การพัฒนาและออกแบบระบบให้แสงสว่างในอาคาร

(Development and design of daylight system in the building)

นายคมสัน หาดไร่

นายธนากร เหล่ากอ

นายสง่าศุล ขันโท

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 15516043
เลขเรียกหนังสือ ว/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ค/152ป 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงงาน : การพัฒนาและออกแบบระบบให้แสงสว่างในอาคาร

(Development and design of daylight system in the building)

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายคมสัน หาดไร่ รหัสนิสิต 50380102

นายธนากร เหล่ากอ รหัสนิสิต 50382199

นายสง่ากุล ขันโท รหัสนิสิต 50383783

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน : ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

..... ประธานกรรมการ

(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

..... กรรมการ

(อาจารย์นินนาท ราชประดิษฐ์)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)

หัวข้อโครงงาน	: การพัฒนาและออกแบบระบบให้แสงสว่างในอาคาร		
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายคมสัน	หาดไร่	รหัสนิสิต 50380102
	นายธนากร	เหล่ากอ	รหัสนิสิต 50382199
	นายสง่ากุล	ขันโท	รหัสนิสิต 50383783
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน	: ดร.อนันต์ชัย	อยู่แก้ว	
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2553		

บทคัดย่อ

โครงงานการพัฒนาการให้แสงสว่างภายในอาคาร โดยใช้ท่อนำแสงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการให้แสงสว่างภายในอาคารโดยลักษณะท่อนำแสงมีดังนี้ เป็นรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยมความยาว 1 เมตรและ 2 เมตร พื้นที่หน้าตัดของท่อนำแสงเท่ากับ 0.1 ตารางเมตร วัตถุสะท้อนแสงทำจากกระจกเงา ความหนา 3 มิลลิเมตร ทำการทดสอบท่อ 3 ชนิดได้แก่ ชนิดที่หนึ่ง แบบท่อมีความยาว 1 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร ชนิดที่สอง แบบท่อมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตร ชนิดที่สาม แบบท่อมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร และระยะ 2 เมตร ในการทดสอบหันหน้าช่องรับแสงของท่อนำแสงไปทางทิศใต้และสูงจากพื้นระดับ 1 เมตร ทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 09.00 - 16.00น. ระหว่างวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 ถึง วันที่ 3 มีนาคม 2554 สถานที่ทำการทดสอบ ณ ลานคอนกรีตหมู่บ้านแกรนด์โฮม ทำการเก็บข้อมูลความส่องสว่างของแสงทุกวัน ทุกช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 09.00 -16.00น. เก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่เวลา ของท่อแต่ละชนิดที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร นำข้อมูลที่ได้มาเขียนแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบความส่องสว่างกับเวลา ที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างที่เวลา 12.00น. จะมีค่าความส่องสว่างสูงสุด ดังนั้นที่ระยะ 1 เมตร ท่อชนิดที่หนึ่ง มีความสว่างเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 1290.453 ลักซ์ และท่อชนิดที่สามวัดที่จุดปล่อยแสงระยะ 1 เมตร มีความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 1193.111 ลักซ์ ซึ่งท่อชนิดที่หนึ่งที่เวลา 12.00น. มีความส่องสว่างมากกว่าชนิดที่สาม 10.51 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะความยาวท่อ 2 เมตร ท่อชนิดที่สอง มีความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 6579.467 ลักซ์ และท่อชนิดที่สาม วัดที่ระยะ 2 เมตรมีความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งวัน 3132.996 ลักซ์ ท่อชนิดที่สอง มีความส่องสว่างที่เวลา 12.00น. มากกว่าท่อชนิดที่สาม 53.98 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการสะท้อนแสงภายในท่อจะทำให้ความสว่างลดลงและสูญเสียความสว่างจากการปล่อยแสงเป็นระยะ ดังนั้น การนำแสงสว่างไปยังจุดที่ต้องการรับแสงต้องใช้ท่อนำแสงจำนวนหนึ่งท่อต่อจุดรับแสงหนึ่งจุดจึงจะได้รับความสว่างมากกว่าการรวมแสงไว้ที่ท่อๆเดียวแล้วปล่อยแสงระหว่างทางเป็นระยะ

Project Title	: Development and design of daylight system in the building
Name	: Mr. Komsan Hardrai
	Mr. Tanakorn Laokor
	Mr. Sangagul Khunto
Project Advisor	: Mr. Ananchai U-khaew
Department	: Mechanical Engineering
Academic Year	: 2010

Abstract

Development project to light the building. The optical tube is intended to develop the lighting within the building. The optical tube features are as follows. A cylindrical length of a square meter and 2 meters of the pipe cross-sectional area of 0.1 square meters to light. Mirrors reflect light from the object to a thickness of 3 mm. Mirrors reflect light from the object to a thickness of 3 mm and 3 types of test tubes. One type is a tube length of 1 meter with the light emission at a distance of 1 meter a second pipe length 2 meters, with the light emission at 2 m distance and the third type of pipe length 2 meters, with the light emission at a distance of 1 meter and 2 meters in length. To test the aperture facing the light pipe to the south and at 1 m above the ground. Testing beginning at 9:00 to 16:00 pm during the February 25, 2554 until March 3, 2554. Place concrete testing at Grand Home. Sample luminance of light every day and every time period from 09:00 to 16:00 am and collect data every 30 minutes. Then used for calculating the average of the time. Each type of pipe at a distance of 1 meter and 2 meters. The data were written to show a chart comparing the brightness with the time period of 1 meter and 2 meters. Can see that the brightness values at 12.00 am will have the highest luminance. Thus, at a distance of 1 meter tube type one. Brightness equal to the average day 1290.453 lux. The third type of pipe and measuring light emission at the 1-meter average luminance equal to 1193.111 days lux. This type of a pipe at 12.00 am with light more than three kinds of 10.51 percent. And pipe length, 2 meters a second tube. The average luminance equal to 6579.467 days lux. The third type of pipe and measure the distance of two meters on average luminous 3132.996 flux . A second tube. A light tube at 12.00 am rather than 53.98 percent of the third kind. The experiment can be seen that the reflection of light inside the pipe will decrease and loss of light from a light emission period. Therefore, bringing light to a point that needs exposure. Requires a number of

tube light tube to the one spot of light. It will be brighter than the total exposure to the light pipe single was released during the term.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานชุด การพัฒนาและออกแบบระบบให้แสงสว่างในอาคาร ประสบผลสำเร็จลงได้ด้วยดี คณะผู้ดำเนินโครงงานต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำและความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงงานมาตลอดจนสำเร็จลุล่วง ดังนี้

1. พ่อและแม่ ที่อบรมสั่งสอนเป็นอย่างดีและคอยสนับสนุนในด้านการศึกษาทุกด้านจนสำเร็จการศึกษา

2. อาจารย์อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนช่วยดูแลจนโครงงานสำเร็จลงด้วยดี

3. ครูช่าง ที่ให้ความสะดวกในการหยิบยืมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทำโครงงานและคำแนะนำจนโครงงานสำเร็จลงด้วยดี

4. คณาจารย์ บุคลากร และเพื่อนนิสิตทุกคนที่ให้คำปรึกษา แนะนำ หยิบยืมอุปกรณ์ และให้ความอนุเคราะห์จนโครงงานสำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงาน.....ก
บทคัดย่อ.....ข
Abstract.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....จ
สารบัญ.....ฉ
สารบัญรูปภาพ.....ช
สารบัญกราฟ.....ญ
สารบัญตาราง.....ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน.....1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3
1.6 งบประมาณที่ใช้.....3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....4
2.1 แสงสว่าง.....5
2.2 กลุ่มทฤษฎีเรื่องแสงธรรมชาติ.....16
2.3 ลักษณะของช่องเปิดที่มีผลกับแสงสว่างธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร.....19
บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง.....24
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....24
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง.....27
4.1 การออกแบบและการสร้างท่อนำแสง.....27
4.2 การทดลอง.....28
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....31
5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองที่จุดรับแสง.....31
5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองท่อนำแสงที่ความยาว 1 เมตร.....32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองท่อนำแสงที่ความยาว 1 เมตร.....35
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....39
6.1 สรุปผลการทดลอง.....39
6.2 ข้อเสนอแนะ.....40
บรรณานุกรม.....41
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง.....42
ภาคผนวก ข. กราฟแสดงผลการทดลอง.....72
ภาคผนวก ค. แบบโครงสร้างท่อนำแสง.....98
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน.....110

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ....4

2.2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่างๆ....5

2.3 แสดงคำจำกัดความของ luminance....7

2.4 แสดงคำจำกัดความของ illuminance....8

2.5 แสดงคำจำกัดความของ luminous exitance....9

2.6 แสดงคำจำกัดความของ Luminous Intensity....10

2.7 แสดงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct light) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light)....14

2.8 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ....15

2.9 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของความเข้มของแสงสว่าง
จากส่วนต่างๆของท้องฟ้า หรือ Sky luminance....15

2.10 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky....19

2.11 แสดงลักษณะหิ่งห้อยสะท้อนแสง....22

2.12 แสดงการสะท้อนแสงของแผ่นอะคริลิกใส (a)
การสะท้อนแสงของแผ่นอะคริลิกใสที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ (b)....23

3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัด (Lux Meter)....24

3.2 แสดงกล่องทดลองทึบแสงเมื่อประกอบกับท่อนำแสง....25

4.1 แสดงขาตั้งของท่อนำแสง ที่ระยะสูง 1 เมตร....27

4.2 แสดงโครงสร้างของท่อนำแสงที่ประกอบกับชุดขาตั้ง....28

4.3 แสดงชุดท่อนำแสง....29

4.4 แสดงเครื่องมือวัดความส่องสว่าง (Lux meter) 29

4.5 แสดงการบอกตำแหน่งของจุดต่างๆในการวัดค่าความสว่างของท่อนำแสง....30

5.1 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง A และ B....32

5.2 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง a และ b ห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร....34

5.3 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง C และ D....35

5.4 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง c และ d ห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร....37

ค.1 แสดงโครงสร้างขาตั้งของท่อนำแสง....99

ค.2 แสดงโครงสร้างของท่อนำแสงส่วนหลัง....100

ค.3 แสดงขนาดของท่อนำแสง....101

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ค.4 แสดงขนาดของท่อนำแสงส่วนหน้า....102

ค.5 แสดงขนาดของท่อนำแสงส่วนหลัง....103

ค.6 แสดงโครงสร้างรองรับกระจก....104

ค.7 แสดงโครงสร้างรองรับพร้อมกระจก....105

ค.8 แสดงท่อนำแสงที่ใช้ในการทดสอบ....106

ค.9 แสดงด้านข้างของท่อนำแสงที่ใช้ในการทดสอบ....107

ค.10 แสดงโครงสร้างท่อนำแสงส่วนหน้า....108

ค.11 แสดงโครงสร้างท่อนำแสงส่วนหลัง....109

สารบัญกราฟ

กราฟที่ หน้า

2.1 การตอบสนองของสายตามนุษย์ตามมาตรฐาน CIE....6

2.2 แสดงสเปคตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก....11

2.3 แสดงสเปคตรัมรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ....12

2.4 แสดงสเปคตรัมรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ....12

2.5 แสดงสเปคตรัมรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ....13

2.6 แสดงแผนภูมิสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยรายเดือน....17

5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาที่จุดรับแสง....31

5.2 แสดงค่าความสว่างที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร ที่จุดปล่อยแสง....32

5.3 แสดงค่าความสว่างที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร
วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....34

5.4 แสดงค่าความสว่างที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร ที่จุดปล่อยแสง....36

5.5 แสดงค่าความสว่างที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....37

กราฟแสดงค่าความสว่าง วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554

ข.1 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....73

ข.2 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดจากห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร....74

ข.3 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดจากห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร....75

ข.4 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดจากห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร....76

กราฟแสดงค่าความสว่าง วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2554

ข.5 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....77

ข.6 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....78

ข.7 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....79

ข.8 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....80

กราฟแสดงค่าความสว่าง วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2554

ข.9 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....81

ข.10 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....82

ข.11 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....83

ข.12 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....84

สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่ หน้า

กราฟแสดงค่าความสว่าง วันที่ 1 มีนาคม 2554

ข.13 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....85

ข.14 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....86

ข.15 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....87

ข.16 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....88

กราฟแสดงค่าความสว่าง วันที่ 3 มีนาคม 2554

ข.17 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....89

ข.18 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....90

ข.19 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....91

ข.20 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....92

ข.21 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา
ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....93

ข.22 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา
ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....94

ข.23 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา
ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....95

ข.24 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา
ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร....96

ข.25 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา ที่จุดรับแสง....97

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงการเปรียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน
CIE, IES, และ BS ตามประเภทการใช้งาน....21

ผลการบันทึกค่าความสว่าง วันที่ 25 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

ก.1 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง....43

ก.2 ท่อนำแสงยาว 1 เมตร....44

ก.3 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร....45

ก.4 ที่จุดรับแสงของท่อนำแสง....46

ผลการบันทึกค่าความสว่าง วันที่ 27 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

ก.5 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง....47

ก.6 ท่อนำแสงยาว 1 เมตร....48

ก.7 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร....49

ก.8 ที่จุดรับแสงของท่อนำแสง....50

ผลการบันทึกค่าความสว่าง วันที่ 27 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

ก.9 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง....51

ก.10 ท่อนำแสงยาว 1 เมตร....52

ก.11 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร....53

ก.12 ที่จุดรับแสงของท่อนำแสง....54

ผลการบันทึกค่าความสว่าง วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

ก.13 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง....55

ก.14 ท่อนำแสงยาว 1 เมตร....56

ก.15 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร....57

ก.16 ที่จุดรับแสงของท่อนำแสง....58

ผลการบันทึกค่าความสว่าง วันที่ 3 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

ก.17 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง....59

ก.18 ท่อนำแสงยาว 1 เมตร....60

ก.19 ท่อนำแสงยาว 2 เมตร....61

ก.20 ที่จุดรับแสงของท่อนำแสง....62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.21 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร....63

ก.22 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร....64

ก.23 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร....65

ก.24 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร....66

ก.25 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร....67

ก.26 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร....68

ก.27 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร....69

ก.28 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสง
ที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร....70

ก.29 ค่าเฉลี่ยความสว่างของแสงที่จุดรับแสง....71

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

มนุษย์รู้จักการนำแสงจากธรรมชาติ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์มาใช้เนื่องจากปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงานเป็นปัญหาที่สำคัญควรรณรงค์ให้มีการแก้ไข ซึ่งสาเหตุปัญหาส่วนหนึ่งที่เกิดจากการบริโภคพลังงานอย่างฟุ่มเฟือยโดยอย่างยิ่ง การใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันได้มีการนำแสงสว่างที่ได้มาจากธรรมชาติมาใช้ในอาคารมาทดแทนการใช้แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ระดับหนึ่ง เราสามารถนำแสงจากธรรมชาติมาทำให้เกิดความรู้ที่แตกต่างกันตามการใช้งานในแต่ละอาคาร การควบคุมแสงที่เข้ามาในอาคารผ่านช่องแสงที่ออกแบบ ซึ่งเป็นช่องนำแสงที่นำแสงเข้ามาทางด้านข้างของอาคาร

ในการพิจารณาเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร อาจจะต้องพิจารณาถึงปัญหาอื่นๆ เช่น ความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของการกระจายแสงและปริมาณแสงที่เข้ามาอาจมีปริมาณมากน้อยเกินไป ปัญหาการเกิดแสงจ้า รวมถึงการสะสมความร้อนของอาคารที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องคำนึงถึงรูปแบบและวิธีการนำไปใช้งานที่ถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงไร

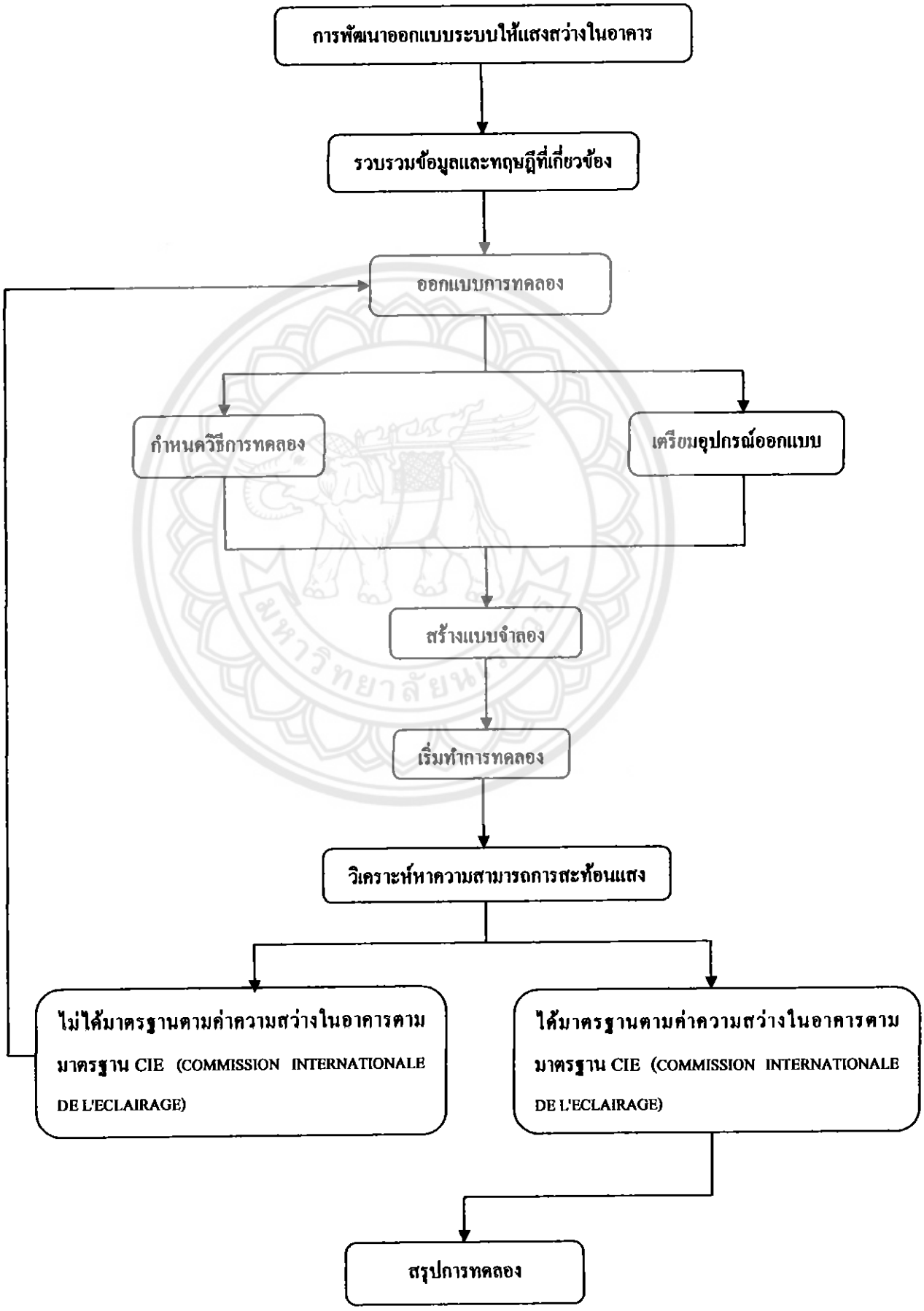
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- เพื่อศึกษาการออกแบบแสงสว่างเข้ามาใช้ในอาคาร
- เพื่อศึกษาการพัฒนาระบบให้แสงสว่างภายในอาคาร

1.3 ขอบเขตการทดลอง

- กำหนดให้การสะท้อนแสงในการทดลองเป็นกระจกเงา
- ใช้แสงธรรมชาติในการพัฒนาและออกแบบให้แสงสว่างภายในอาคาร
- ในการวิจัยจะทำการเก็บข้อมูลของความส่องสว่างในส่วนของการทดลอง โดยถือว่าไม่มีปัจจัยจากสภาพแวดล้อมโดยรอบเข้ามาเกี่ยวข้อง
- ในการทำการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงการทดลองโดยใช้ model ท่อนำแสงในการเก็บข้อมูล
- ใช้สภาพท้องฟ้าและดวงอาทิตย์จริงในการศึกษาเพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน



ตาราง 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรมและขั้นตอนดำเนินการ	ระยะเวลา(เดือน)								
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาหลักการนำแสงมาใช้ในตัวอาคาร	■	■							
2.ออกแบบหลักการสะท้อนแสง			■	■	■				
3.ทำการทดลองวัดค่าความสว่างของแสง						■	■	■	■
4.วิเคราะห์และสรุปผล								■	■
5.จัดทำรายงานปริญญานิพนธ์									■

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ในการทดสอบนี้มุ่งเน้นที่จะเสนอระบบท่อนำแสงที่มีตัวสะท้อนแสงเป็นกระจกเงา ในการนำแสงธรรมชาติเข้าไปใช้บริเวณทางเดินในแต่ละชั้นของอาคาร ซึ่งคาดว่าจะได้รับผลประโยชน์ดังนี้

