 0.00 - 413.76 ลักซ์ สามารถนำไปใช้ในส่วนของพื้นที่ถ่ายเอกสารหรือพื้นที่ประชาสัมพันธ์ต้อนรับได้ และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 มีค่าความส่องสว่างอยู่ในช่วง 1.28 - 286.63 ลักซ์ สามารถนำไปใช้ในส่วนห้องน้ำหรือห้องเก็บเอกสารได้

การนำแสงธรรมชาติจากระบบท่อนำแสงแนวนอนไปใช้โดยการพิจารณาร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ ทำให้การประยุกต์ใช้งานจริงภายในพื้นที่อาคารสำนักงานไม่จำเป็นต้องมีค่าความส่องสว่างขั้นต่ำ 500 ลักซ์ ตามข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทยที่กำหนดโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการส่องสว่างได้ระดับหนึ่ง หากกำหนดให้แสงธรรมชาติจากระบบท่อนำแสงแนวนอนให้แสงสว่างเฉพาะที่ในปริมาณความส่องสว่าง 300 ลักซ์ สามารถช่วยลดปริมาณความส่องสว่างจากระบบแสงประดิษฐ์ได้ ดังนี้ ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 1 ลดลงประมาณ 26.94% ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 2 ลดลงประมาณ 18.79% ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 3 ลดลงประมาณ 41.38% และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 4 ลดลงประมาณ 28.79%

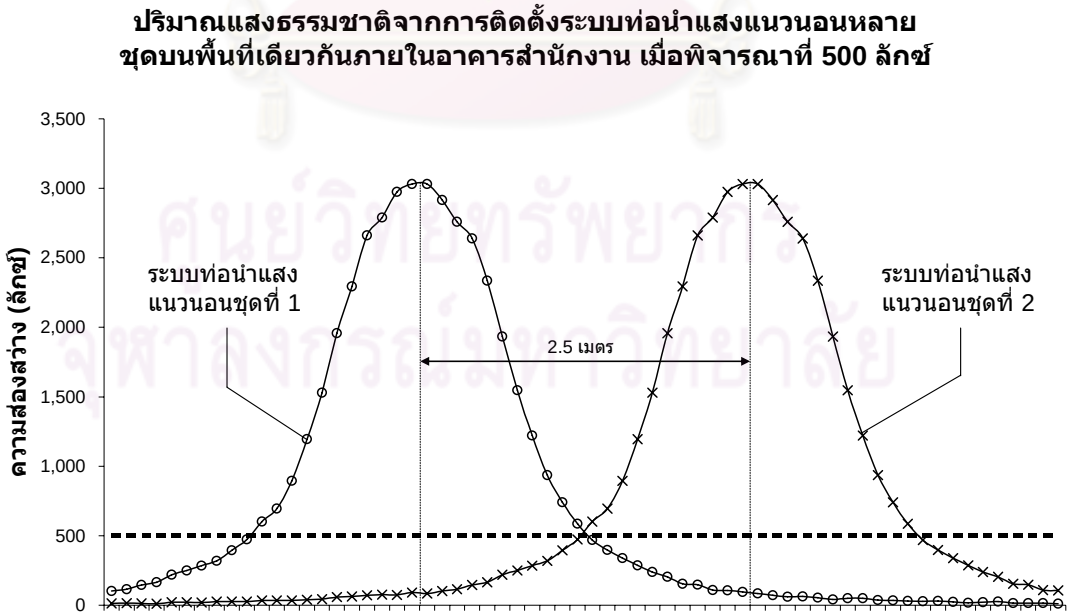
3.3 การพิจารณาร่วมกับช่องแสงทางด้านข้าง

การใช้แสงธรรมชาติจากช่องแสงทางด้านข้างร่วมกับระบบท่อนำแสงแนวนอนบนระนาบพื้นที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานสามารถแสดงผลได้ตามรูปที่ 176

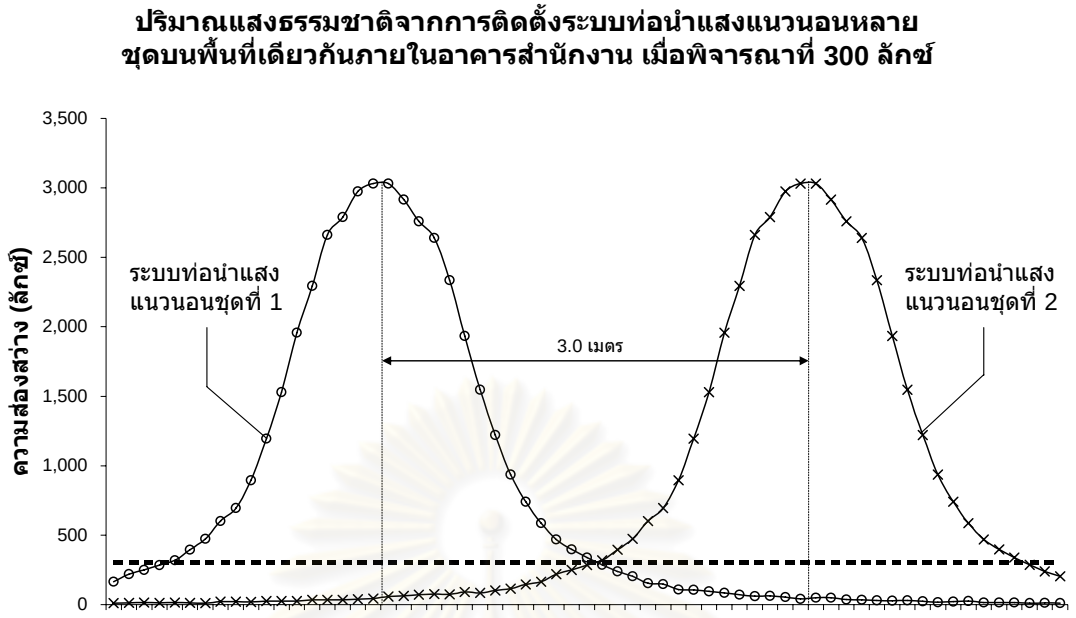


รูปที่ 1 ปริมาณแสงธรรมชาติจากระบบท่อนำแสงแนวนอนเมื่อพิจารณาร่วมกับช่องแสงทางด้านข้างของอาคารสำนักงาน

จากรูปที่ 176 ปริมาณความส่องสว่างบนระนาบพื้นที่ทำงานของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่มีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ ได้แก่ ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 สามารถสรุปผลได้ว่า รูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนทั้งสี่รูปแบบสามารถเสริมระยะการใช้แสงธรรมชาติบนระนาบพื้นที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานจากช่องแสงทางด้านข้างที่ให้แสงสว่างจากธรรมชาติที่ระยะประมาณ 3.8 เมตร จากช่องแสงทางด้านข้างให้เพิ่มมากขึ้น โดยระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 5 เพิ่มระยะเป็นประมาณ 6.4 เมตร จากช่องแสงทางด้านข้าง ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 เพิ่มระยะเป็นประมาณ 6.1 เมตร จากช่องแสงทางด้านข้าง ระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 7 เพิ่มระยะเป็นประมาณ 6.6 เมตร จากช่องแสงทางด้านข้าง และระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 เพิ่มระยะเป็นประมาณ 6.6 เมตร จากช่องแสงทางด้านข้าง ในส่วนของระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 8 จะมีระยะความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ ซ้อนทับกับระยะความส่องสว่างที่ได้จากช่องแสงทางด้านข้างประมาณ 1.0 เมตร ทำให้การออกแบบขนาดของช่องแสงทางด้านข้างไม่มีความจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลต่อความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคารและภาระการทำความเย็นที่จะเพิ่มมากขึ้น สำหรับการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนหลายชุดภายในพื้นที่เดียวกัน โดยให้มีระดับความส่องสว่างสม่ำเสมอคงที่ที่ 500 ลักซ์ และ 300 ลักซ์ ระยะห่างของระบบท่อนำแสงแนวนอนแต่ละชุดต้องไม่เกิน 2.5 เมตร ตามรูปที่ 177 และ 3.0 เมตร ตามรูปที่ 178 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ปริมาณแสงธรรมชาติจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนหลายชุดบนพื้นที่เดียวกันในอาคารสำนักงาน เมื่อพิจารณาที่ระดับความส่องสว่าง 500 ลักซ์