- ทำให้รู้ถึงปัญหาและข้อจำกัดในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้างของอาคารโดยระบบท่อนำแสง
- เป็นแนวทางในการพัฒนาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารโดยระบบท่อนำแสงในส่วนอื่นๆของอาคารต่อไป
- เพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

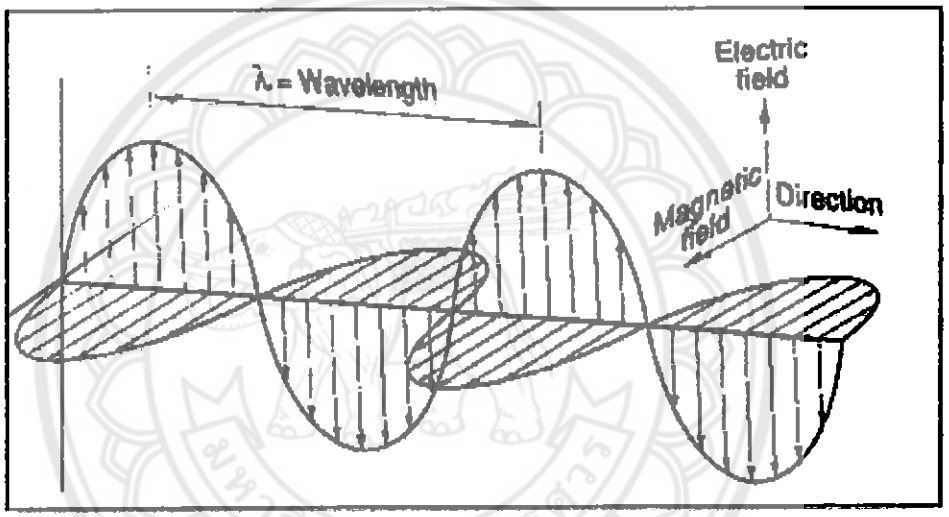
1.6 งบประมาณที่ใช้

- ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดลอง

แผ่นกระจกเงา	1,000 บาท
โครงสร้างของท่อนำแสง	1,000 บาท
ชุดขาตั้งสำหรับวางท่อนำแสง	1,000 บาท
- เอกสารรายงาน	1,000 บาท
- ค่าจัดทำปริญญานิพนธ์	1,500 บาท

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

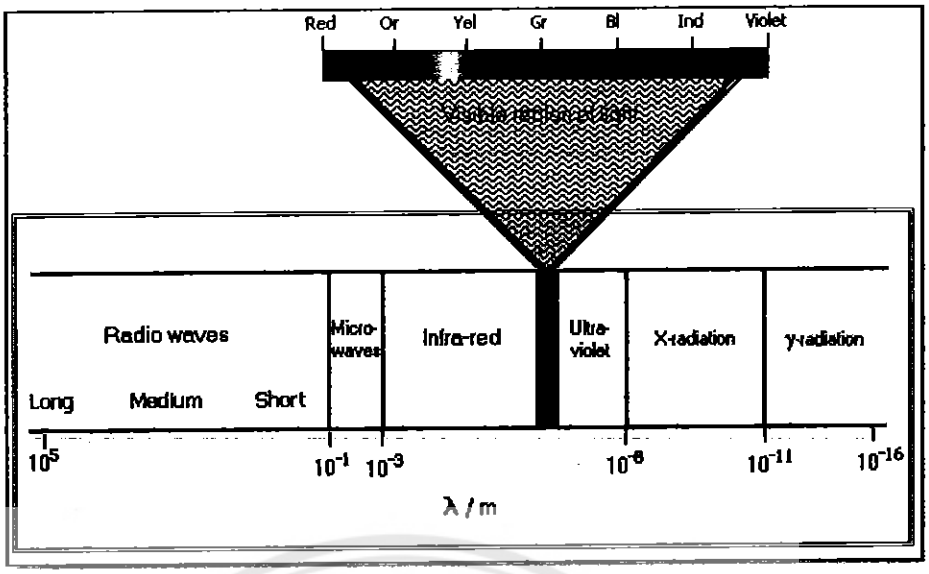
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวางที่ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าซึ่งตั้งฉากกัน และเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า โดยมีความเร็วในสุญญากาศ เท่ากับ 3×10^8 m/s



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 1

ในกรณีทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติซึ่งสามารถทำนายหรืออธิบายได้ด้วยสมการของแมกซ์เวล (Maxwell's equation) โดยคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ การหักเห (refraction) การสะท้อน (reflection) การเลี้ยวเบน (diffraction) และการแทรกสอด (interference) สำหรับกรณีของปรากฏการณ์เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับอะตอมจะต้องพิจารณาว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอนุภาค (particle) และต้องใช้ทฤษฎีของควอนตัมในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นไม่จำกัด โดยสามารถพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่ รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ รังสีอุลตร้าไวโอเลต แสงสว่าง รังสีอินฟราเรด และคลื่นวิทยุ



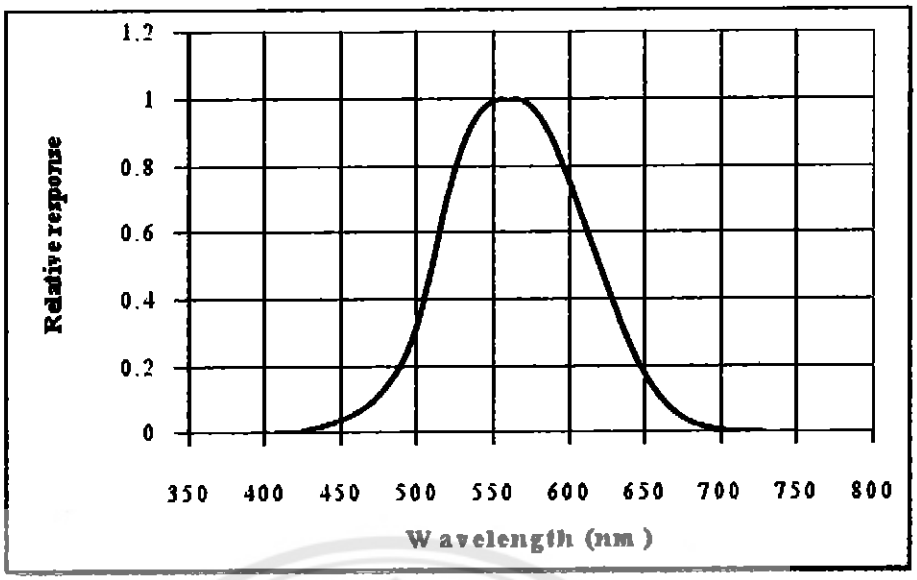
รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่างๆ

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, *แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย* (กรุงเทพมหานคร: บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 2

2.1 แสงสว่าง

2.1.1 การตอบสนองของสายตามนุษย์

แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 0.38-0.77 μm ซึ่งสามารถรับรู้ได้ด้วยสายตามนุษย์ โดยทั่วไป ตาของมนุษย์จะตอบสนองต่อแสงสว่างที่ความยาวคลื่นต่างๆไม่เท่ากัน โดยจะตอบสนองแสงสีเขียวได้ดีกว่าสีแดงหรือสีม่วง โดย International Commission Illumination (Centre International d' Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานการตอบสนองของสายตามนุษย์ในสภาพแสงปกติ



กราฟที่ 2.1 แสดงการตอบสนองของสายตามนุษย์ตามมาตรฐาน CIE (Murdoch, 1985)

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, *แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย* (กรุงเทพมหานคร: บริษัท จิรังโชติ จำกัด, 2547), 3

2.1.2 ปริมาณแสงสว่าง

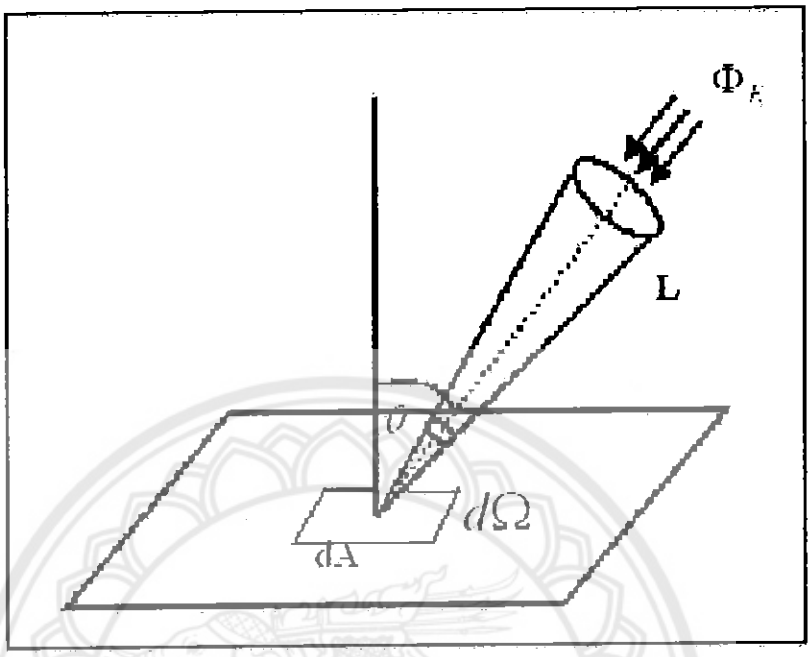
แสงสว่างโดยทั่วไปซึ่งรวมถึงแสงสว่างธรรมชาติจะมีการกำหนดศัพท์ทางเทคนิคซึ่งใช้ในการบอกปริมาณต่างๆดังนี้

1.2.1 ฟลักซ์ (flux) โดยทั่วไป ฟลักซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเป็นอัตราการไหลของพลังงาน ซึ่งมีหน่วยเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา (J/S หรือ Watt) เมื่อฟลักซ์ของแสงสว่างตกกระทบตามนุษย์ ประสาทตาจะรับรู้ในรูปของแสงสว่าง (luminous flux) ในหน่วย ลูเมน (lumen) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับฟลักซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (radiant flux) ที่เข้ามา ดังนี้

683 lumen = 1Watt (ที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร)

ฟลักซ์ของแสงสว่างอาจเป็นฟลักซ์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงหรือฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นที่ต่างๆ หรือเป็น ฟลักซ์ของแสงสว่างที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ในตัวกลางต่างๆ

1.2.2 ลูมิแนนซ์ (luminance) เป็นฟลักซ์ของแสงสว่างที่พุ่งเข้าหรือพุ่งออกจากจุดบนพื้นที่ตั้งฉากกับทางเดินของแสงหนึ่งหน่วยพื้นที่ ในกรวยแคบๆ ซึ่งมีมุมตัน 1 สเตอเรเดียน (Steradian)



รูปที่ 2.3 แสดงคำจำกัดความของ luminance

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 4

ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังสมการ

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

เมื่อ L คือ ลูมิแนนซ์ (luminance)

Φ_E คือ ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)

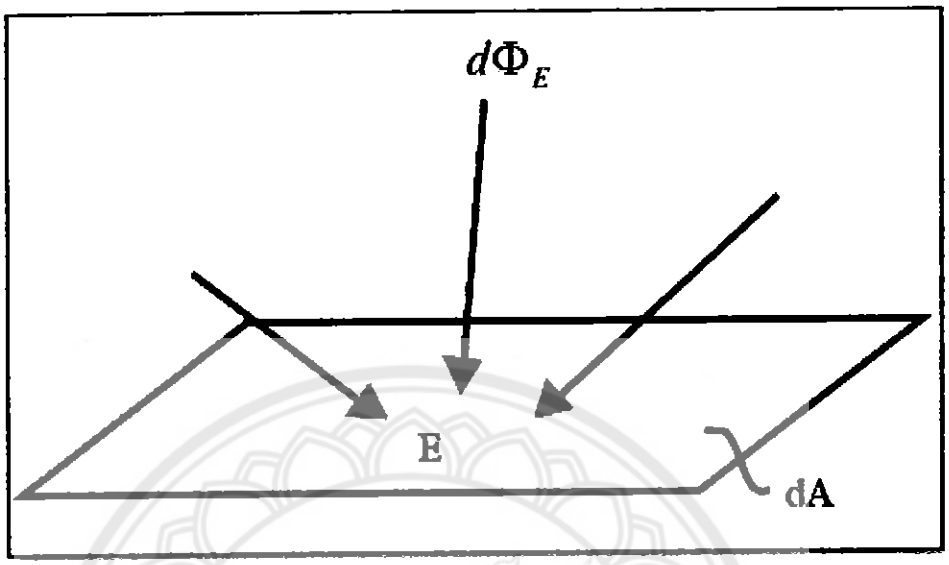
Ω คือ มุมตัน (Steradian)

θ คือ มุมระหว่างเส้นตั้งฉากของพื้นที่ราบกับทิศที่แสงเดินทาง

A คือ พื้นที่ (m^2)

ลูมิแนนซ์มีหน่วยเป็น lumem/sr – m^2 หรือมีหน่วยอีกอย่างที่เรียกว่า Candela/m^2 แสงในท้องฟ้า กรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆจะมีค่าลูมิแนนซ์ประมาณ 10 – 12 kCd/m^2 สำหรับแสงตรงจากดวงอาทิตย์มีค่าสูงถึง 20 – 50 kCd/m^2

1.2.3. อิลูมิเนนซ์ (illuminance) เป็นปริมาณของฟลักซ์แสงสว่างที่ตกกระทบต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็น lumem/m² ซึ่งเรียกอีกชื่อว่า ลักซ์ (lux)



รูปที่ 2.4 แสดงคำจำกัดความของ illuminance

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรัง โชติ จำกัด, 2547), 5

ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังสมการ

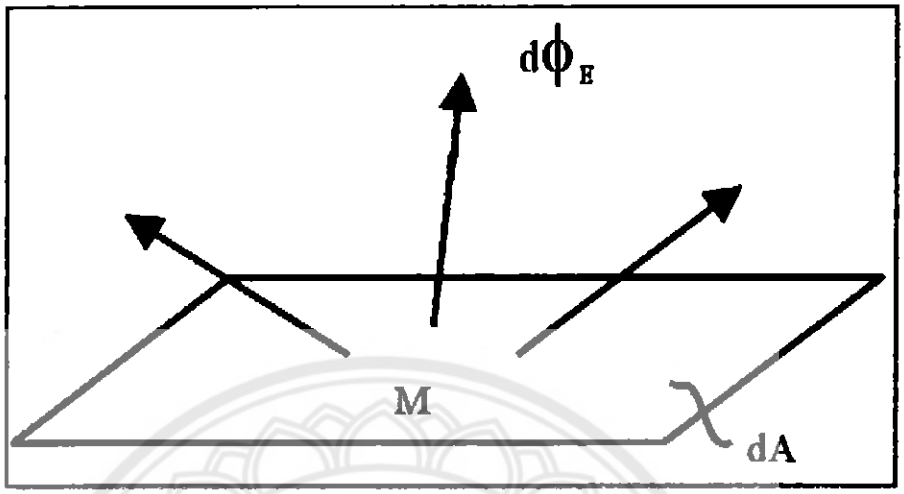
$$E = \frac{d\phi_E}{dA}$$

เมื่อ E คือ อิลูมิเนนซ์ (lux)

Φ_E คือ ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)

A คือ พื้นที่ (m^2)

1.2.4. Luminous exitance เป็นปริมาณแสงสว่างที่คล้ายกับอิลูมิแนนซ์จะคิดในกรณีที่แสงพุ่งออกจากพื้นที่ซึ่งเกิดจากการสะท้อนหรือการแผ่รังสี



รูปที่ 2.5 แสดงคำจำกัดความของ luminous exitance

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, **แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร:** บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 6

ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังสมการ

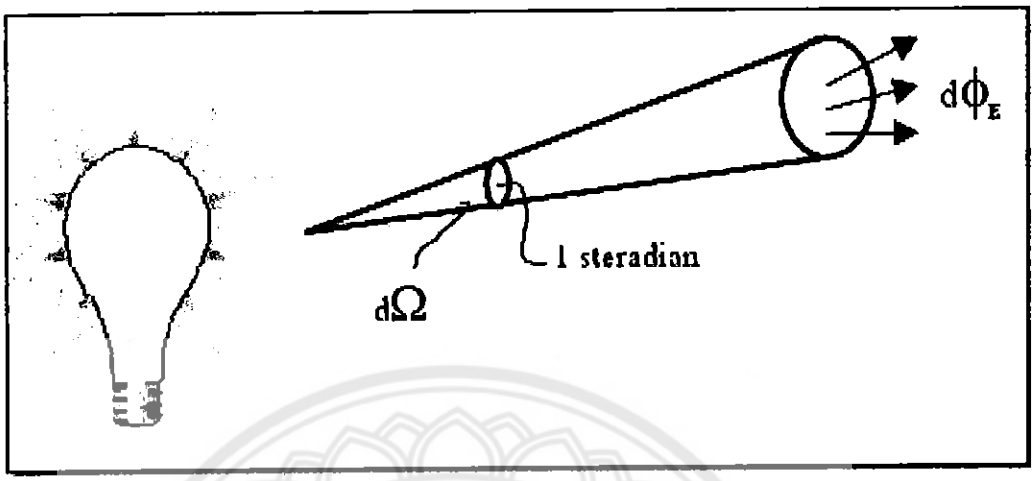
$$M = \frac{d\phi_E}{dA}$$

เมื่อ M คือ luminous exitance (lux)

Φ_E คือ ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)

A คือ พื้นที่ (m^2)

1.2.5. Luminous Intensity เป็นปริมาณแสงสว่างที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งบอกในรูปของฟลักซ์ของแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดในกรวยแคบๆในหนึ่งหน่วยมุมตัน



รูปที่ 2.6 แสดงคำจำกัดความของ Luminous Intensity

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 7

ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังสมการ

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

เมื่อ I_E คือ Luminous intensity (lumen/steradian)

Φ_E คือ ฟลักซ์ของแสงสว่าง (W)

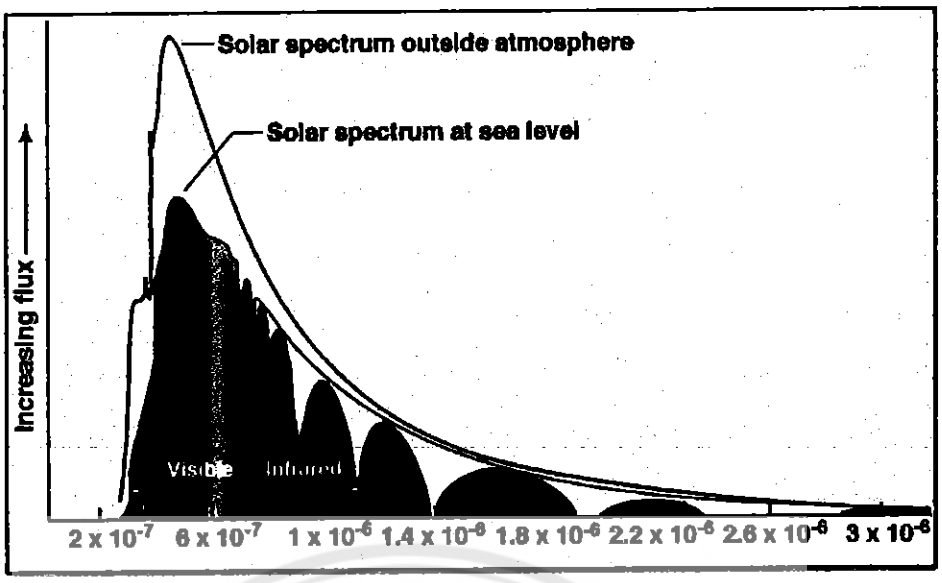
Ω คือ พื้นที่ (m^2)

โดยที่ Luminous intensity มีหน่วยเป็น lumen/steradian

2.1.3 แสงสว่างธรรมชาติ (Daylight)

1.3.1. แหล่งกำเนิดของแสงสว่างธรรมชาติ

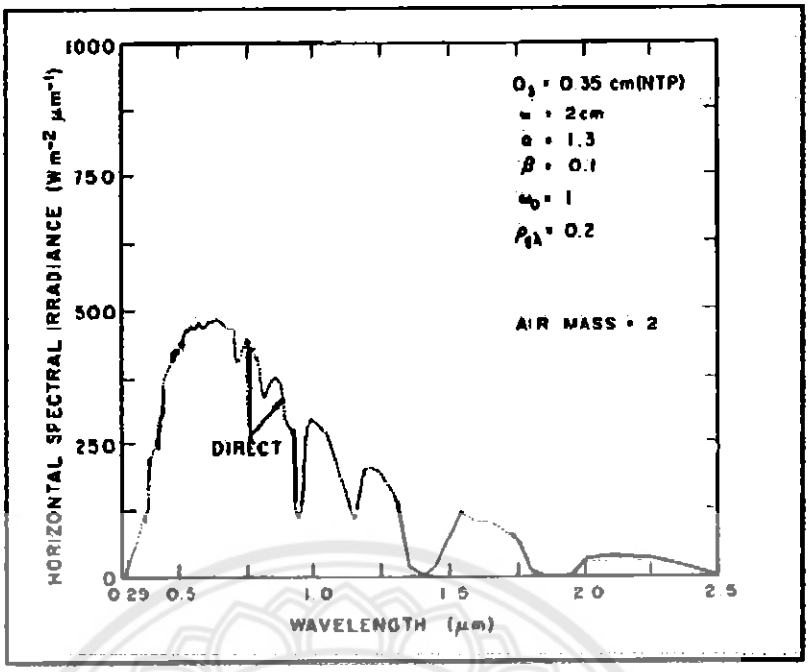
ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ โดยจะเป็นส่วนที่ตาของมนุษย์สามารถรับรู้ได้ โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.38 – 0.77 μm ที่นอกบรรยากาศส่วนแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนนี้จะมีความเข้มสูง ซึ่งสังเกตได้จากสเปคตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก



กราฟที่ 2.2 แสดงสเปคตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

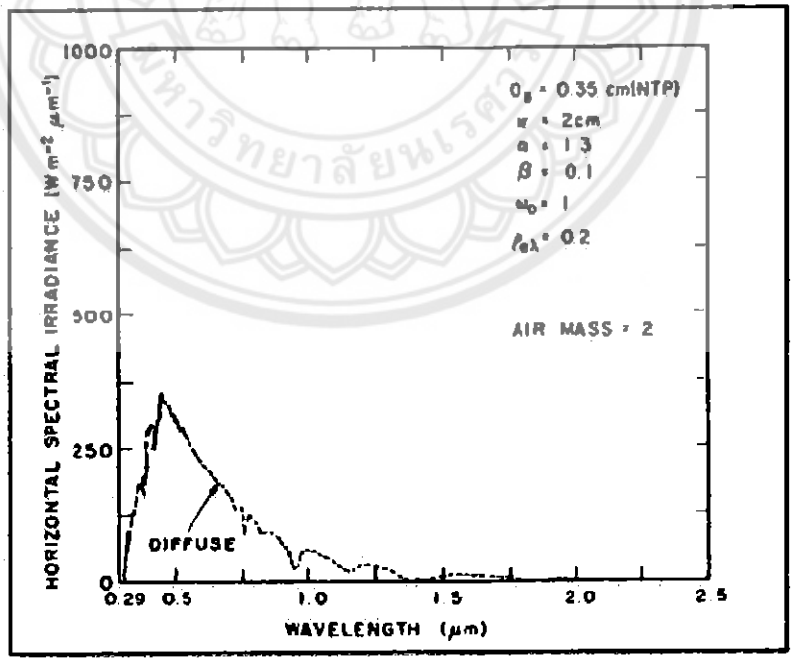
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, **แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร:** บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 8

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านมายังพื้นผิวโลก จะถูกโมเลกุลอากาศ **ฝุ่นละออง** (aerosol) **และเมฆดูดกลืน** (absorb) และการกระเจิง (scatter) ส่วนที่ถูกกระเจิงจะทำ**ให้เกิดรังสีกระจาย** (diffuse radiation) ผลรวมของรังสีทั้งสองจะเรียกว่า รังสีรวม (global radiation) **สเปคตรัมของรังสีตรง รังสีกระจาย** และรังสีรวม ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ จะขึ้นอยู่กับ**องค์ประกอบของบรรยากาศ**ที่สำคัญ ได้แก่ โอโซน (ozone) ไอน้ำ ฝุ่นละออง และก๊าซต่างๆ นอกจาก**นี้ยังขึ้นอยู่กับมวลอากาศ** (air mass) ที่รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่าน ภาพแสดง สเปคตรัม**รังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม** ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ดังนี้



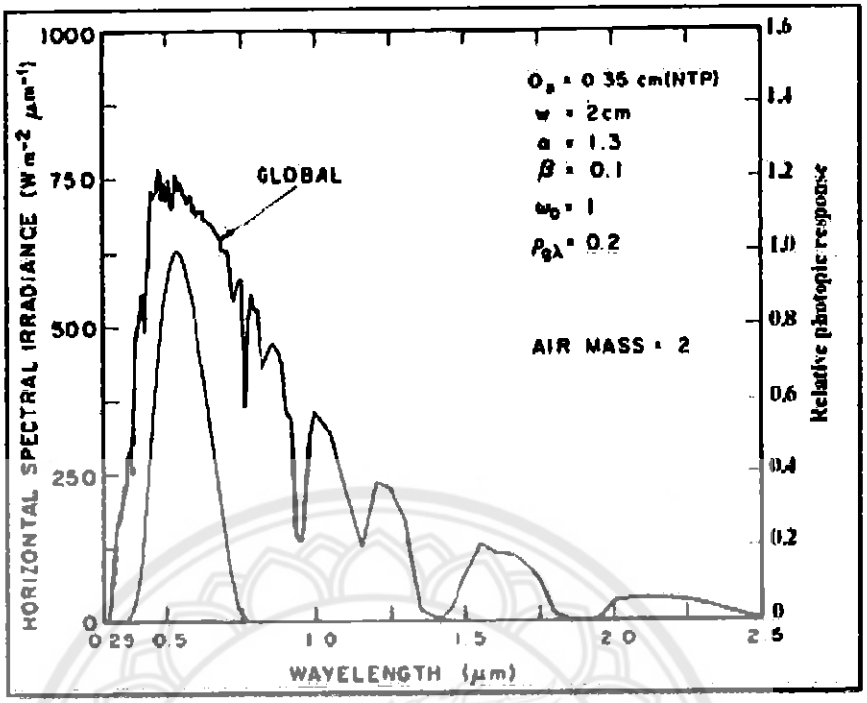
กราฟที่ 2.3 แสดงสเปคตรัมรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, **แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 9**



กราฟที่ 2.4 แสดงสเปคตรัมรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

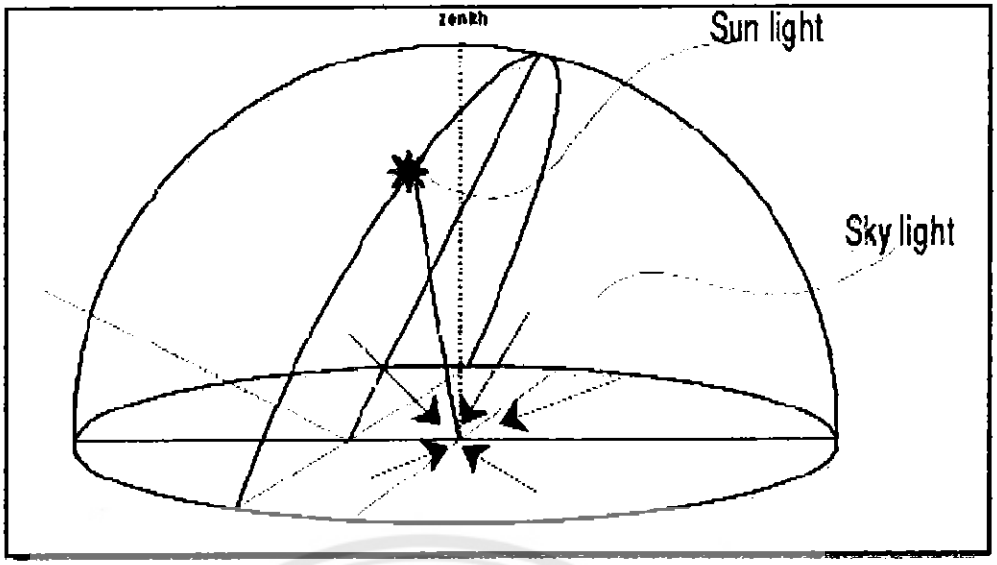
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 10



กราฟที่ 2.5 แสดงสเปคตรัมรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 11

ส่วนสเปคตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่สายตามนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ได้จะเรียกว่า แสงสว่างธรรมชาติ (Daylight) ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ แสงดวงอาทิตย์ (direct light) และแสงกระจายท้องฟ้า (diffuse light) แสงตรงจากดวงอาทิตย์จะเป็นส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศของโลกมายังตำแหน่งที่พิจารณา ส่วนแสงกระจายจากท้องฟ้าจะเป็นแสงที่เกิดจากการกระเจิง (scattering) ของแสงตรงจากดวงอาทิตย์โดยโมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆ



รูปที่ 2.7 แสดงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct light) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light)

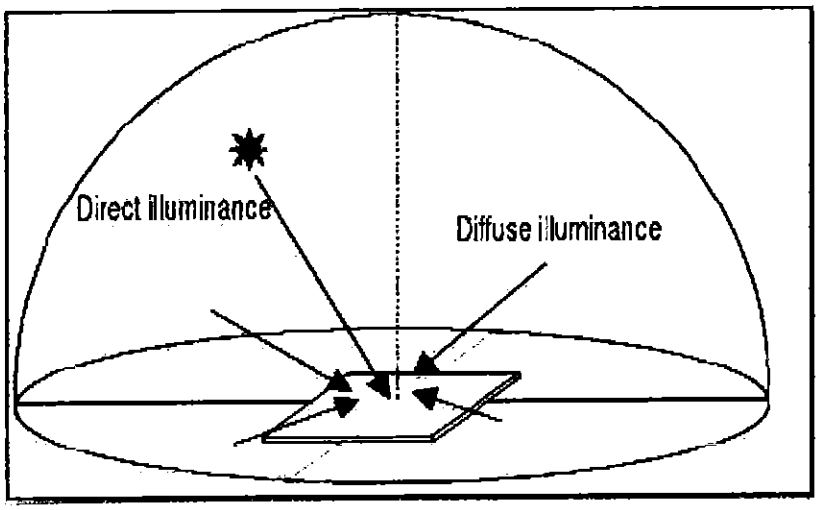
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 12

เมื่อแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้าตกกระทบพื้นดิน ต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างต่างๆจะมีการสะท้อน ซึ่งแสดงว่าส่วนนี้ยังคงเป็นแสงสว่างธรรมชาติอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า แสงธรรมชาติซึ่งสะท้อนจากผิวโลก

1.3.2.ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

1. Direct Illuminance และ Diffuse Illuminance

Illuminance เป็นปริมาณของแสงสว่างในรูปของฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยถ้าเป็นฟลักซ์ของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ จะเรียกว่า direct illuminance หรือ beam illuminance กรณีที่เป็นฟลักซ์ของแสงกระจายจากท้องฟ้า จะเรียกว่า diffuse illuminance และเรียกผลรวมของปริมาณทั้งสองว่า global illuminance

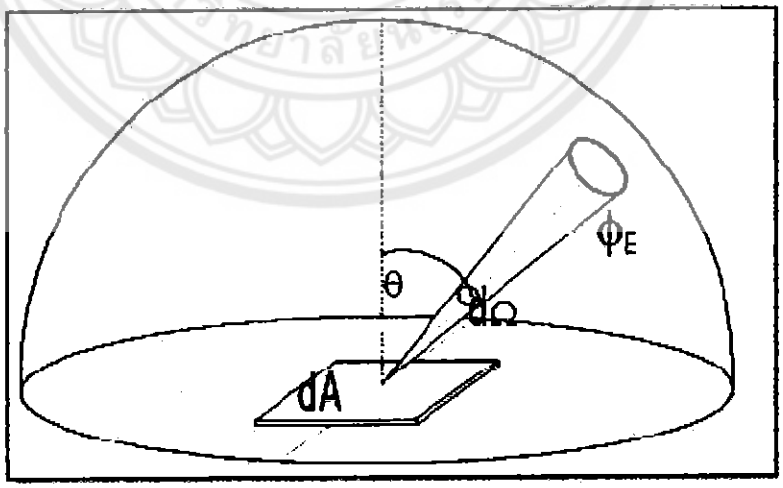


รูปที่ 2.8 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ direct Illuminance และ Diffuse Illuminance

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 13

2. Sky luminance

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินผ่านบรรยากาศของโลกจะถูกกระเจิงโดยโมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆ เกิดเป็นรังสีกระจาย ซึ่งตามนุษย์สามารถรับรู้ได้ในรูปของความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆของท้องฟ้า หรือ Sky luminance ดังรูป



รูปที่ 2.9 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆของท้องฟ้า หรือ Sky luminance

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, แผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร: บริษัทจิรังโชติ จำกัด, 2547), 14

โดยทั่วไปสภาพท้องฟ้าแบบหนึ่งและดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆของท้องฟ้าจะมีค่าขึ้นอยู่กับระยะห่างเชิงมุม (angular distance) ระหว่างจุดๆนั้นกับดวงอาทิตย์และมุมเซนิทของจุดๆนั้น

2.2 กลุ่มทฤษฎีเรื่องแสงธรรมชาติ

2.2.1 แสงธรรมชาติ (Daylighting)

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

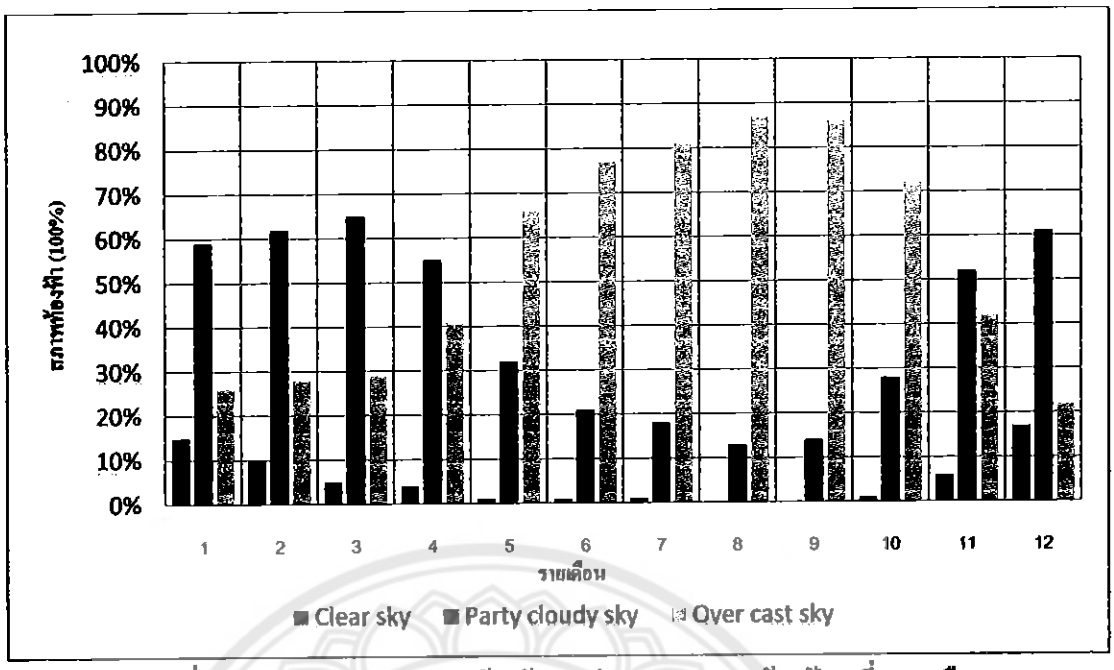
เมื่อพิจารณาจากสภาพที่ตั้งของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น (Tropical zone) ทำให้มีปริมาณแสงสว่างที่จ้าเกือบตลอดทั้งปีโดยปกติแล้วปริมาณแสงแดดตรงนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณความส่องสว่าง หากปริมาณของแสงแดดตรงมาก ปริมาณความส่องสว่างก็จะมีค่ามากเช่นกัน การนำแสงธรรมชาติไปใช้ในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพต้องทำการป้องกันแสงแดดตรงที่ส่งผลให้เกิดความร้อนและแสงบาดตา ควรใช้เพียงความส่องสว่างจากแสงกระจาย

2.2.2 สภาพท้องฟ้า (Sky condition)

ปริมาณแสงสว่างและความจ้าของท้องฟ้าจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลาเป็นผลจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ ปริมาณเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น ไอน้ำ โดยจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยสามารถแบ่งท้องฟ้าออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky) สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Party cloudy sky) และสภาพท้องฟ้า เมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky)

1. สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky)

ความสว่างของท้องฟ้าจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ความสว่างจากแสงอาทิตย์ (Direct sun) และความสว่างจากการกระจายแสง (Diffuse luminance) ของท้องฟ้า โดยองค์ประกอบทั้งสองนี้จะแปรผันตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar altitude) เป็นหลัก ความสว่างของท้องฟ้าจะมีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งที่ระดับสูงสุดของท้องฟ้าจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าที่ระดับล่างของท้องฟ้า โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นเป็น 3 เท่า ที่ระดับระนาบล่างสุดของท้องฟ้าและท้องฟ้าประเภทนี้จะมีความสว่างสูงสุด ณ ตำแหน่งตรงกับดวงอาทิตย์ และมีความสว่างต่ำสุดที่ตำแหน่งตรงข้ามกับดวงอาทิตย์



กราฟที่ 2.6 แสดงแผนภูมิสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยรายเดือน

ที่มา : ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, "ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร" (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 15

2. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Party cloudy sky)

การพิจารณาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้ทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Dynamic) สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Party cloudy sky) 10-15 % ซึ่งปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการที่แสงจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบก้อนเมฆและสะท้อนไปมาระหว่างก้อน ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570A$$

เมื่อ E_{HP} = ความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบ ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปก คลุมบางส่วน มีหน่วยเป็น Klux

A = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) ของดวงอาทิตย์

ถึงแม้ว่าท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนจะให้ปริมาณของแสงสว่างมากกว่าท้องฟ้าโปร่ง แต่ในบางกรณีหากกลุ่มเมฆฝนหรือกลุ่มเมฆที่มีสีดำทึบก็อาจทำให้แสงถูกกั้น หรือถูกดูดซึมมากกว่าที่จะสะท้อนหรือเกิดการกระจายของแสงทำให้ค่าความสว่างของท้องฟ้ามีค่าลดลง และจากการศึกษาโดยอาศัยดัชนีของเมฆ (Cloud Ratio) มาพิจารณาหาความสัมพันธ์ของการส่งสว่างของท้องฟ้าที่

เกิดจากแสงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้าจะมีความสัมพันธ์ของความสว่างเฉลี่ยของระนาบนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_H = 0.35Es + 0.89Ec$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วยเป็น lux

Es = ความส่องสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

Ec = ความส่องสว่างที่ได้จากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์

3. สภาพท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky)

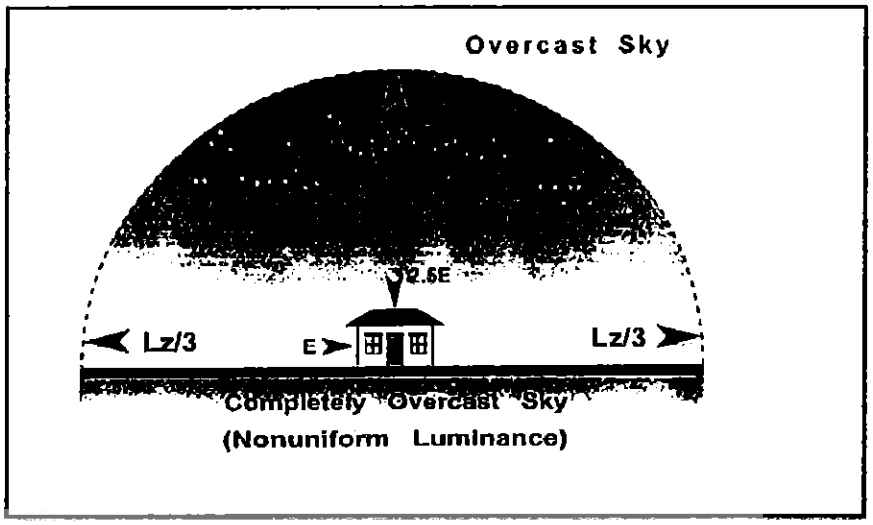
ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้าในแถบสแกนิเนเวียและตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิกเช่น ประเทศอังกฤษ ความสว่างของสภาพท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky) จะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก โดยความสว่างจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้าเมื่อพิจารณาระนาบพื้น (Horizon-Brightness) ความสว่างจะเพิ่มขึ้นจนระดับสูงสุดของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบซึ่งจะมีค่ามากกว่าความสว่างที่ระนาบพื้นประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดใดๆพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณามุมอัลซิมุท ของดวงอาทิตย์โดยอธิบายเป็นสมาการดังนี้

$$L_A = \frac{L_2(1 + 2\sin A)}{3}$$

เมื่อ L_A = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศาเหนือแนวระนาบในทุกทิศทาง

L_Z = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ระดับสูงสุด ที่ระดับเซนิท (Zenith)

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



รูปที่ 2.10 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky

ที่มา: อวิรุทธิ์ อุรุพงศา,"การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียนชนบท" (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544), 16

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ จะแปรเปลี่ยนไปตามมุมอัลติจุดของดวงอาทิตย์ แต่ก็ยังมีท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบอีกในลักษณะหนึ่งที่มีความสว่างของท้องฟ้าที่เท่ากันทั่วทั้งท้องฟ้าและทุกระดับความสูง (Uniform Brightness) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่ (Uniform sky) ซึ่งเป็นท้องฟ้าในอุดมคติ โดยความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบจะมีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นที่ผิวในแนวตั้ง ซึ่งอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21000 \sin A$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนมีหน่วยเป็นลักซ์

A = มุมอัลติจุดดวงอาทิตย์

2.3 ลักษณะของช่องเปิดที่มีผลกับแสงสว่างธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร

2.3.1. การให้แสงสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติ

ในการพิจารณาระดับความสว่างในอาคารอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติ สามารถแยกพิจารณาออกเป็นสองแนวทาง คือ

1. การพิจารณาค่าความส่องสว่างรวม (Absolute illuminance) เป็นการพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคาร ณ ตำแหน่งต่างๆ ในความสูงที่กำหนดจากระดับพื้นห้องนั้น โดยวัด

ค่าความสว่างออกมาเป็นปริมาณต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นลักซ์ซึ่งค่าของความสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับเวลา ทิศทางช่องรับแสงและสภาพของท้องฟ้า

2. การพิจารณาโดยอาศัยอัตราส่วนของระดับความสว่างภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative illuminance) ภายใต้เมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky) ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) มีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาหรือทิศทางการเปิดช่องแสงหากแยกการพิจารณาวิธีการวิเคราะห์ การให้แสงสว่างภายในอาคาร โดยการใช้แสงธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ Lumen Method, Daylight Factor Method และ Flux Transfer Method ซึ่งในการศึกษานี้จะกล่าวถึงเพียงวิธี Daylight Factor Method เท่านั้น

Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาความสว่างในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติ ที่เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่าง และปริมาณความเข้มของแสงภายนอกจากนั้นยังขึ้นกับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่ (Altitude และAzimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติโดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบ ได้แก่

1.องค์ประกอบท้องฟ้า (Sky component, SC) โดยสภาพของท้องฟ้าจะเห็นได้ว่าเกิดขึ้นได้หลากหลายสภาพ เช่นท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ (Clear sky) หรือที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (Completely overcast sky) เหล่านี้มีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น

2.องค์ประกอบภายนอก (Externally Reflected Component, ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียงแสงส่องผ่านเข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวสะท้อนนั้นๆ

3.องค์ประกอบภายในเป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่ตั้งอยู่ภายในอาคารโดยได้รับแสง SC และ ERC และปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE, IES, และ BS ตามประเภทการใช้งาน

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES	BS
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500	750W
ห้องเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	750W
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500	500W
ร้านค้าในอาคารพาณิชย์	500-750	500-750-1000	500W
เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	200W
ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องล็อบบี้หรือบริเวณต้อนรับ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	150S
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200	100S
บันได	100-150-200	100-150-200	150F
ลิฟต์	100-150-200	100-150-200	150F

ที่มา : (http://1.bp.blogspot.com/_dSZirkrLrk/StDm6Qe1a5I/AAAAAAAAAGA/GTTKFtIIQ8c/s1600-h/untitled2.JPG)

2.3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติ

การให้แสงธรรมชาติในตัวอาคารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างอย่างมีคุณภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วยังช่วยให้เกิดความมีชีวิตชีวา เทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในตัวอาคารจำแนกตามทิศทางได้ 2 รูปแบบ แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร (Side lighting) และแสงธรรมชาติจากด้านบนของอาคาร (top lighting) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะทำการศึกษาเฉพาะการให้แสงธรรมชาติจากทางด้านข้างของอาคาร

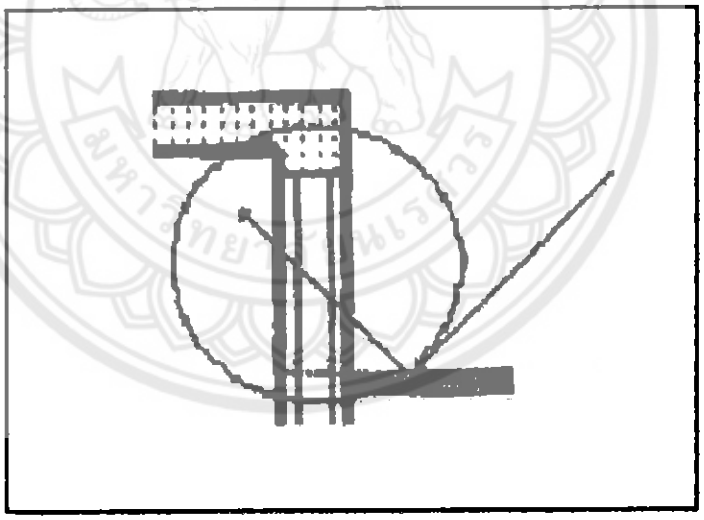
แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร (Side lighting) เป็นแสงที่ผ่านเข้ามาจากแหล่งกำเนิดแสงที่มาได้หลายแหล่ง เช่น แสงจากท้องฟ้า (SC) แสงจากพื้นดินภายนอกที่เป็นตัวสะท้อนแสง (ERC) และ การสะท้อน แสงภายในอาคาร (IRE) จากการศึกษาพบว่า ข้อดีช่วยสร้างทัศนะที่ดีเหมาะแก่การทำงาน แต่ยังมีข้อเสียเนื่องจากหน้าต่างหรือช่องเปิดประเภทนี้อยู่ในตำแหน่งที่คน

ทั่วไปสามารถทนต่อความจ้าเมื่อมองในการใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องใช้กระจกของช่องแสงที่ตัดแสงได้มีค่า (SC) ต่ำ เพื่อให้เกิดการสบายตาในการมองออกสู่ภายนอก แต่จะส่งผลให้แสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งานระยะเพียง 2-3 เมตรซึ่งการนำแสงเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่า

2.3.3 การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในการออกแบบ

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในการออกแบบต้องคำนึงถึงรูปแบบของแสงธรรมชาติ 3 รูปแบบ คือความไม่สม่ำเสมอของแสงธรรมชาติ การหลีกเลี่ยงแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์และผนังด้านนอกเท่านั้นที่จะได้รับแสง ซึ่งการพยายามในการแก้ปัญหาจากข้อจำกัดทั้ง 3 ข้อ ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ดังนี้

1. หิ้งห้อยสะท้อนแสง (Light shelves) แสงธรรมชาติจากทางด้านข้างส่วนใหญ่จะผ่านเข้าอาคารทางหน้าต่างและปริมาณแสงจะลดลงเมื่อห่างออกจากหน้าต่าง ในเขตที่มีแสงมากผนังกันแดดสามารถที่จะสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้มากขึ้น หิ้งห้อยสะท้อนแสงจึงได้พัฒนามาจากแนวคิดนี้โดยใช้แผงสะท้อนแสงที่ผิวสะท้อนแสงด้านบนสะท้อนแสงจากภายนอกสู่ภายในอาคาร ซึ่งปกติจะติดตั้งหิ้งห้อยสะท้อนแสงที่ความสูง 2/3 ของความสูงหน้าต่างซึ่งจะสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังฝ้าเพดาน และกระจายไปยังพื้นต่างไปบนพื้นห้อง



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะหิ้งห้อยสะท้อนแสง

ที่มา: Andras Majoros, Daylighting (Queensland: University of Queenland Printery, 1998), 17

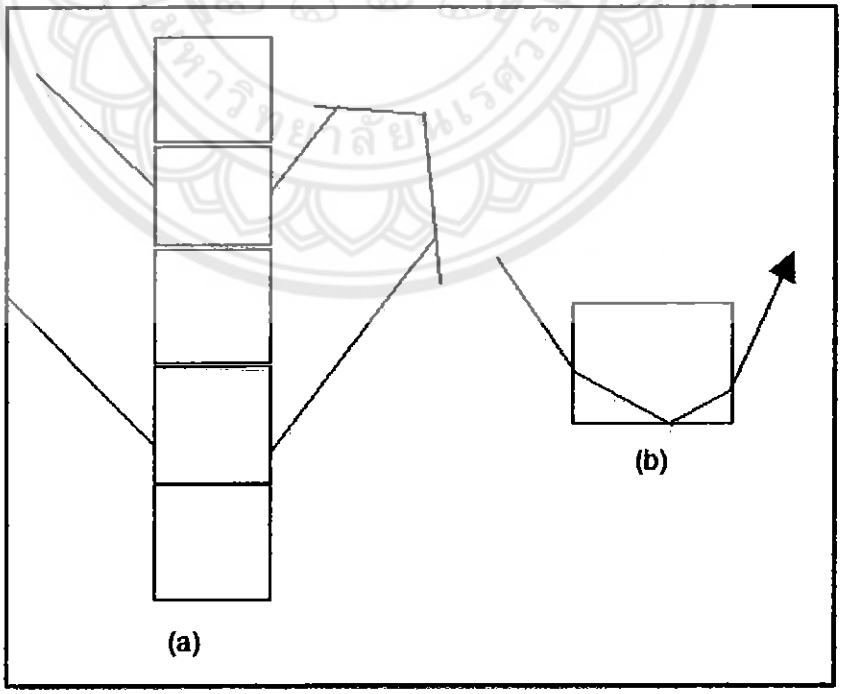
2. บานเกร็ดสะท้อนแสงใช้หลักการสะท้อนแสงโดย ใช้แผงสะท้อนแสงขนาดเล็กหลายตัวช่วยในการสะท้อนแสงซึ่งอาจทำการติดตั้งแบบตายตัว หรือติดตั้งแบบสามารถปรับมุมได้โดยการใช้คนหรือโปรแกรมอิเล็กโทรนิคในการปรับมุมซึ่งผลการสะท้อนแสงที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับหิ้งห้อยสะท้อนแสง (Light shelves) ในแง่ของการสะท้อนซึ่งจะทำให้การสะท้อนแสงจากภายนอกผ่านบานเกร็ดสะท้อนแสงไปยังฝ้าเพดานภายในห้องแต่บานเกร็ดสะท้อนแสงจะให้

คุณภาพแสงที่ดีกว่าเนื่องจากใช้หิ่งห้อยสะท้อนแสงหลายตัวในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในตัวอาคาร

3. ปริซึม (Prismatic glazing) ปริซึมจะนำแสงเข้าสู่อาคารโดยการสะท้อนแสง ปริซึมโดยทั่วไปจะเป็นรูปสามเหลี่ยมแต่ปริซึมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะหักเหผ่านด้านที่บางของปริซึมซึ่งจะให้การสะท้อนแสงที่ดีกว่า (Prismatic glazing) เป็นแผ่นที่มีช่องเป็นรูปปริซึมซึ่งช่องทางด้านแคบของปริซึม โดยทั่วไปด้านหนึ่งผิวจะเรียบส่วนอีกด้านหนึ่งผิวจะไม่เรียบแผ่นปริซึมนี้สามารถที่จะใส่ไว้ระหว่างแผ่นกระจกของกระจกสองชั้นโดยส่วนใหญ่จะใส่ไว้ส่วนบนประมาณ 1/3 ของความสูงหน้าต่างซึ่งแสงที่สะท้อนเข้าสู่ภายในห้อง จะมีลักษณะคล้ายหิ่งห้อยสะท้อนแสง คือแสงจะสะท้อนจากภายนอกเข้าสู่ฝ้าเพดานภายในอาคารและกระจายเข้าสู่ภายในห้อง

4. ระบบท่อนำแสง (Light pipe) ระบบท่อนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์, ท่อนำแสงซึ่งระบบนี้เหมาะกับพื้นที่แคบลึก โดยระบบท่อนำแสงนี้จะใช้การสะท้อนแสงของกระจกเพื่อสะท้อนแสงเข้าสู่ท่อนำแสงและกระจายสู่พื้นห้องซึ่งสามารถมีได้มากกว่า 1 จุด

5. Laser cut penis คือแผ่นอะคริลิกใสแผ่นบางๆสามารถที่จะเปลี่ยนทิศทางการสะท้อนแสงโดยใช้เลเซอร์ตัดผ่าน ทำให้สามารถสะท้อนแสงได้ 2 ทิศทางซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าปริซึมหรือหิ่งห้อยสะท้อนแสงแผ่นอะคริลิกนี้สามารถทำให้บางได้ถึง 3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถนำมาใส่ระหว่างแผ่นกระจกได้



รูปที่ 2.12 แสดงการสะท้อนแสงของแผ่นอะคริลิกใส (a)
การสะท้อนแสงของแผ่นอะคริลิกใสที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ (b)

ที่มา : Andras Majoros, Daylighting (Queensland: University of Queensland Printery, 1998), 18

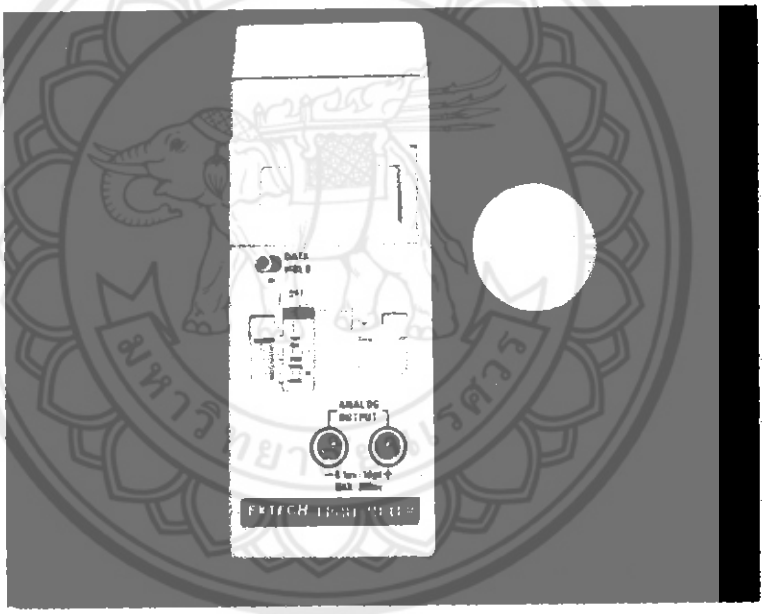
บทที่ 3
การดำเนินการทดลอง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการทดลองนี้ได้ใช้อุปกรณ์ ดังนี้

- ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter) ยี่ห้อ EXTECH instruments รุ่น L627688 โดยเครื่องมือวัดชนิดนี้ใช้วัดความสว่างที่มีช่วงระหว่าง 0 - 5,000,000 Lux โดยใช้วัดความสว่างจากกล่องทดลองที่ใช้การทดลองเกี่ยวกับปริมาณแสงสว่างของท่อนำแสง



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัด (Lux Meter)

- Model ระบบท่อนำแสง

กล่องทดลองที่ใช้ในการทดลองระบบท่อนำแสงมีลักษณะดังนี้เป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 0.60 เมตร เนื่องจากใช้มาตราส่วน 1: 3 ซึ่งเทียบมาจากระยะห่างระหว่างพื้นที่ใช้งานคือ ระยะ 180 เซนติเมตร โดยเทียบความสูงห้องจากพื้นถึงฝ้าเพดานจากพระราชบัญญัติควบคุมอาคารปี พ.ศ. 2543 อาคารประเภทพักอาศัย

รูปที่ 3.2 แสดงกล่องทดลองทึบแสงเมื่อประกอบกับท่อนำแสง

ผนังกล่องทั้ง 6 ด้านทำด้วยฟิวเจอร์บอร์ดปิดด้วยกระดาษเพื่อป้องกันมิให้แสงเข้ามาในกล่อง ส่วนด้านบนเปิดเป็นช่องว่างรับแสงขนาดกว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เพื่อนำท่อนำแสงมาต่อ

3.1.2 ระบบท่อนำแสง

วัสดุส่วนใหญ่ในการทำท่อนำแสงใช้กระจกเงา มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ 95%-100% ทำให้การสะท้อนแสง แสงที่มาตกกระทบกับพื้นผิวกระจกเงาจะสะท้อนกลับมีลักษณะเป็นเส้นตรงจึงสามารถกำหนดทิศทางการสะท้อนได้ง่าย

3.1.3 กระจกเงา

เป็นวัสดุที่สำคัญมากที่สุดสำหรับการใช้งาน ในกลุ่มของวัสดุที่มีพื้นผิวเรียบสะท้อนแสง ทั้งนี้กระจกเงามีคุณสมบัติ ที่เด่นหลายประการ

1.การสะท้อนของแสงบนกระจกเงา จะทำให้รังสีตกกระทบและรังสีสะท้อนมีมุมเท่ากันเสมอ

2.ไม่เป็นรอยขีดข่วน

3.ไม่เป็นสนิมและการผุกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดีมาก

4.หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด และราคาไม่แพงมากนัก

15516043
ส/ร.
ว 152 ก.
2553

ข้อจำกัดในการสร้างท่อนำแสง

1.กระจกเงาไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้จึงอาศัยท่ออะลูมิเนียมมาขึ้นรูปเป็นโครงสร้างในการทำท่อนำแสง

2.กระจกเงาไม่ทนต่อความรุนแรง เสี่ยงต่อการแตกง่ายหากไม่ระมัดระวังและหากมีฝุ่นละอองมาจับพื้นผิวกระจกอาจมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการนำแสงลดลง

บทที่ 4
ขั้นตอนการดำเนินการ

4.1. การออกแบบและการสร้างท่อนำแสง

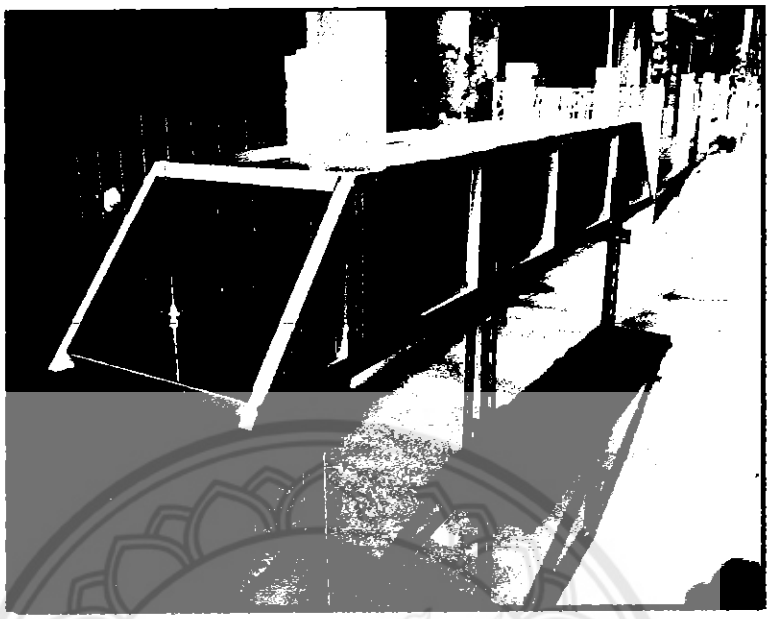
4.1.1. การสร้างท่อนำแสง

การสร้างท่อนำแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์มีขั้นตอนการทำงานต่างๆดังต่อไปนี้

1. ออกแบบโครงสร้างของท่อนำแสงโดยใช้อะลูมิเนียมกล่องสี่เหลี่ยมตัดและประกอบกันให้เป็นรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยม พื้นที่หน้าตัด 0.1 m^2 ยาว 2 m.
2. ตัดและประกอบกระจกเงาเข้ากับโครงสร้างอะลูมิเนียมที่ประกอบเตรียมไว้
3. ทำขาตั้งของท่อนำแสงเพื่อยกความสูงของท่อนำแสงขึ้นเป็นระยะ 1 เมตร โดยใช้เหล็กฉาก ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงขาตั้งของท่อนำแสง ที่ระยะสูง 1 เมตร

4. ยกท่อนำแสงที่ประกอบเสร็จแล้ว ขึ้นมาวางบนขาตั้งที่ประกอบเตรียมไว้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างของท่อนำแสงที่ประกอบกับชุดขาตั้ง

4.2 การทดลอง

4.2.1. วัตถุประสงค์ในการทดลอง

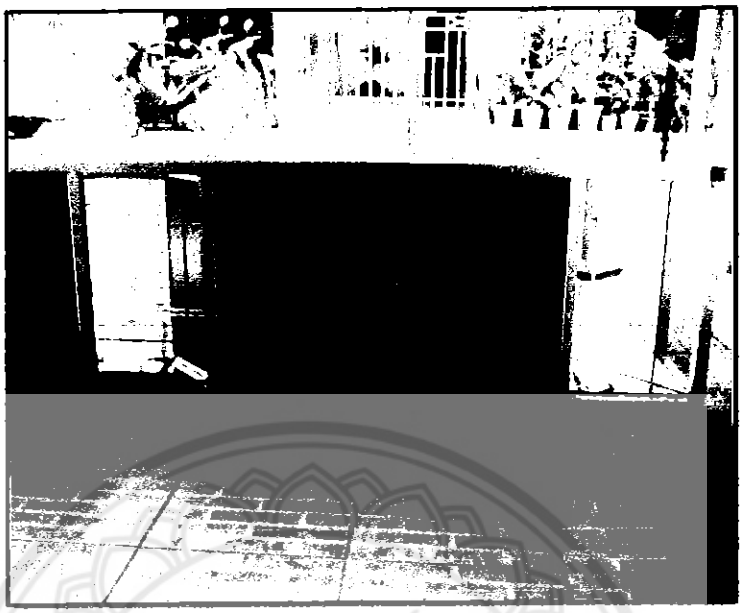
เพื่อศึกษาหาค่าความส่องสว่างและประสิทธิภาพของท่อนำแสงจาก**แสงอาทิตย์ ในช่วงเวลา** 9.00 – 16.00น.

4.2.2. เงื่อนไขในการทดลอง

1. ตั้งชุดทดลองท่อนำแสงโดยหันจุดรับแสงของท่อนำแสงไปทางทิศใต้
2. ทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 9.00 – 16.00น.

4.2.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดท่อนำแสงอาทิตย์ แสดงดังรูป 4.3



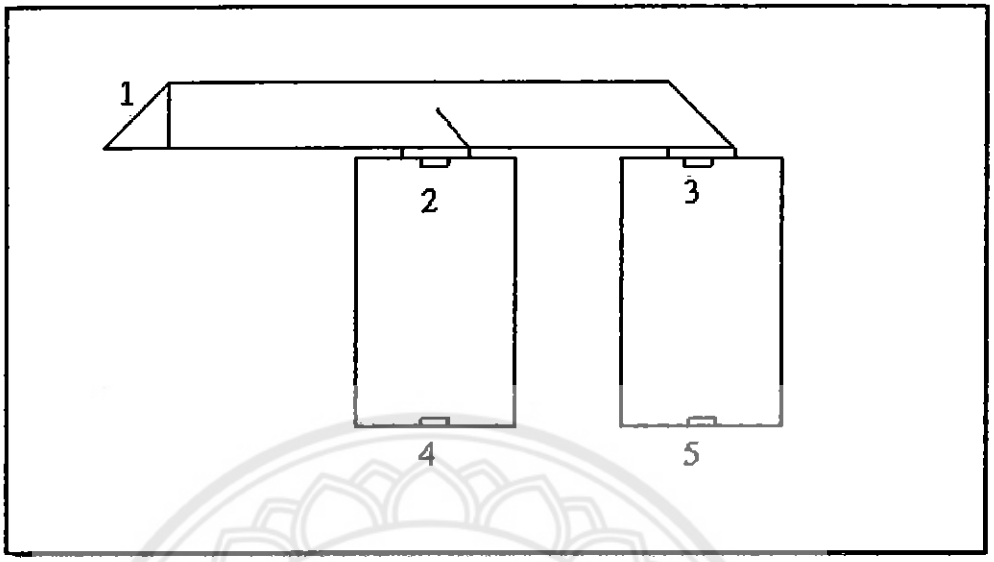
รูปที่ 4.3 แสดงชุดท่อนำแสง

2. เครื่องมือวัดความส่องสว่างของแสง (Lux Meter) ยี่ห้อ EXTECH instruments รุ่นที่ L627688

รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องมือวัดความส่องสว่าง (Lux meter)

4.2.4. วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งและหันหน้าของท่อนำแสงไปทางทิศใต้ และต้องอยู่ในระนาบเดียวกับพื้นโลก



รูปที่ 4.5 แสดงการบอกตำแหน่งของจุดต่างๆในการวัดค่าความสว่างของท่อนำแสง

ชื่อและตำแหน่งในการวัดความส่องสว่าง

ตำแหน่งที่ 1 คือ จุดวัดความส่องสว่างที่ตำแหน่งจุดรับแสงของท่อนำแสง
ตำแหน่งที่ 2 คือ จุดปล่อยแสงที่ห่างจากตำแหน่งที่ 1 เป็นระยะ 1 เมตร
ตำแหน่งที่ 3 คือ จุดปล่อยแสงที่ห่างจากตำแหน่งที่ 1 เป็นระยะ 2 เมตร
ตำแหน่งที่ 4 คือ จุดที่วัดค่าความส่องสว่างเทียบกับพื้น ห่างตำแหน่งที่ 2 เป็นระยะ 1 เมตร
ตำแหน่งที่ 5 คือ จุดที่วัดค่าความส่องสว่างเทียบกับพื้น ห่างตำแหน่งที่ 3 เป็นระยะ 1 เมตร

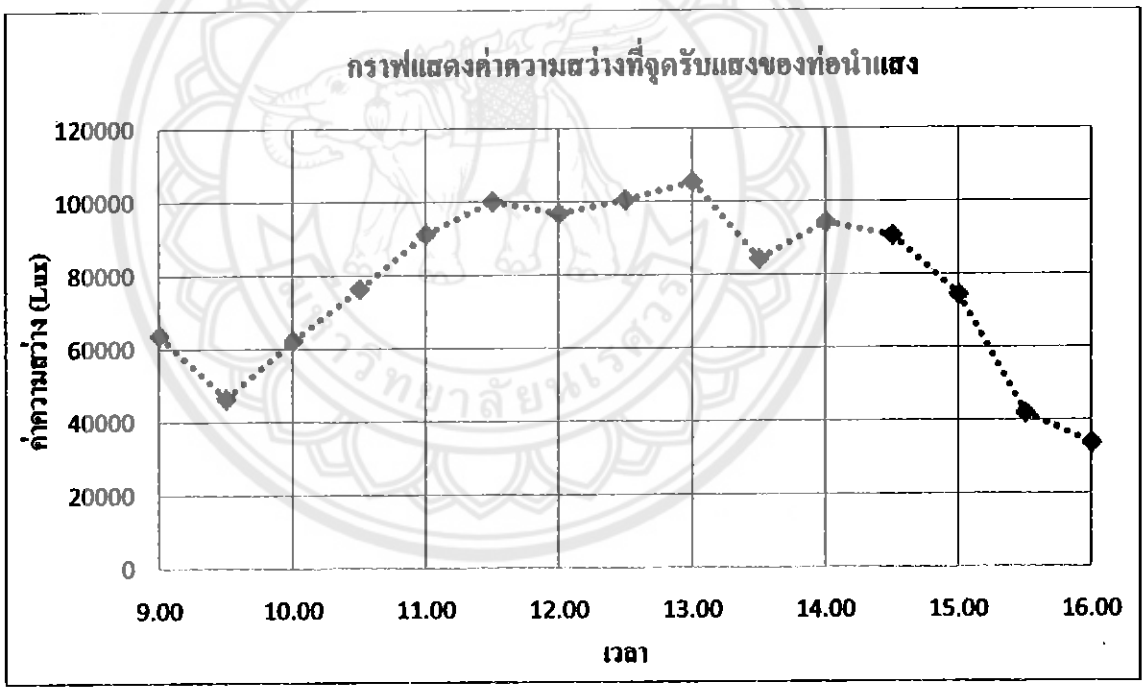
2. เริ่มทำการทดสอบและบันทึกค่าที่ได้ โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความส่องสว่าง (Lux meter)
3. ใช้เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux meter) วัดค่าความส่องสว่างทั้ง 5 ตำแหน่ง ทุกๆ 30 นาที
4. ทำการทดสอบ 5 วัน โดยทำตามวิธีการทดสอบ ดังกล่าว
5. นำผลการวัดที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเวลา ในแต่ละวัน

บทที่ 5
การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การทดสอบความส่องสว่างของท่อนำแสงระหว่างวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 ถึงวันที่ 3 มีนาคม 2554 เฉพาะในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส โดยตั้งชุดทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลที่บริเวณลานคอนกรีตหมู่บ้าน แกรนด์โฮม เพื่อทดสอบค่าความสว่างของท่อนำแสง โดยทำการวิเคราะห์จากค่าความสว่างเฉลี่ยในแต่ละวัน

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่จุดรับแสง

จากตารางบันทึกการทดลอง (ภาคผนวก ตาราง ก. 21) นำมาเขียนเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ดังกราฟ 5.1



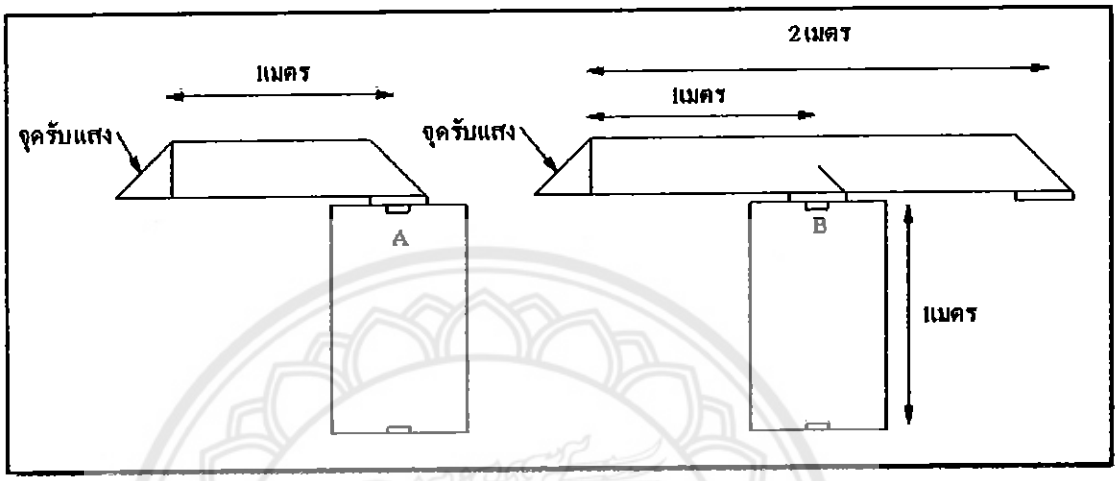
กราฟที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาที่จุดรับแสง

จากกราฟ แสดงค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่จุดรับแสงเทียบกับเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสว่างจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 09.00 - 12.00น. และในช่วงเวลา12.00 - 13.00น. เป็นช่วงเวลาที่มีปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 100,828.887 Lux และหลังจากเวลา 13.00น. ปริมาณของแสงสว่างจะค่อยๆลดลงตามเวลาหลังจากเวลา 15.00น. ปริมาณของแสงสว่างจะมีค่าต่ำที่สุด

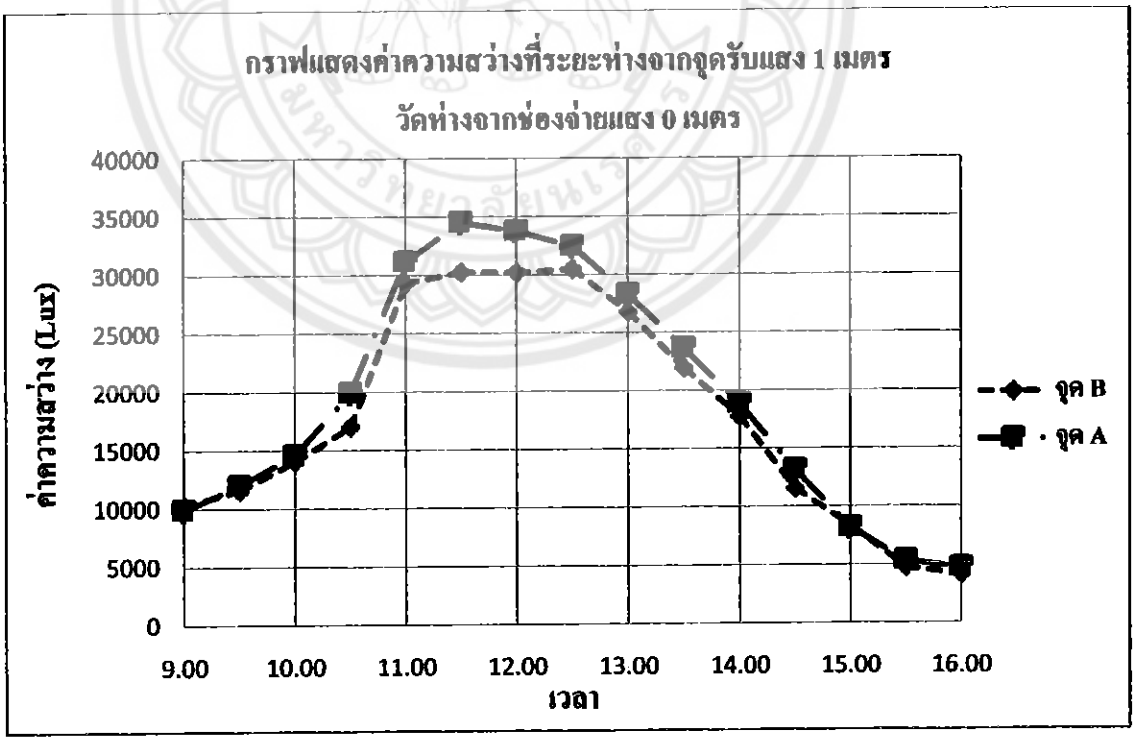
5.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบท่อนำแสงที่ความยาว 1 เมตร

5.2.1 ที่จุดปล่อยแสง

จากตารางบันทึกการทดลอง (ภาคผนวก ตาราง ก. 21 และ ตาราง ก. 25) นำมาเขียนเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ดังกราฟ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง A และ B



กราฟที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลา

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างกับเวลา ที่ระยะ 1 เมตร ของท่อนำแสงแบบ มีความยาว 2 เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร และท่อแบบมีความยาว 1 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตรจุดเดียว สามารถแบ่งช่วงของค่าความส่องสว่างออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 ตั้งแต่เวลา 09.00 - 10.30น.

ช่วงที่ 2 ตั้งแต่เวลา 10.30 - 12.30น.

ช่วงที่ 3 ตั้งแต่เวลา 12.30 - 14.30น.

ช่วงที่ 4 ตั้งแต่เวลา 14.30 - 16.00น.

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่มีปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นไปตามเวลาโดยที่ท่อนำแสงแบบ มีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตรและท่อแบบมีความยาว 1 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรจุดเดียว มีค่าความส่องสว่างที่ใกล้เคียงกัน

ช่วงที่ 2 ในช่วงเวลานี้เป็นช่วงที่มีปริมาณการส่องสว่างของแสงที่มากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ท่อแบบมีความยาว 1 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรจุดเดียว มีค่ามากกว่าชนิด ท่อแบบมีความยาว 2 เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน

ช่วงที่ 3 ในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณการส่องสว่างที่ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ลักษณะของกราฟมีความชันที่สูงและท่อนำแสงชนิดท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตรมีค่าความส่องสว่างที่ต่ำกว่าชนิด ท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร เพียงจุดเดียวและมีอัตราการลดลงที่ใกล้เคียงกัน

ช่วงที่ 4 ช่วงเวลานี้มีค่าการส่องสว่างที่ต่ำที่สุดจึงมีผล ทำให้ท่อนำแสงแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร กับท่อแบบมีความยาว 1 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร เพียงจุดเดียว มีค่าความส่องสว่างที่ไม่ต่างกันมาก

ประสิทธิภาพของท่อนำแสง เมื่อเทียบกับจุดรับแสง ที่เวลา 12.00น.

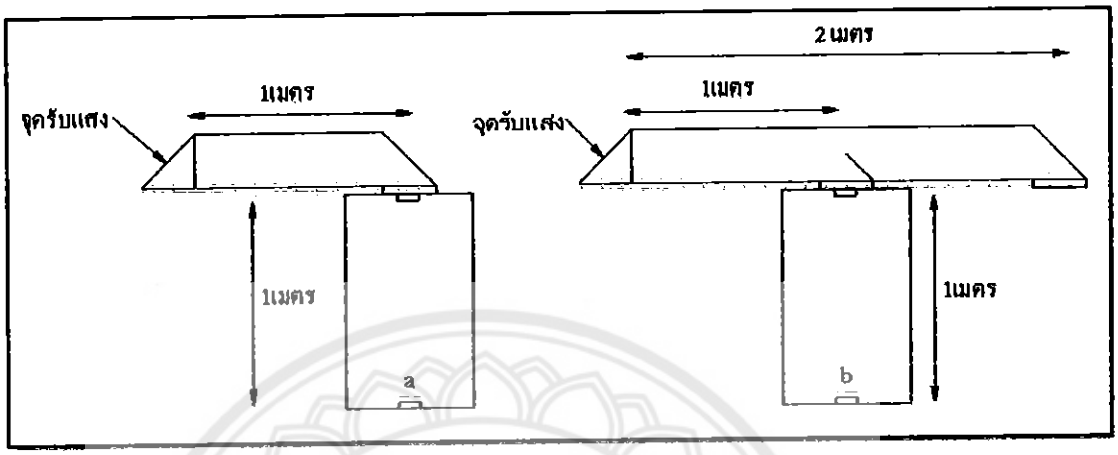
ตำแหน่ง A เท่ากับ 34.890%

ตำแหน่ง B เท่ากับ 31.224%

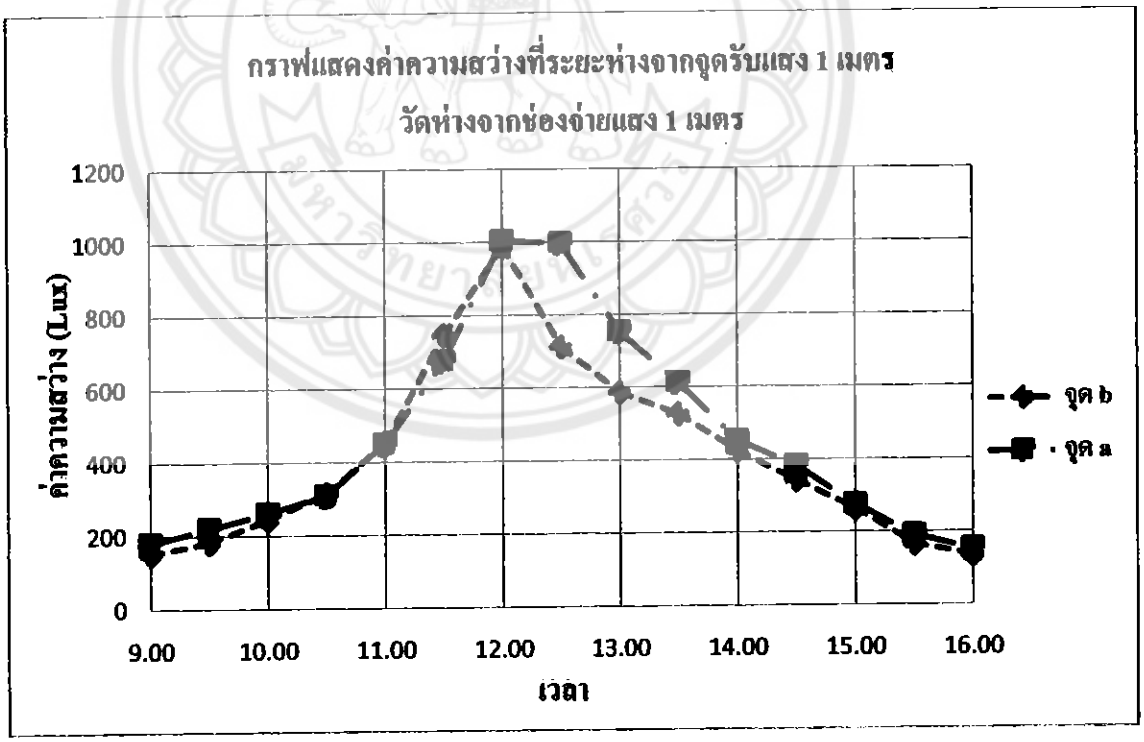
ตำแหน่ง A เท่ากับ 89.481% ของตำแหน่ง B

5.2.2 ที่ระยะห่าง 1 เมตร จากจุดปล่อยแสง

จากตารางบันทึกการทดลอง (ภาคผนวก ตาราง ก. 22 และ ตาราง ก. 26) นำมาเขียนเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ดังกราฟ 5.3



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง a และ b ห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร



กราฟที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาที่ระยะ 1 เมตร ห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร

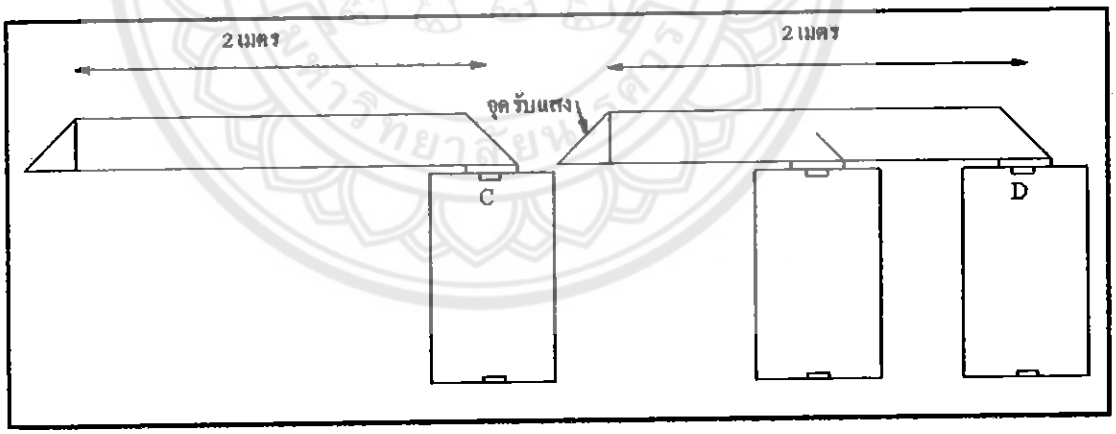
จากกราฟแสดงค่าความส่องสว่างเทียบกับเวลาของท่อนำแสงที่ระยะห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร สามารถแบ่งช่วงความส่องสว่างออกเป็น 3 ช่วงได้แก่ช่วงที่ 1 ตั้งแต่เวลา 09.00 - 11.00น. ช่วงที่ 2 ตั้งแต่เวลา 11.00 - 14.30น. ช่วงที่ 3 ตั้งแต่เวลา 14.30 - 16.00น. เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟช่วงที่1 เริ่มมีการเพิ่มขึ้นของค่าความส่องสว่างตามเวลา ซึ่งจะพบว่าท่อนำแสงที่มีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร ห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร และท่อนำแสงที่มีความยาว 1 เมตร ระยะห่างจากปล่อยแสง 1 เมตร ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่เท่ากันส่วนช่วงที่ 2 เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความส่องสว่างอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากช่วงนี้จะมีปริมาณความส่องสว่างมากที่สุด สังเกตได้จากความชันของกราฟในช่วงเวลา 11.00 -12.00น. เริ่มลดลงในช่วงเวลา 12.00 - 14.30น.

ประสิทธิภาพของแสงที่สามารถนำมาใช้งาน ที่ตำแหน่ง a เทียบกับ ตำแหน่ง b ที่เวลา 12.00น. มีค่าเท่ากับ 98.519%

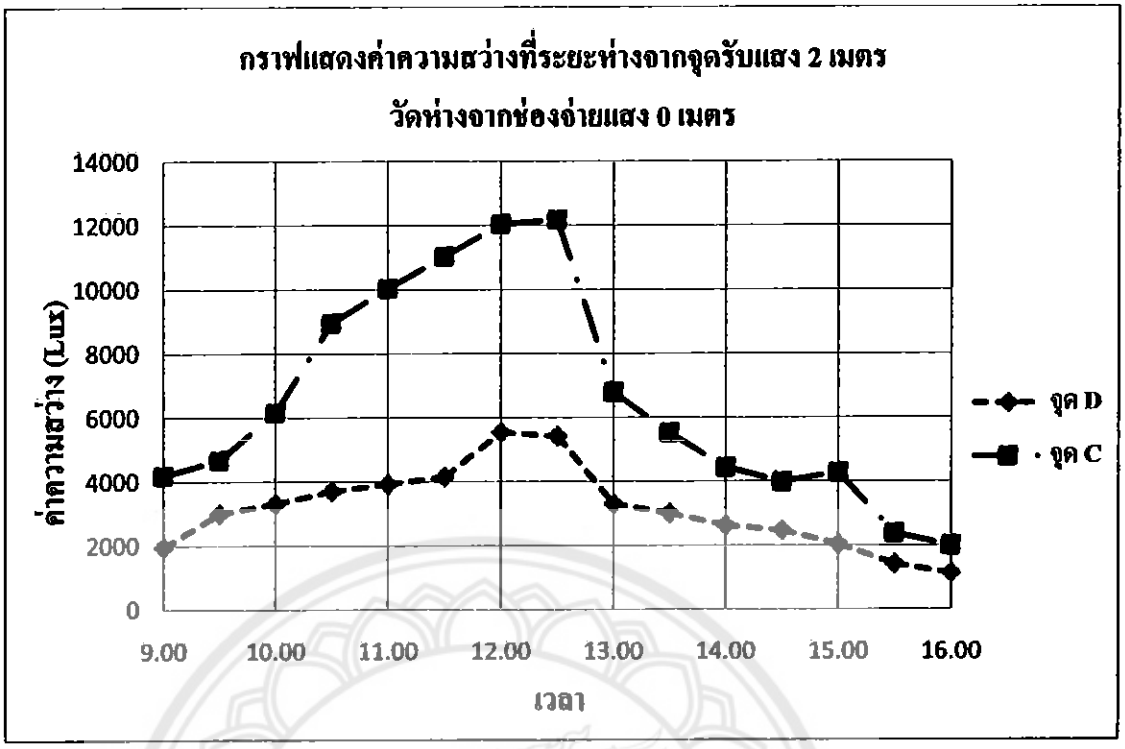
5.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบท่อนำแสงที่ความยาว 2 เมตร

5.3.1 จุดปล่อยแสง

จากตารางบันทึกการทดลอง (ภาคผนวก ตาราง ก. 23 และ ตาราง ก. 27) นำมาเขียนเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ดังกราฟ 5.4



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง C และ D



กราฟที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาที่ระยะ 2 เมตร

จากกราฟสามารถแบ่งช่วงความส่องสว่างออกเป็น 3ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 เวลา 09.00-10.30 น. ช่วงที่ 2 เวลา 10.30-12.30น. ช่วงที่ 3 เวลา 12.30-16.00น. จะเห็นได้ว่าช่วงที่ 2 ตั้งแต่เวลา 10.30-12.30น. เป็นช่วงเวลาที่มีค่าความส่องสว่างสูงที่สุด สำหรับท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตรมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ระยะ 2 เมตร เท่ากับ 4,546.934 Lux และให้ค่าความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 5,541.334 Lux และท่อนำแสงแบบท่อความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตร จุดเดียว มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 10,852.40 Lux ค่าความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 12,185.334 Lux ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวที่ท่อนำแสงแบบ ท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตร จุดเพียงเดียวนั้น เมื่อได้รับการสะท้อนแสงมาจากจุดรับแสงเข้ามาแล้วจะสะท้อนแสงไปยังจุดที่ระยะ 2 เมตร เพียงจุดเดียว แต่ท่อนำแสงแบบท่อความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตรนั้น เมื่อได้รับแสงสว่างเข้ามาแล้วแสงส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกมาที่จุดปล่อยแสงระยะ 1 เมตร และแสงอีกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนไปยังจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตร จึงส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของท่อชนิด ท่อความยาว 2เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตรนำแสงได้มากกว่า 6,305.466 Lux

ประสิทธิภาพของท่อนำแสง เมื่อเทียบกับจุดรับแสง ที่เวลา 12.00น.

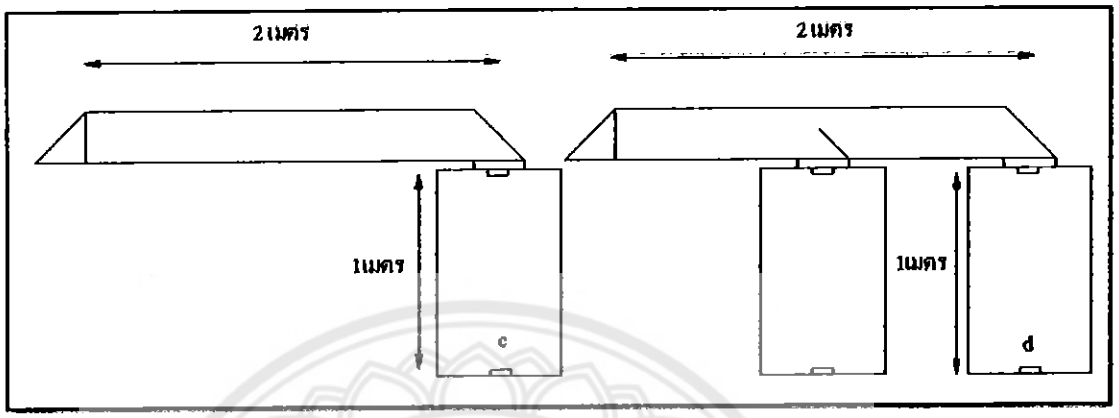
ตำแหน่ง C เท่ากับ 12.447%

ตำแหน่ง D เท่ากับ 57.280%

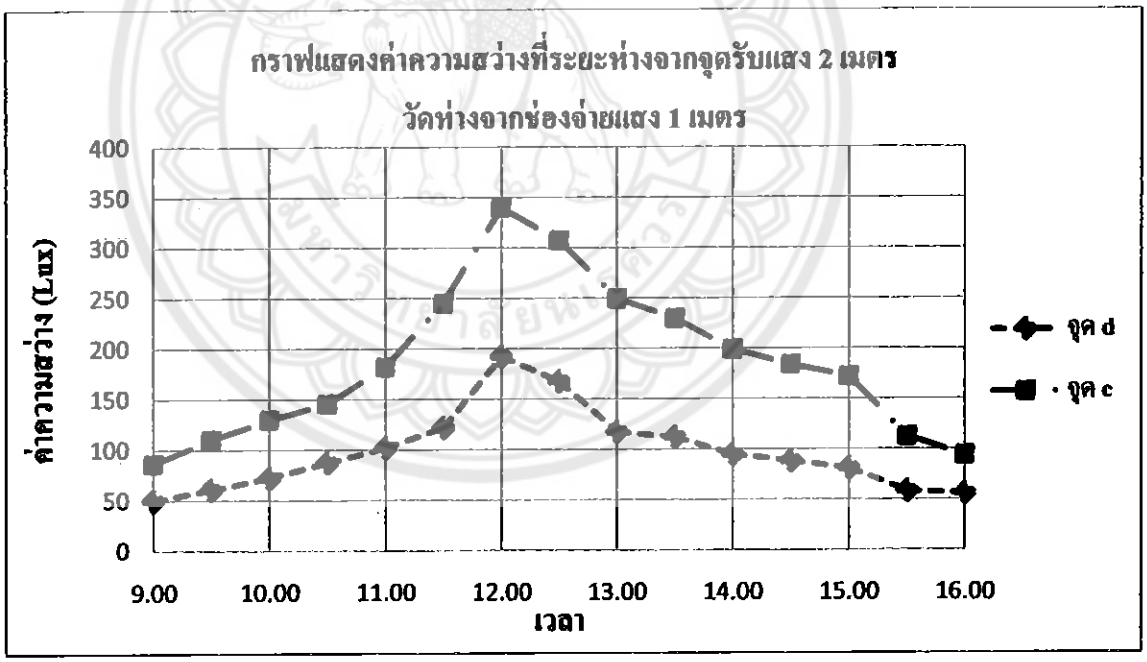
ตำแหน่ง C เท่ากับ 39.648% ตำแหน่ง D

5.3.2 ที่ระยะห่าง 1 เมตร จากจุดปล่อยแสง

จากตารางบันทึกการทดลอง (ภาคผนวก ตาราง ก. 24 และ ตาราง ก. 28) นำมาเขียนเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ดังกราฟ 5.5



รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะการวัด ณ ตำแหน่ง c และ d ห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร



กราฟที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาที่ระยะ 2 เมตร ห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร

จากกราฟแสดงความส่องสว่างเทียบกับเวลาที่ห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร ห่างจากจุดปล่อยแสงระยะ 1 เมตร ซึ่งจะพบว่า ท่อแบบมีความยาว 2 เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร และท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตรจุดเดียว มีลักษณะที่คล้ายกันมากซึ่ง

แตกต่างกันเพียงความส่องสว่างของท่อความยาว 2 เมตร จุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตรจุดเดียว มีค่าความส่องสว่างที่สูงกว่าเนื่องจากเป็นส่วนที่รับการส่องสว่างจากจุดรับแสงมาส่องสว่าง ณ จุด ที่ระยะความยาวระยะ 2 เมตรเพียงจุดเดียว แต่ท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตรนั้น มีการจ่ายความส่องสว่างไปในช่วงระยะ1 เมตรไปส่วนหนึ่งแล้วจึงทำให้อัตราการส่องสว่างในที่ระยะความยาว 2 เมตร จึงลดลงทำให้ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตรจุดเดียว ค่าความส่องสว่างสูงสุดของท่อแบบมีความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตรห่างจากจุดปล่อยแสง 1 เมตร เท่ากับ 192.066 Lux ความส่องสว่างสูงสุดของท่อแบบความยาว 2 เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ2 เมตรจุดเดียว เท่ากับ 339.932 Lux ซึ่งท่อนำแสงแบบ ท่อความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตรจุดเดียว มากกว่า ท่อความยาว 2 เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร เท่ากับ 147.866 Lux จะสังเกตได้ว่าอัตราการส่องสว่างของกราฟมีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00น. เนื่องจากแสงส่องลงมาตกกระทบกับจุดรับแสงของท่อนำแสงพอดี

ประสิทธิภาพของแสงที่สามารถนำมาใช้งาน ที่ตำแหน่ง c เทียบกับ ตำแหน่ง d ที่เวลา 12.00น. มีค่าเท่ากับ 56.501%

บทที่ 6
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคาร โดยใช้หลักการสะท้อนแสงของท่อนำแสงที่ใช้แผ่นกระจกเงาสะท้อนแสงภายในท่อ จากการศึกษานี้ใช้ท่อนำแสงทรงกระบอกสี่เหลี่ยมปลายปากเอียง โดยกำหนดให้ท่อนำแสงรับแสงจากทางทิศใต้ จากการวิเคราะห์แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงเข้ามาในอาคารขึ้นอยู่กับมุมที่ตกกระทบของการสะท้อนและการสูญเสียระหว่างการเดินทาง สามารถสรุปได้ว่า

1. ความส่องสว่างสูงสุดของท่อนำแสงความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 และ 2 เมตร มีความส่องสว่างสูงสุดที่ระยะ 1 เมตร อยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00 - 12.30. น. มีความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 810.8835 ลักซ์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1194.468 ลักซ์

2. ความส่องสว่างสูงสุดของท่อนำแสงความยาว 1 เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 เมตรอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00 - 12.30. น. มีความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 32,955 ลักซ์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 34,506.666 ลักซ์

3. ความส่องสว่างสูงสุดของท่อนำแสงความยาว 2 เมตร มีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 1 และ 2 เมตร ความส่องสว่างสูงสุดที่ระยะ 2 เมตร อยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00 - 12.30. น. มีความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 145.8165 ลักซ์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 192.066 ลักซ์

4. ความส่องสว่างสูงสุดของท่อนำแสงความยาว 2 เมตรมีจุดปล่อยแสงที่ระยะ 2 เมตรอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00 - 12.30. น.มีความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 268.7165 ลักซ์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 339.932 ลักซ์

ดังนั้น การประยุกต์การใช้งาน ให้เหมาะสมกับพื้นที่ การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในตัวอาคารควรจะคำนึงถึงระยะห่างระหว่างปลายท่อนำแสงกับจุดรับแสง สำหรับพื้นที่ต้องการใช้แสงสว่างอยู่ห่างจากจุดรับแสงมากควรกระจายท่อนำแสง 1ท่อ ต่อจุดปล่อยแสงหนึ่งจุด และไม่ควรใช้การรวมแสงไว้ท่อนำแสงท่อเดียวแล้วปล่อยแสงออกเป็นระยะเพราะจะทำให้ความส่องสว่างลดลงจึงไม่เพียงพอต่อการใช้งาน

6.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการออกแบบและทดสอบระบบท่อนำแสงโดยใช้กระจกเงา มีระยะเวลาในการศึกษาและงบประมาณที่จำกัด มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม คือ

1. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับท่อนำแสงหลายขนาดและหลายรูปแบบ

2. ควรติดตั้งตัวกระจายแสงที่จุดปล่อยแสงแต่ละจุดเพื่อกระจายแสงที่ปล่อยลงมาให้มีความสม่ำเสมอ

3. ควรเลือกใช้วัสดุสะท้อนแสงที่ผิวเรียบเพื่อลดการสูญเสียการสะท้อนของแสงและทนต่อการแตกร้าวและมีราคาถูก โครงสร้างท่อนำแสงต้องมีความแข็งแรง

4. ควรศึกษาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากรังสีดวงอาทิตย์เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ความร้อนเป็นภาระต่อการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บรรณานุกรม

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

บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร. การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร, 2550

เดชาวัฒน์ เดสังข์, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, จตุรภัทร ตันวิรัช. ชุดให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, 2545

อวิรุทธิ์ อุรุพงศา. การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียนชนบท. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544

ชัยวัฒน์ มุตติศานต์. ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม. บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

Andras Majoros. Daylighting (Queensland: University of Queenland Printery), 1998

ภาคผนวก ก.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตาราง ก.1 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง วันที่ 25 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร								ช่องจ่ายที่แสงระยะ 2 เมตร (Lux)							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)				วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	18850	15910	16860	17206.67	146	188	155	163	1680	2000	1980	1886.667	39	42	42	41
09.30 น.	18890	15600	18570	17686.67	146	151	190	162.33	2790	2460	2860	2703.333	65	67	71	67.67
10.00 น.	22300	24400	23100	23266.67	229	185	200	204.67	3400	3110	3270	3260	83	76	85	81.33
10.30 น.	24300	28100	26000	26133.33	229	273	280	260.67	3970	3440	3500	3636.667	102	88	88	92.67
11.00 น.	32000	29700	32500	31400	281	333	382	332	3690	3890	3950	3843.333	124	100	119	114.33
11.30 น.	34300	35000	33300	34200	447	483	440	456.67	4510	4420	4460	4463.333	143	151	154	149.33
12.00 น.	33000	34300	34600	33966.67	469	512	500	493.67	4510	4520	4860	4630	158	150	162	156.67
12.30 น.	31300	31800	32000	31700	468	470	431	456.33	4490	4430	4160	4360	120	149	153	140.67
13.00 น.	28900	32600	28200	29900	519	482	444	481.67	3830	3980	3720	3843.333	132	134	137	134.33
13.30 น.	24900	23900	24500	24433.33	432	424	408	421.33	3550	3320	3220	3363.333	105	109	104	106
14.00 น.	15600	18300	20200	18033.33	317	360	283	320	3030	2920	2530	2826.667	92	90	89	90.33
14.30 น.	11540	11480	12060	11693.33	432	326	374	377.33	2620	2510	2280	2470	71	81	76	76
15.00 น.	9460	9320	8830	9203.333	293	291	289	291	2030	2080	2020	2043.333	72	67	74	71
15.30 น.	6040	5640	4950	5543.333	224	226	221	223.67	1690	1580	2000	1756.667	64	66	63	64.33
16.00 น.	4500	4420	4350	4423.333	171	111	158	146.67	1266	1388	1306	1320	52	53	58	54.33

ตาราง ก.2 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 1 เมตร วันที่ 25 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	15970	16480	16540	16330	187	143	167	165.67
09.30 น.	14000	13580	14400	13993.33	206	173	195	191.33
10.00 น.	18800	15100	17800	17233.33	268	234	200	234
10.30 น.	19300	20500	21500	20433.33	295	300	315	303.33
11.00 น.	33400	31800	29600	31600	310	341	390	347
11.30 น.	33000	35300	34700	34333.33	340	417	448	401.67
12.00 น.	34000	33600	35300	34300	555	632	540	575.67
12.30 น.	31400	32700	30600	31566.67	434	419	529	460.67
13.00 น.	31800	29600	30100	30500	513	554	546	537.67
13.30 น.	26200	26500	25700	26133.33	496	430	491	472.33
14.00 น.	22700	23900	24700	23766.67	485	406	496	462.33
14.30 น.	12430	14740	14400	13856.67	380	370	385	378.33
15.00 น.	3190	3330	3130	3216.67	149	145	144	146
15.30 น.	5650	5720	5230	5533.33	248	253	235	245.33
16.00 น.	4840	5040	5390	5090	164	165	202	177

ตาราง ก.3 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร วันที่ 25 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	6430	6090	6380	6270	88	80	126	98
09.30 น.	4840	5170	4800	4936.667	103	96	87	95.33
10.00 น.	6640	6500	5490	6210	130	120	138	129.33
10.30 น.	10000	8720	9430	9383.333	143	156	132	143.67
11.00 น.	12440	12500	12890	12610	177	148	178	167.67
11.30 น.	12890	14630	15890	14470	236	354	258	282.67
12.00 น.	14890	15890	16070	15616.67	542	485	510	512.33
12.30 น.	14800	14010	14830	14546.67	453	450	437	446.67
13.00 น.	7300	6590	6530	6806.667	273	279	237	263
13.30 น.	5650	5790	5930	5790	264	254	272	263.33
14.00 น.	4350	4240	4230	4273.333	222	218	222	220.67
14.30 น.	4350	4320	4280	4316.667	186	187	185	186
15.00 น.	7110	7160	6700	6990	284	129	294	235.67
15.30 น.	3190	3200	2960	3116.667	134	128	135	132.33
16.00 น.	2220	2050	2150	2140	100	95	65	86.67

ตาราง ก.4 ผลการบันทึกค่าความสว่างที่จุดรับแสงของท่อนำแสง วันที่ 25 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องรับแสง			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	40600	40400	39500	40166.67
09.30 น.	51300	49000	48800	49700
10.00 น.	63600	65200	64000	62466.67
10.30 น.	83900	82000	84100	83333.33
11.00 น.	93300	94600	95400	94433.33
11.30 น.	102000	101700	102500	102066.7
12.00 น.	102700	102500	102300	102500
12.30 น.	105600	105300	107600	106166.7
13.00 น.	89000	99000	100000	96000
13.30 น.	97500	94800	95600	9566.67
14.00 น.	87000	85800	88700	87166.67
14.30 น.	84900	83800	83900	84200
15.00 น.	71400	70500	67000	69633.33
15.30 น.	**56000**	**529000**	**59300**	**21477.67**
16.00 น.	**698000**	**33500**	**32500**	**25466.67**

ตาราง ก.5 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง วันที่ 27 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร								ช่องจ่ายที่แสงระยะ 2 เมตร (Lux)							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)				วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	6800	6400	6380	6526.67	85	90	119	98	2000	2270	2080	2116.67	47	42	30	39.67
09.30 น.	7830	7630	6820	7426.67	104	122	146	124	2600	2250	2400	2416.67	49	47	48	48
10.00 น.	10730	10810	14700	12080	167	210	161	179.33	2680	2890	3120	2896.67	61	69	75	68.33
10.30 น.	11500	12900	12700	12366.67	296	672	243	403.67	3600	3500	3370	3490	111	105	117	111
11.00 น.	22200	30100	32900	28400	868	981	854	901	3870	4380	3710	3986.67	111	128	114	117.67
11.30 น.	29700	28700	27800	28733.33	1970	1940	1150	1686.67	4560	4840	4400	4600	119	121	125	121.67
12.00 น.	36000	33500	3700	24400	2400	2450	2420	2423.33	11470	14020	9220	11570	240	351	361	317.33
12.30 น.	39600	33400	35200	36066.67	1526	1583	1295	1468	10670	11240	12120	11343.33	268	205	258	243.67
13.00 น.	23900	22600	25900	24133.33	969	1135	915	1006.33	3890	3690	3640	3740	123	124	133	126.67
13.30 น.	12300	12640	14050	12996.67	1007	1016	1129	1050.67	3650	3550	3810	3670	130	146	141	139
14.00 น.	12770	12370	10240	11793.33	700	727	691	706	2980	2770	2700	2816.67	103	104	106	104.33
14.30 น.	11600	11400	11600	11533.33	462	489	495	482	2970	2780	2810	2853.33	97	94	99	96.67
15.00 น.	9510	9550	9360	9473.33	250	272	391	304.33	2200	2310	2390	2300	88	96	79	87.67
15.30 น.	4220	4500	4900	4540	132	156	132	140	1271	1327	1285	1294.33	61	56	52	56.33
16.00 น.	5210	5270	5590	5356.67	174	100	105	126.33	1520	1580	1490	1530	79	69	74	74

ตาราง ก.6 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 1 เมตร วันที่ 27 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	6750	6200	5500	6150	113	128	112	117.67
09.30 น.	7870	7660	7300	7610	121	150	129	133.33
10.00 น.	10000	10210	10800	10336.67	198	231	197	208.67
10.30 น.	25400	23300	25200	24633.33	267	306	370	314.33
11.00 น.	42000	31500	36000	36500	698	700	1160	852.67
11.30 น.	35500	49400	39300	41400	1095	1726	1393	1404.67
12.00 น.	30700	33700	34100	32833.33	2610	2620	2670	2633.33
12.30 น.	30100	34200	39400	34566.67	2560	2640	2520	2573.33
13.00 น.	26700	27900	39600	31400	1130	1180	1710	1340
13.30 น.	21600	23200	21800	22200	806	832	952	863.33
14.00 น.	15900	16810	18860	17190	435	603	465	501
14.30 น.	12600	11500	12100	12066.67	458	469	455	460.67
15.00 น.	9360	9700	8920	9326.67	317	343	282	314
15.30 น.	4580	4680	4800	4686.67	124	168	173	155
16.00 น.	5210	5520	5420	5383.33	140	100	93	111

ตาราง ก.7 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร วันที่ 27 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	3370	3240	4350	3653.33	60	75	79	71.33
09.30 น.	3600	3580	3610	3596.67	69	92	99	86.67
10.00 น.	6020	7000	5900	6306.67	100	128	141	123
10.30 น.	14320	12690	13500	13503.33	185	135	165	161.67
11.00 น.	14300	12600	13300	13400	265	269	264	266
11.30 น.	12700	13300	14600	13533.33	342	336	540	406
12.00 น.	11310	11580	10600	11163.33	360	530	505	465
12.30 น.	13810	10360	10000	11390	345	406	393	381.33
13.00 น.	6600	6540	6450	6530	276	302	352	310
13.30 น.	5550	6080	6350	5993.33	305	288	250	281
14.00 น.	5280	5150	5100	5176.67	268	220	258	248.67
14.30 น.	4200	4510	4420	4376.67	199	290	203	230.67
15.00 น.	3880	3920	4000	3933.33	121	150	172	147.67
15.30 น.	2280	2410	2270	2320	102	86	83	90.33
16.00 น.	2440	2370	2230	2346.67	113	119	90	107.33

ตาราง ก.8 ผลการบันทึกค่าความสว่างที่จุดรับแสงของท่อนำแสง วันที่ 27 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องรับแสง			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	33600	36200	38200	36000
09.30 น.	35300	35500	35800	35533.33
10.00 น.	38600	40700	38200	39166.67
10.30 น.	83100	79000	86000	82700
11.00 น.	86600	95700	98100	93466.67
11.30 น.	99800	100100	100100	100000
12.00 น.	110000	72600	107200	96600
12.30 น.	106500	105000	103900	105133.33
13.00 น.	116300	106800	105000	109366.67
13.30 น.	106000	110000	98000	104666.67
14.00 น.	93000	93500	101400	95966.67
14.30 น.	110500	101600	98000	103366.67
15.00 น.	76000	76200	80000	77400
15.30 น.	51300	45600	41400	46100
16.00 น.	60800	35800	37400	44666.67

ตาราง ก.9 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร								ช่องจ่ายที่แสงระยะ 2 เมตร (Lux)							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)				วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	7080	6090	9680	7616.67	108	115	143	122	2020	1970	2140	2043.33	54	55	48	52.33
09.30 น.	11050	11740	10980	11256.67	184	171	205	186.67	2960	2870	3160	2996.67	56	50	51	52.33
10.00 น.	11210	11460	12360	11676.67	218	230	228	225.33	3200	2840	3190	3076.67	76	72	78	75.33
10.30 น.	15050	15620	19000	16556.67	374	290	284	316	3210	2940	3360	3170	76	78	78	77.33
11.00 น.	49300	42500	45300	45700	370	395	435	400	3280	3650	4000	3643.33	79	82	81	80.67
11.30 น.	45100	44900	43500	44500	430	470	432	444	3720	3690	3470	3626.67	116	130	110	118.67
12.00 น.	35000	35800	36300	35700	565	584	516	555	3330	3510	3230	3356.67	135	211	182	176
12.30 น.	31500	32400	27200	30366.67	516	524	510	516.67	2840	2860	2910	2870	166	171	150	162.33
13.00 น.	32700	28500	29600	30266.67	408	398	407	404.33	2610	2870	2920	2800	114	113	111	112.67
13.30 น.	25600	24200	23700	24500	281	275	291	282.33	2800	2780	2750	2776.67	113	114	121	116
14.00 น.	24200	22900	23000	23366.67	233	245	231	236.33	2400	2390	2510	2433.33	85	89	98	90.67
14.30 น.	13600	12630	12390	12873.33	217	198	204	206.33	2200	2500	2470	2390	79	82	84	81.67
15.00 น.	7190	8190	7140	7506.67	190	180	197	189	1800	2020	2000	1940	75	81	91	82.33
15.30 น.	3000	2970	2880	2950	112	88	98	99.33	787	735	791	771	36	33	37	35.33
16.00 น.	2770	2650	2650	2690	93	86	80	86.33	500	730	681	637	26	29	30	28.33

ตาราง ก.10 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 1 เมตร วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	11020	11110	11070	11066.67	124	254	245	207.67
09.30 น.	15000	13860	13480	14113.33	296	280	309	295
10.00 น.	16510	17010	17060	16860	363	294	268	308.33
10.30 น.	16340	16910	18530	17260	277	268	336	293.67
11.00 น.	39900	38100	39800	39266.67	300	336	400	345.33
11.30 น.	44600	45200	40400	43400	364	395	386	381.67
12.00 น.	36700	37300	36400	36800	600	607	624	610.33
12.30 น.	28700	26600	32600	29300	598	600	582	593.33
13.00 น.	25000	25800	27300	26033.33	515	476	463	484.67
13.30 น.	23700	21200	22200	22366.67	430	350	439	406.33
14.00 น.	17000	17900	17600	17500	338	377	436	383.67
14.30 น.	11050	12260	12640	11983.33	361	356	363	360
15.00 น.	9020	8350	8700	8690	287	300	302	296.33
15.30 น.	2950	2330	3600	2960	107	130	142	126.33
16.00 น.	2140	3000	2930	2690	76	71	58	68.33

ตาราง ถ.11 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	3770	3840	3880	3830	95	92	98	95
09.30 น.	5030	6640	5480	5716.67	167	166	162	165
10.00 น.	7580	7840	7670	7696.67	128	158	162	149.33
10.30 น.	8540	8270	8330	8380	131	174	163	156
11.00 น.	9520	9880	9580	9660	146	165	165	158.67
11.30 น.	11480	11010	10910	11133.33	175	184	168	175.67
12.00 น.	12980	12660	12230	12356.67	195	237	241	224.33
12.30 น.	15800	16000	15500	15766.67	212	238	243	231
13.00 น.	6600	6760	6830	6730	188	193	179	186.67
13.30 น.	5570	5600	5430	5533.33	166	158	168	164
14.00 น.	4600	4530	4560	4563.33	190	144	134	156
14.30 น.	3800	3840	3810	3816.67	177	169	176	174
15.00 น.	5330	3120	2990	3813.33	160	149	159	156
15.30 น.	1255	1277	1190	1240.67	74	51	53	59.33
16.00 น.	1370	1228	1300	1299.33	66	69	17	50.67

ตาราง ก.12 ผลการบันทึกค่าความสว่างที่จุดรับแสงของท่อนำแสง วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

เวลา	ช่องรับแสง			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	38700	87500	46600	57600
09.30 น.	56500	54600	63100	58066.67
10.00 น.	65100	66600	65900	65866.67
10.30 น.	76600	80200	77900	78233.33
11.00 น.	87100	90000	91600	89566.67
11.30 น.	99600	102300	101200	101033.33
12.00 น.	102500	106700	104600	104600
12.30 น.	81600	80800	78800	80400
13.00 น.	112500	110000	105700	109400
13.30 น.	109700	94300	99700	101233.33
14.00 น.	110000	88000	92300	96766.67
14.30 น.	110000	85200	90000	95066.67
15.00 น.	95800	72300	70700	79600
15.30 น.	25600	25600	19100	23433.33
16.00 น.	17900	16300	17000	17066.67

ตาราง ก.13 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร								ช่องจ่ายที่แสงระยะ 2 เมตร (Lux)							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)				วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	8740	10890	12420	10683.33	100	122	112	111.33	1850	1930	1810	1863.33	48	50	53	50.33
09.30 น.	13030	11650	12040	12240	147	152	151	150	4840	4680	4300	4606.67	58	60	62	60
10.00 น.	11360	11300	14000	12220	475	189	182	282	4600	4650	4530	4593.33	69	73	68	70
10.30 น.	14640	15600	16880	15706.67	268	269	235	257.33	4590	4670	4470	4576.67	70	79	80	76.33
11.00 น.	16000	26600	19800	20800	285	317	299	300.33	4000	4530	4720	4416.67	91	95	88	91.33
11.30 น.	17600	25700	28300	23866.67	582	718	684	661.33	4240	4150	4210	4200	100	102	111	104.33
12.00 น.	28900	27200	29700	28600	850	808	946	868	4450	4210	4340	4333.33	152	160	145	152.33
12.30 น.	23500	26400	25300	25066.67	634	647	411	564	5190	5550	5480	5406.67	200	149	147	165.33
13.00 น.	23100	22200	23800	23033.33	662	627	733	674	3520	3240	3720	3493.33	115	120	120	118.33
13.30 น.	19700	21200	23100	21333.33	649	511	675	611.67	2730	2680	2760	2723.33	104	110	102	105.33
14.00 น.	18100	17540	18000	17880	611	654	591	618.67	2890	2780	2650	2773.33	98	105	97	100
14.30 น.	12900	12670	12960	12843.33	449	444	441	444.67	2630	2690	2870	2730	98	95	109	100.67
15.00 น.	8020	7950	8050	8006.67	287	286	274	282.33	2020	2040	2120	2060	75	70	84	76.33
15.30 น.	5830	5750	5800	5793.33	144	186	151	160.33	1562	1534	1507	1534.33	67	63	67	65.67
16.00 น.	4010	3970	4230	4070	180	178	180	179.33	1240	1100	114	818	60	68	59	62.33

ตาราง ก.14 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 1 เมตร วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	8230	7700	7950	7960	113	131	126	123.33
09.30 น.	16290	16700	16850	16613.33	172	165	167	168
10.00 น.	18000	18510	17110	17873.33	194	200	222	205.33
10.30 น.	23300	23600	24700	23866.67	231	267	237	245
11.00 น.	24800	23300	27100	25066.67	272	293	285	283.33
11.30 น.	29700	28200	27500	28466.67	545	735	802	694
12.00 น.	33000	32600	35000	33533.33	1000	905	868	924.33
12.30 น.	31500	37300	35600	34800	902	955	824	893.67
13.00 น.	27000	26200	25000	26066.67	891	815	864	856.67
13.30 น.	22400	28300	24800	25166.67	805	868	856	843
14.00 น.	19440	18390	17930	18586.67	544	570	581	565
14.30 น.	17700	17800	17600	17700	418	423	421	420.67
15.00 น.	10160	9940	10070	10056.67	324	328	326	326
15.30 น.	6400	6520	6680	6533.33	195	226	171	197.33
16.00 น.	4500	4470	4590	4520	205	211	188	201.33

ตาราง ก.15 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	4020	3980	3750	3916.67	76	77	78	77
09.30 น.	5850	6040	4980	5623.33	89	90	95	91.33
10.00 น.	5780	5670	5960	5803.33	110	118	107	111.67
10.30 น.	6790	6800	6960	6850	124	129	118	123.67
11.00 น.	6910	7350	7320	7193.33	161	157	154	157.33
11.30 น.	7430	7950	8210	7863.33	170	160	169	166.33
12.00 น.	11300	9800	11100	10733.33	236	285	351	290.67
12.30 น.	11300	15200	11000	12500	200	337	330	289
13.00 น.	7200	7240	8550	7663.33	325	326	314	321.67
13.30 น.	5920	5950	6030	5966.67	275	293	280	282.67
14.00 น.	4620	4550	4610	4593.33	236	226	236	232.67
14.30 น.	4160	4230	4210	4200	200	209	199	202.67
15.00 น.	3450	3520	3770	3580	160	166	158	161.33
15.30 น.	2390	2480	2560	2476.67	130	144	140	138
16.00 น.	1930	1860	1790	1860	119	117	125	120.33

ตาราง ก.16 ผลการบันทึกค่าความสว่างที่จุดรับแสงของท่อนำแสง วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องรับแสง			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	36500	37800	38800	37700
09.30 น.	49900	52700	53900	52166.67
10.00 น.	63500	81100	70900	71833.33
10.30 น.	76500	7900	80100	54833.33
11.00 น.	76100	87500	88800	84133.33
11.30 น.	90500	94500	95300	93433.33
12.00 น.	102600	108600	10300	73833.33
12.30 น.	101000	101300	103000	101766.67
13.00 น.	107700	103800	103300	104933.33
13.30 น.	105300	103500	105800	104866.67
14.00 น.	95000	97400	98800	97066.67
14.30 น.	90800	91000	93700	91833.33
15.00 น.	71300	71800	72800	71966.67
15.30 น.	82700	56300	47200	62066.67
16.00 น.	54100	40200	17000	37100

ตาราง ก.17 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร แบ่ง 2 ช่องจ่ายแสง วันที่ 3 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร								ช่องจ่ายที่แสงระยะ 2 เมตร (Lux)							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)				วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	8750	10100	9520	9456.67	260	265	275	266.67	1850	1930	1810	1863.33	69	73	60	67.33
09.30 น.	10190	10330	7140	9220	295	280	288	287.67	2160	2380	2370	2303.33	74	78	75	75.67
10.00 น.	10690	10710	11460	10953.33	310	347	346	334.33	3140	2800	2340	2760	63	70	69	67.33
10.30 น.	14600	17800	10500	14300	320	346	330	332	3780	3530	3580	3630	80	79	79	79.33
11.00 น.	17500	18200	25000	20233.33	342	335	343	340	3750	3760	3620	3710	106	100	110	105.33
11.30 น.	18300	20400	21000	19900	524	454	462	480	3710	3880	4010	3866.67	117	108	122	115.67
12.00 น.	28900	29000	27200	28366.67	542	581	698	607	3690	3290	4470	3816.67	144	158	172	158
12.30 น.	28700	29000	30000	29233.33	561	596	500	552.33	3100	3030	3250	3126.67	123	128	124	125
13.00 น.	27600	26700	25400	26566.67	394	345	361	366.67	2630	2640	2700	2656.67	93	95	97	95
13.30 น.	22300	34000	23100	26466.67	265	232	295	264	2490	2390	2530	2470	100	95	85	93.33
14.00 น.	17500	17000	18600	17700	222	273	227	240.67	2230	2420	2200	2283.33	86	93	90	89.67
14.30 น.	8590	8060	9680	8776.67	204	213	191	202.67	1660	2000	2000	1886.67	80	88	91	86.33
15.00 น.	7500	7830	7230	7520	262	264	245	257	1640	1870	1940	1816.67	88	90	84	87.33
15.30 น.	5240	5030	5050	5106.67	211	200	212	207.67	1690	1710	1700	1700	69	75	68	70.67
16.00 น.	4190	4130	4170	4163.33	162	160	106	142.67	1340	1440	1400	1393.33	61	63	60	61.33

ตาราง ก.18 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 1 เมตร วันที่ 3 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	8230	7750	7900	7960	285	289	290	288
09.30 น.	9080	6890	7020	7663.33	314	325	301	313.33
10.00 น.	11370	10460	10080	10636.67	325	341	388	351.33
10.30 น.	17600	2300	20000	13300	368	392	420	393.33
11.00 น.	21300	21500	26600	23133.33	423	438	400	420.33
11.30 น.	24000	26600	24200	24933.33	445	494	536	491.67
12.00 น.	31400	32000	30500	31300	844	786	591	740.33
12.30 น.	30000	34000	32000	32000	648	724	692	688
13.00 น.	26600	27500	28400	27500	511	557	570	546
13.30 น.	22600	23000	21300	22300	448	461	524	477.67
14.00 น.	17100	16700	17800	17200	384	342	322	349.33
14.30 น.	10670	9940	10000	10203.33	283	290	300	291
15.00 น.	9600	9700	9600	9633.33	298	300	297	298.33
15.30 น.	7020	6890	6720	6876.67	230	232	229	230.33
16.00 น.	5900	5760	5890	5850	203	206	196	201.67

ตาราง ก.19 ผลการบันทึกค่าความสว่างของท่อนำแสงยาว 2 เมตร วันที่ 3 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร							
	วัดที่ระยะ 0 เมตร (Lux)				วัดระยะที่ 1 เมตร (Lux)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	3500	3150	3200	3283.33	89	88	95	90.67
09.30 น.	3410	3470	3640	3506.67	100	116	120	112
10.00 น.	4680	4750	4910	4780	125	134	149	136
10.30 น.	6330	6720	6950	6666.67	137	146	148	143.67
11.00 น.	7630	6800	7580	7336.67	150	170	164	161.33
11.30 น.	8330	7230	9010	8190	180	194	213	195.67
12.00 น.	9760	10900	10360	10340	182	200	240	207.33
12.30 น.	6660	6810	6700	6723.33	200	192	176	189.33
13.00 น.	5830	6380	6530	6246.67	170	168	163	167
13.30 น.	4270	4320	4360	4316.67	152	159	165	158.67
14.00 น.	3470	3630	3710	3603.33	146	131	134	137
14.30 น.	3180	3250	3260	3230	134	126	121	127
15.00 น.	3090	3120	3040	3083.33	162	160	161	161
15.30 น.	2730	2730	2760	2740	143	147	142	144
16.00 น.	2380	2380	2300	2353.33	109	110	97	105.33

ตาราง ก.20 ผลการบันทึกค่าความสว่างที่จุดรับแสงของท่อนำแสง วันที่ 3 เดือน มีนาคม พ.ศ.2554

เวลา	ช่องรับแสง			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
09.00 น.	365000	37800	38800	147200
09.30 น.	37700	40200	32400	36766.67
10.00 น.	68000	72200	76200	72133.33
10.30 น.	76500	84800	86000	82433.33
11.00 น.	95800	93300	94800	94633.33
11.30 น.	101100	105200	104500	103600
12.00 น.	104700	105700	108100	106166.7
12.30 น.	109200	108500	108200	108633.3
13.00 น.	107000	106500	107300	106933.3
13.30 น.	103500	100500	98400	100800
14.00 น.	97400	92000	93000	94133.33
14.30 น.	86000	83000	67000	78666.67
15.00 น.	72100	74600	72700	73133.33
15.30 น.	54000	56800	59300	56700
16.00 น.	44200	43600	45000	44266.67

ตาราง ก.21 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	17206.67	6526.67	7616.67	10683.33	9456.67	10298.002
9.30น.	17686.67	7426.67	11256.67	12240	9220	11566.002
10.00น.	23266.67	12080	11676.67	12220	10953.33	14039.334
10.30น.	26133.33	12366.67	16556.67	15706.67	14300	17012.668
11.00น.	31400	28400	45700	20800	20233.33	29306.666
11.30น.	34200	28733.33	44500	23866.67	19900	30240
12.00น.	33966.67	24400	35700	28600	28366.67	30206.668
12.30น.	31700	36066.67	30366.67	25066.67	29233.33	30486.668
13.00น.	29900	24133.33	30266.67	23033.33	26566.67	26780
13.30น.	24433.33	12996.67	24500	21333.33	26466.67	21946
14.00น.	18033.33	11793.33	23366.67	17880	17700	17754.666
14.30น.	11693.33	11533.33	12873.33	12843.33	8776.67	11543.998
15.00น.	9203.333	9473.33	7506.67	8006.67	7520	8342.0006
15.30น.	5543.333	4540	2950	5793.33	5106.67	4786.6666
16.00น.	4423.333	5356.67	2690	4070	4163.33	4140.6666