รูปที่ 3 ปริมาณแสงธรรมชาติจากการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนหลายชุดบนพื้นที่เดียวกันในอาคารสำนักงาน เมื่อพิจารณาที่ระดับความส่องสว่าง 300 ลักซ์

สรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบและทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำพาแสงธรรมชาติและปริมาณแสงภายในอาคารประเภทสำนักงานของกรุงเทพมหานคร โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาองค์ความรู้สำหรับประยุกต์ต่อยอดในการพัฒนาเทคนิคการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานในอาคารสำนักงาน จากการศึกษาแบบจำลองประสิทธิภาพทางด้านแสงสว่างที่เน้นรูปแบบความแตกต่างกันระหว่างรูปแบบของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสง พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน ได้แก่

1. <u>ทิศทางการรับแสงธรรมชาติ</u>

การรับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพต่อระบบท่อนำแสงแนวนอนต้องคำนึงถึงทิศทางของแสงธรรมชาติที่จะเข้ามาภายในระบบท่อนำแสงแนวนอน ซึ่งประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนจะแปรผกผันตามขนาดของมุมแสงธรรมชาติที่กระทำต่อท่อในส่วนนำพา

แสงส่วนท่อ โดยมุมที่กระทำกับแนวท่อของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่มีขนาดเล็ก เช่น มุมขนาด 0 องศา หรือขนานกับท่อในส่วนนำพาแสง ประสิทธิภาพในการนำพาแสงเข้าสู่ภายในอาคารจะมีค่ามาก เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียแสงสว่างจากการสะท้อนและดูดกลืนภายในส่วนนำพาแสงได้ จากการศึกษาขนาดของมุมเงยและมุมเงาแนวราบ พบว่า มุมที่มีขนาดเล็กสามารถเพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ไม่มีส่วนรวมแสงได้ แต่เมื่อระบบท่อนำแสงแนวนอนมีส่วนรวมแสงเป็นส่วนประกอบ ขนาดของมุมเงยและมุมเงาแนวราบจะไม่ใช่ตัวแปรหลัก เพราะส่วนรวมแสงสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของมุมก่อนเข้าสู่ระบบได้

2. <u>รูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน</u>

2.1 ส่วนรวมแสง

รูปแบบส่วนรวมแสงที่ส่งเสริมระบบท่อนำแสงแนวนอนต้องสามารถปรับมุมแนวดิ่งและมุมแนวราบของแสงธรรมชาติในช่วงเวลาที่ต้องการให้เข้ามาภายในส่วนนำพาแสงโดยขนานกับท่อในระบบนำพาแสงมากที่สุด จากการศึกษารูปแบบส่วนรวมแสงแบบแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอนมากที่สุด เนื่องจากทำหน้าที่เป็นตัวปรับทิศทางของแสงธรรมชาติก่อนที่จะผ่านเข้าระบบท่อนำแสงแนวนอนให้ขนานกับส่วนนำพาแสง ส่งผลให้แสงธรรมชาติลดการสูญเสียความสว่างจากการสะท้อนและดูดกลืนผ่านส่วนนำพาแสง ในขณะที่รูปแบบส่วนรวมแสงแบบแผ่นเรียบโค้งที่ไม่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ไม่สามารถควบคุมทิศทางของแสงธรรมชาติได้ ทำให้ทิศทางของแสงธรรมชาติก่อนที่จะผ่านเข้าระบบท่อนำแสงแนวนอนไม่มีความคงที่ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียแสงสว่างอย่างมหาศาลจากการสะท้อนและดูดกลืนผ่านส่วนนำพาแสง

2.2 ส่วนนำพาแสง

การนำพาแสงธรรมชาติของส่วนนำพาแสงส่วนท่อรูปแบบท่อหน้าตัดวงกลมสามารถนำพาแสงได้ดีกว่ารูปแบบท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากการศึกษาหากส่วนรวมแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนเป็นแผ่นเรียบโค้งจะส่งผลให้จำนวนการสะท้อนภายในท่อนำพาแสงหน้าตัดวงกลมน้อยกว่าท่อนำพาแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (มุมตกกระทบของท่อนำพาแสงหน้าตัดวงกลมมีขนาดใหญ่กว่าท่อนำพาแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส) ทำให้ท่อนำพาแสงหน้าตัดวงกลมมีการสูญเสียแสงน้อยกว่า แต่หากส่วนรวมแสงของระบบท่อนำแสงแนวนอนเป็นแผ่นเรียบแบนที่สามารถปรับมุมตามดวงอาทิตย์ได้ ความสามารถในการนำพาแสงของท่อนำพาแสงหน้าตัด

วงกลมจะดีกว่าท่อนำพาแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพียงเล็กน้อย ซึ่งความแตกต่างมีน้อยมากแทบไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน ซึ่งการใช้ขนาดหน้าตัดที่ใหญ่กว่าจะสามารถนำพาแสงได้ในปริมาณที่มากกว่า

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาในการศึกษาทำให้งานวิจัยด้านนี้ยังขาดความสมบูรณ์ในบางส่วน จึงมีข้อเสนอแนะแนวทางสำหรับการศึกษาและการวิจัยเพิ่มเติม ดังนี้

1. งานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบของส่วนรวมแสงเพียงสองรูปแบบ คือ ตัวสะท้อนแสงแผ่นเรียบโค้งและแผ่นเรียบแบน ผลการศึกษาจึงอาจยังไม่ครอบคลุมสำหรับการนำข้อมูลไปใช้อ้างอิงสำหรับการนำรูปแบบของส่วนรวมแสงไปประยุกต์ใช้ จึงควรศึกษารูปแบบของส่วนรวมแสงรูปแบบอื่นเพิ่มเติม

2. งานวิจัยนี้ศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนโดยเน้นเฉพาะรูปแบบของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสงเท่านั้น ดังนั้นเพื่อเป็นการเติมเต็มให้กับการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนจึงควรศึกษารูปแบบของส่วนกระจายแสงเพิ่มเติม

3. งานวิจัยนี้ศึกษาภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งเพียงอย่างเดียว แต่การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงสภาพท้องฟ้าจะมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก จึงควรมีการศึกษาสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนและสภาพท้องฟ้าแบบปิดเพิ่มเติม เพื่อให้การศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนมีข้อมูลอ้างสำหรับการพัฒนารูปแบบระท่อนำแสงแนวนอนและการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงสมบูรณ์มากขึ้น

4. งานวิจัยนี้ศึกษาภายใต้สภาพท้องฟ้าจำลองในคอมพิวเตอร์ ซึ่งไม่มีอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม ดังนั้น ผลการศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนอาจความคลาดเคลื่อนของข้อมูล จึงควรทดสอบรูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ออกแบบกับสภาพท้องฟ้าจริงภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของอาคารเพิ่มเติม

5. งานวิจัยนี้ศึกษาลักษณะแสงธรรมชาติจากค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างตลอดทั้งปีจากทิศทางการรับแสงธรรมชาติเพียงสามทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ และตะวันออก แต่การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงกับอาคารการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวนอนอาจไม่สามารถติดตั้งตรงตามทิศทางที่ศึกษาได้ จึงควรศึกษาทิศทางการรับแสงธรรมชาติจากทิศอื่นเพิ่มเติม