ตาราง ก.22 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	163	98	122	111.33	266.67	152.2
9.30น.	162.33	124	186.87	150	287.67	182.134
10.00น.	204.67	179.33	225.33	282	334.33	245.132
10.30น.	260.67	403.67	316	257.33	332	313.934
11.00น.	332	901	400	300.33	340	454.666
11.30น.	456.67	1686.67	444	661.33	480	745.734
12.00น.	493.67	2423.33	555	868	607	989.4
12.30น.	456.33	1468	516.67	564	552.33	711.466
13.00น.	481.67	1006.33	404.33	674	366.67	586.6
13.30น.	421.33	1050.67	282.33	611.67	264	526
14.00น.	320	706	236.33	618.67	240.67	424.334
14.30น.	377.33	482	206.33	444.67	202.67	342.6
15.00น.	291	304.33	189	282.33	257	264.732
15.30น.	223.67	140	99.33	160.33	207.67	166.2
16.00น.	146.67	126.33	86.33	179.33	142.67	136.266

ตาราง ก.23 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	1886.667	2116.67	2043.33	1863.33	1863.33	1954.6654
9.30น.	2703.333	2416.67	2996.67	4606.67	2303.33	3005.3346
10.00น.	3260	2896.67	3076.67	4593.33	2760	3317.334
10.30น.	3636.667	3490	3170	4576.67	3630	3700.6674
11.00น.	3843.333	3986.67	3643.33	4416.67	3710	3920.0006
11.30น.	4463.333	4600	3626.67	4200	3866.67	4151.3346
12.00น.	4630	11570	3356.67	4333.33	3816.67	5541.334
12.30น.	4360	11343.33	2870	5406.67	3126.67	5421.334
13.00น.	3843.333	3740	2800	3493.33	2656.67	3306.6666
13.30น.	3363.333	3670	2776.67	2723.33	2470	3000.6666
14.00น.	2826.667	2816.67	2433.33	2773.33	2283.33	2626.6654
14.30น.	2470	2853.33	2390	2730	1886.67	2466
15.00น.	2043.333	2300	1940	2060	1816.67	2032.0006
15.30น.	1756.667	1294.33	771	1534.33	1700	1411.2654
16.00น.	1320	1530	637	818	1393.33	1139.666

ตาราง ก.24 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 2 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	41	39.67	52.33	50.33	67.33	50.132
9.30น.	67.67	48	52.33	60	75.67	60.734
10.00น.	81.33	68.33	75.33	70	67.33	72.464
10.30น.	92.67	111	77.33	76.33	79.33	87.332
11.00น.	114.33	117.67	80.67	91.33	105.33	101.866
11.30น.	149.33	121.67	118.67	104.33	115.67	121.934
12.00น.	156.67	317.33	176	152.33	158	192.066
12.30น.	140.67	243.67	162.33	165.33	125	167.4
13.00น.	134.33	126.67	112.67	118.33	95	117.4
13.30น.	106	139	116	105.33	93.33	111.932
14.00น.	90.33	104.33	90.67	100	89.67	95
14.30น.	76	96.67	81.67	100.67	86.33	88.268
15.00น.	71	87.67	82.33	76.33	87.33	80.932
15.30น.	64.33	56.33	35.33	65.67	70.67	58.466
16.00น.	54.33	74	28.33	62.33	61.33	56.064

ตาราง ก.25 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ..54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	16330	6150	11066.67	7960	7960	9893.334
9.30น.	13993.33	7610	14113.33	16613.33	7663.33	11998.664
10.00น.	17233.33	10336.67	16860	17873.33	10636.67	14588
10.30น.	20433.33	24633.33	17260	23866.67	13300	19898.666
11.00น.	31600	36500	39266.67	25066.67	23133.33	31113.334
11.30น.	34333.33	41400	43400	28466.67	24933.33	34506.666
12.00น.	34300	32833.33	36800	33533.33	31300	33753.332
12.30น.	31566.67	34566.67	29300	34800	32000	32446.668
13.00น.	30500	31400	26033.33	26066.67	27500	28300
13.30น.	26133.33	22200	22366.67	25166.67	22300	23633.334
14.00น.	23766.67	17190	17500	18586.67	17200	18848.668
14.30น.	13856.67	12066.67	11983.33	17700	10203.33	13162
15.00น.	3216.67	9326.67	8690	10056.67	9633.33	8184.668
15.30น.	5533.33	4686.67	2960	6533.33	6876.67	5318
16.00น.	5090	5383.33	2690	4520	5850	4706.666

ตาราง ก.26 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 1 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	165.67	117.67	207.67	123.33	288	180.468
9.30น.	191.33	133.33	295	168	313.33	220.198
10.00น.	234	208.67	308.33	205.33	351.33	261.532
10.30น.	303.33	314.33	293.67	245	393.33	309.932
11.00น.	347	852.67	345.33	283.33	420.33	449.732
11.30น.	401.67	1404.67	381.67	694	491.67	674.736
12.00น.	575.67	2233.33	547.67	924.33	740.33	1004.266
12.30น.	460.67	2373.33	562.67	893.67	688	995.668
13.00น.	537.67	1340	484.67	856.67	546	753.002
13.30น.	472.33	863.33	406.33	843	477.67	612.532
14.00น.	462.33	501	383.67	565	349.33	452.266
14.30น.	378.33	460.67	360	420.67	291	382.134
15.00น.	146	314	296.33	326	298.33	276.132
15.30น.	245.33	155	126.33	197.33	230.33	190.864
16.00น.	177	111	68.33	201.33	201.67	151.866

ตาราง ก.27 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	6270	3653.33	3830	3916.67	3283.33	4190.666
9.30น.	4936.667	3596.67	5716.67	5623.33	3506.67	4676.0014
10.00น.	6210	6306.67	7696.67	5803.33	4780	6159.334
10.30น.	9383.333	13503.33	8380	6850	6666.67	8956.6666
11.00น.	12610	13400	9660	7193.33	7336.67	10040
11.30น.	14470	13533.33	11133.33	7863.33	8190	11037.998
12.00น.	15616.67	11163.33	12356.67	10733.33	10340	12042
12.30น.	14546.67	11390	15766.67	12500	6723.33	12185.334
13.00น.	6806.667	6530	6730	7663.33	6246.67	6795.3334
13.30น.	5790	5993.33	5533.33	5966.67	4316.67	5520
14.00น.	4273.333	5176.67	4563.33	4593.33	3603.33	4441.9986
14.30น.	4316.667	4376.67	3816.67	4200	3230	3988.0014
15.00น.	6990	3933.33	3813.33	3580	3083.33	4279.998
15.30น.	3116.667	2320	1240.67	2476.67	2740	2378.8014
16.00น.	2140	2346.67	1299.33	1860	2353.33	1999.866

ตาราง ก.28 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างของท่อนำแสง 1 ช่องจ่ายแสงที่ระยะ 2 เมตร วัดห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร

เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	98	71.33	95	77	90.67	86.4
9.30น.	95.33	86.67	165	91.33	112	110.066
10.00น.	129.33	123	149.33	111.67	136	129.866
10.30น.	143.67	161.67	156	123.67	143.67	145.736
11.00น.	167.67	266	158.67	157.33	161.33	182.2
11.30น.	282.67	406	175.67	166.33	195.67	245.268
12.00น.	512.33	465	224.33	290.67	207.33	339.932
12.30น.	446.67	381.33	231	289	189.33	307.466
13.00น.	263	310	186.67	321.67	167	249.668
13.30น.	263.33	281	164	282.67	158.67	229.934
14.00น.	220.67	248.67	156	232.67	137	199.002
14.30น.	186	230.67	174	202.67	127	184.068
15.00น.	235.67	147.67	156	161.33	161	172.334
15.30น.	132.33	90.33	59.33	138	144	112.798
16.00น.	86.67	107.33	50.67	120.33	105.33	94.066

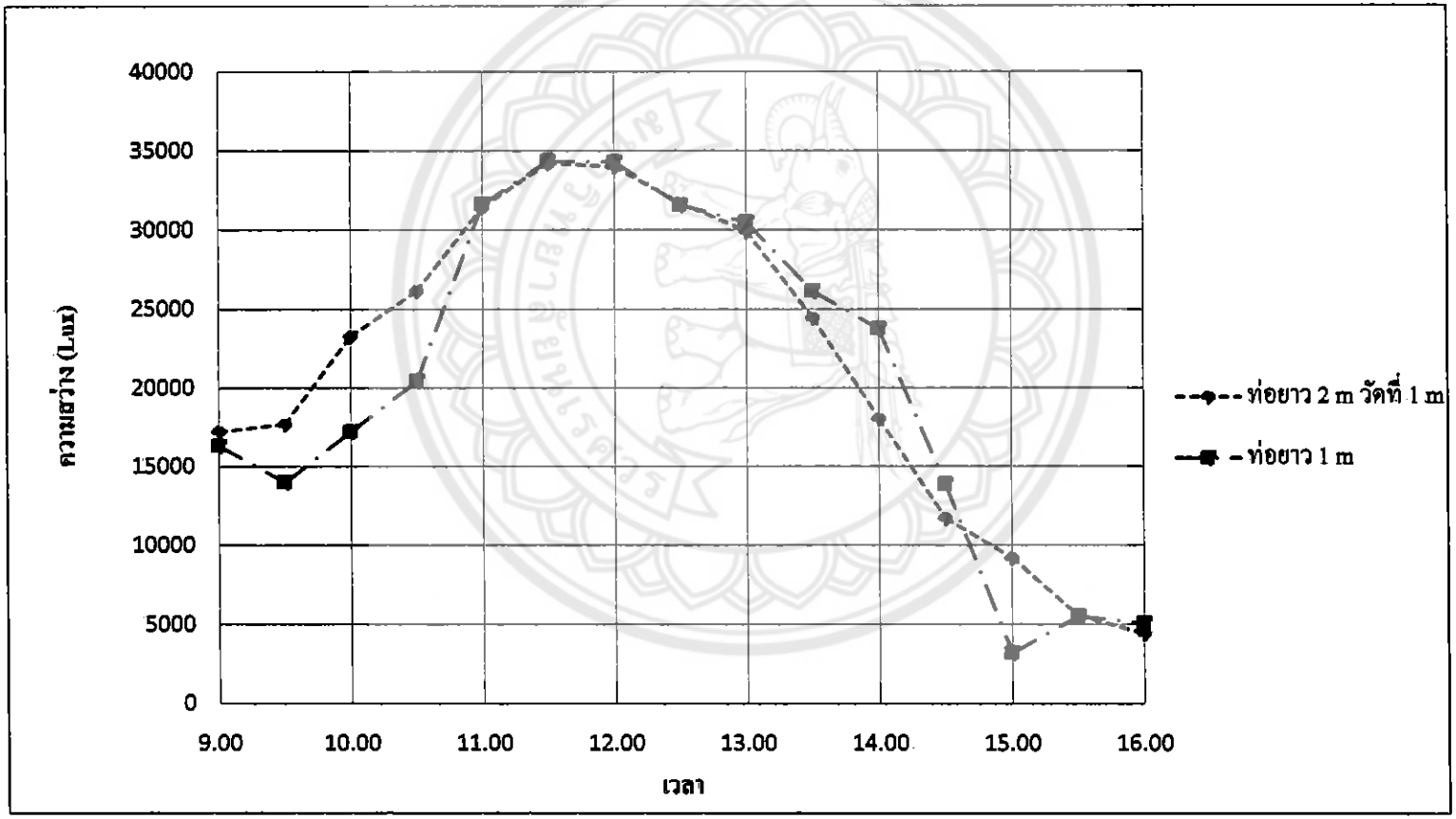
ตาราง ก.29 ค่าเฉลี่ยความสว่างของแสงที่จุดรับแสง

จุดรับแสง						
เวลา	25 ก.พ. 54	27 ก.พ. 54	28 ก.พ. 54	1 มี.ค. 54	3 มี.ค. 54	เฉลี่ย
9.00 น.	40166.67	36000	57600	37700	147200	63733.334
9.30น.	49700	35533.33	58066.67	52166.67	36766.67	46446.668
10.00น.	62466.67	39166.67	65866.67	71833.33	72133.33	62293.334
10.30น.	83333.33	82700	78233.33	54833.33	82433.33	76306.664
11.00น.	94433.33	93466.67	89566.67	84133.33	94633.33	91246.666
11.30น.	102066.7	100000	101033.33	93433.33	103600	100026.672
12.00น.	102500	96600	104600	73833.33	106166.7	96740.006
12.30น.	106166.7	105133.33	80400	101766.67	108633.3	100420
13.00น.	96000	109366.67	109400	104933.33	106933.3	105326.66
13.30น.	9566.67	104666.67	101233.33	104866.67	100800	84226.668
14.00น.	87166.67	95966.67	96766.67	97066.67	94133.33	94220.002
14.30น.	84200	103366.67	95066.67	91833.33	78666.67	90626.668
15.00น.	69633.33	77400	79600	71966.67	73133.33	74346.666
15.30น.	21477.67	46100	23433.33	62066.67	56700	41955.534
16.00น.	25466.67	44666.67	17066.67	37100	44266.67	33713.336

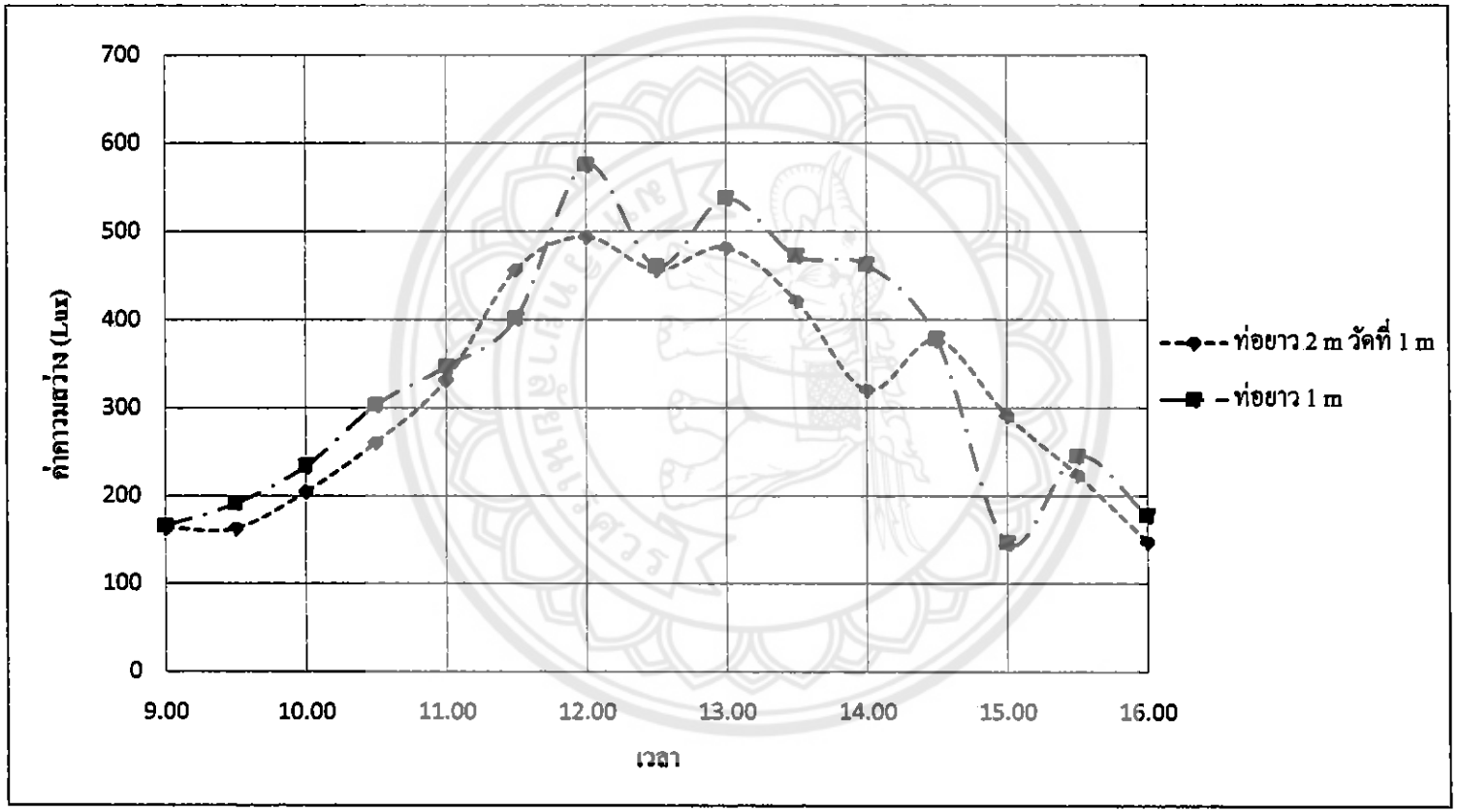
ภาคผนวก ข .

กราฟแสดงผลการทดลอง

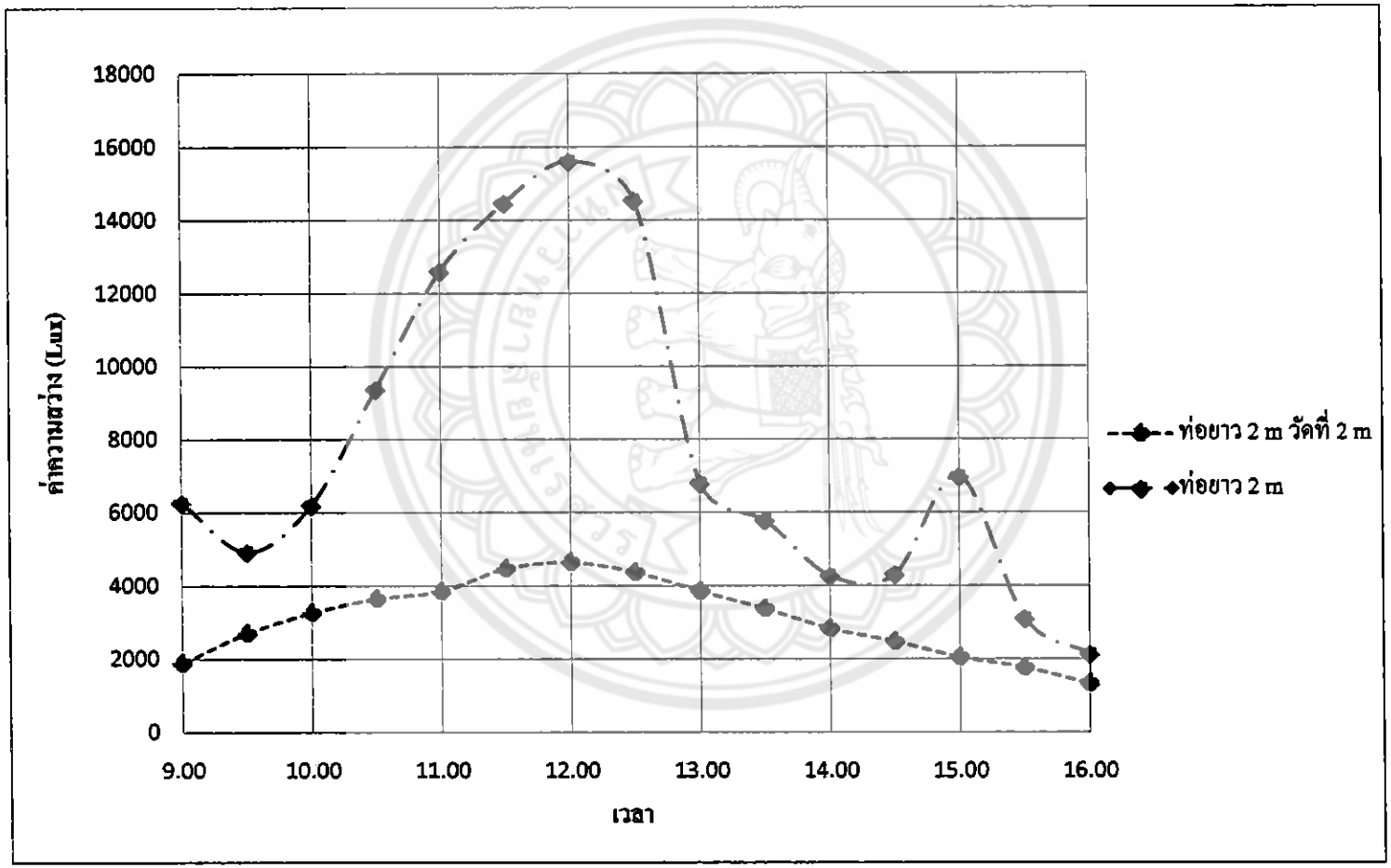
กราฟ ข.1 กราฟแสดงค่าความสว่างของ วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