6. งานวิจัยนี้ศึกษาความละเอียดของหุ่นจำลอง (Segment) ในการสร้างแบบจำลองรูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอน สำหรับโปรแกรมโฟโตเปียที่มีค่าปานกลาง อาจทำให้ผลการศึกษาจากรูปแบบระบบท่อนำแสงแนวนอนที่มีลักษณะโค้งมีค่าไม่ละเอียดเพียงพอ และส่งผลให้เกิดการกระจายแสงบนระนาบพื้นที่ทำงานอย่างไม่สม่ำเสมอในระบบท่อนำแสงแนวนอนรูปแบบที่ 6 และรูปแบบที่ 8 ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมด้วยความละเอียดของหุ่นจำลองที่มีค่ามากใกล้เคียงสภาพจริงของวัสดุที่ใช้ในการสร้างระบบท่อนำแสงแนวนอนจริงจะช่วยในผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือเทียบเท่าการศึกษาจากระบบท่อนำแนวนอนที่สร้างจริง

7. งานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบของระบบท่อนำแสงแนวนอนโดยการออกแบบจากคุณสมบัติการสะท้อนของแสงเพียงอย่างเดียว ในการศึกษาพัฒนาขั้นต่อไปควรศึกษาระบบท่อนำแสงแนวนอนโดยการออกแบบจากคุณสมบัติอื่นของแสง เช่น การใช้เลนส์ในการหักเหแสงสำหรับส่วนรวมแสง หรือการใช้แผ่นอะคริลิคที่ตัดด้วยเลเซอร์ (Laser Cut Panel) ในการปรับเปลี่ยนทิศทางหรือคัดเลือกแสงในช่วงเวลาที่ต้องการสำหรับส่วนนำพาแสง

8. งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อนำแสงแนวนอนเฉพาะปัจจัยทางด้านแสงสว่างเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงอิทธิพลจากสภาพสิ่งแวดล้อมอื่นที่อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบท่อนำแสงแนวนอน ซึ่งการออกแบบระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับการใช้งานจริงจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยจากทุกด้านโดยเฉพาะปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมาก ได้แก่ ปัจจัยด้านความร้อนที่อาจเกิดขึ้นภายในระบบท่อนำแสงแนวนอน และปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่ต้องคำถึงค่าใช้จ่ายและต้นทุนของอาคารที่ติดตั้งระบบท่อนำแสงด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] ธนิต จินดาวนิค. การประหยัดพลังงานในอาคาร. Energy Today 3 (มีนาคม 2546): 3.

[2] พิบูลย์ ดิษฐอุดม. การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521.

[3] Oakley, G., Riffat, S.B., and Shao, L. Daylight Performance of Lightpipes. Solar Energy 69 (2000): 89-98.

[4] รัฐพล รุญเจริญ. การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.

[5] Zhang, X., Muneer, T., and Kubie, J. A design guide for performance assessment of solar light-pipes. Lighting Res. Technol. 34 (2002): 149-169.

[6] Kocifaj, M. Analytical solution for daylight transmission via hollow light pipes with a transparent glazing. Solar Energy 83 (2009): 186-192.

[7] บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร. การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2550.

[8] Beltran, L.O., Lee, E.S., and Selkowitz, S.E. Advanced optical daylighting sytems: Light Shelves and Light Pipes. 1996 IESNA Annual Conference, pp. 1-30. California, 1996.

[9] Canziani, R., Peron, F., and Rossi, G. Daylight and energy performances of a new type of light pipe. Energy and Buildings 36 (2004): 1163-1176.

[10] Kwok, C.M., and Chung, T.M. Computer simulation study of a horizontal light pipe integrated with laser cut panels in a dense urban environment. Lighting Res. Technol. 40 (2008): 287-305.

[11] Surapong Chirarattananon, Siriwat Chedsiri and Renshen, L. Daylighting through light pipes in the tropics. Solar Energy 69 (2000): 331-341.

[12] อภิชาต บ้วนกียาพันธุ์. ทฤษฎีของแมกซ์เวลล์และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [Online]. แหล่งที่มา: http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/Electromagnetic%20wave1/index/index3.htm [14 ก.พ. 2553]

[13] ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ. แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาและเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.

[14] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาฟิสิกส์. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [Online]. แหล่งที่มา: http://www.neutron.rmutphysics.com/teaching-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1058&Itemid=11&limit=1&limitstart=0 [14 ก.พ. 2553]

[15] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. คำบรรยายเรื่องการสำรวจจากระยะไกล: Remote Sensing Note. พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.), 2540.

[16] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาฟิสิกส์. อภิธานศัพท์ฟิสิกส์ [Online]. แหล่งที่มา: http://www.neutron.rmutphysics.com/physics-glossary/index.php [14 ก.พ. 2553]

[17] Stein, B., Reynolds, J. S., and McGuinness, W.J. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 7th ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.

[18] ปรียา อนุพงษ์องอาจ. การหักเหของแสง [Online]. แหล่งที่มา: http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/62/light1/ligh_6.htm [14 ก.พ. 2553]

[19] ฉลอง รักษาภักดี. การแทรกสอดของคลื่นแสง [Online]. แหล่งที่มา: http://61.7.158.13/kan_cai1/sci/..%5Csci%5Csec4%5Cphy%5Ccai%5CLight/e-%20light/Light/Light12.htm [14 ก.พ. 2553]

[20] มนุชา อ๋อสกุล. การกระจาย [Online]. แหล่งที่มา: http://www.ee43.com/fiber/chapter2_2.html [14 ก.พ. 2553]

[21] ชัยวัฒน์ มุตติศานต์. ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.

[22] Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. New York: John Wiley & Sons, 1990.

[23] สำนักงานพพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544.

[24] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. ครีษมายัน [Online]. แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%A5%E0%B9%8C:Earth-lighting-summer-solstice_EN.png [14 ก.พ. 2553]

[25] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. เหมายัน [Online]. แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%A5%E0%B9%8C:Earth-lighting-winter-solstice_EN.png [14 ก.พ. 2553]

[26] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. วิษุวัต [Online]. แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%A5%E0%B9%8C:Earth-lighting-equinox_EN.png [14 ก.พ. 2553]

[27] Peat, C. Definition of “Altitude” [Online]. Available from: http://www.heavens-above.com/glossary.aspx?term=altitude [2010, February 14]

[28] University of Southern California. School of Architecture, Building Science. Shadow Angles [Online]. Available from: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/tools/vrsolar/Help/solar_concepts.html#sol_dia [2010, February 14]

[29] ศตวรรษ พรหมา. การใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.

[30] Brown, G.Z., and DeKay, M. Sun, Wind, & Light Architectural Design Strategies. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

[31] อวิรุทธ์ อุรุพงศา. การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียนชนบท. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544, อ้างถึงใน ฉันทมน โพธิพิทักษ์. การศึกษารูปแบบของอุปกรณ์บังแดดและช่องแสงด้านข้าง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติภายในห้องเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2546.

[32] ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539.

[33] Helms, R.N. Illumination Engineering for Energy Efficient Luminous Environments. Prentice-Hall Inc. Englewood Gliffs. NJO. 1980, อ้างถึงใน ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.

[34] Terrell Croft Former Editor Iuilfordi. Summers Editor. American Electricians' Handbook. 11th Edition. McGraw-Hill. 1987, อ้างถึงใน ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.

[35] สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. TIEA-GD003 ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2546.

[36] LTI Optics. Photopia [Online]. Available from: http://www.ltioptics.com/Photopia/overview.html [2010, February 14]

[37] Autodesk. AutoCAD [Online]. Available from: http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=13779270&siteID=123112 [2010, February 14]

[38] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ: จิรังรัชต์, 2547.

[39] Rea, M.S. The IESNA Lighting Handbook Reference & Application (Ninth Edition). Printed in theUnited States of America, 2000.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายบริรักษ์ อินทรกุลไชย เกิดวันที่ 6 ตุลาคม 2525 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีพ.ศ. 2549 และได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม ที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย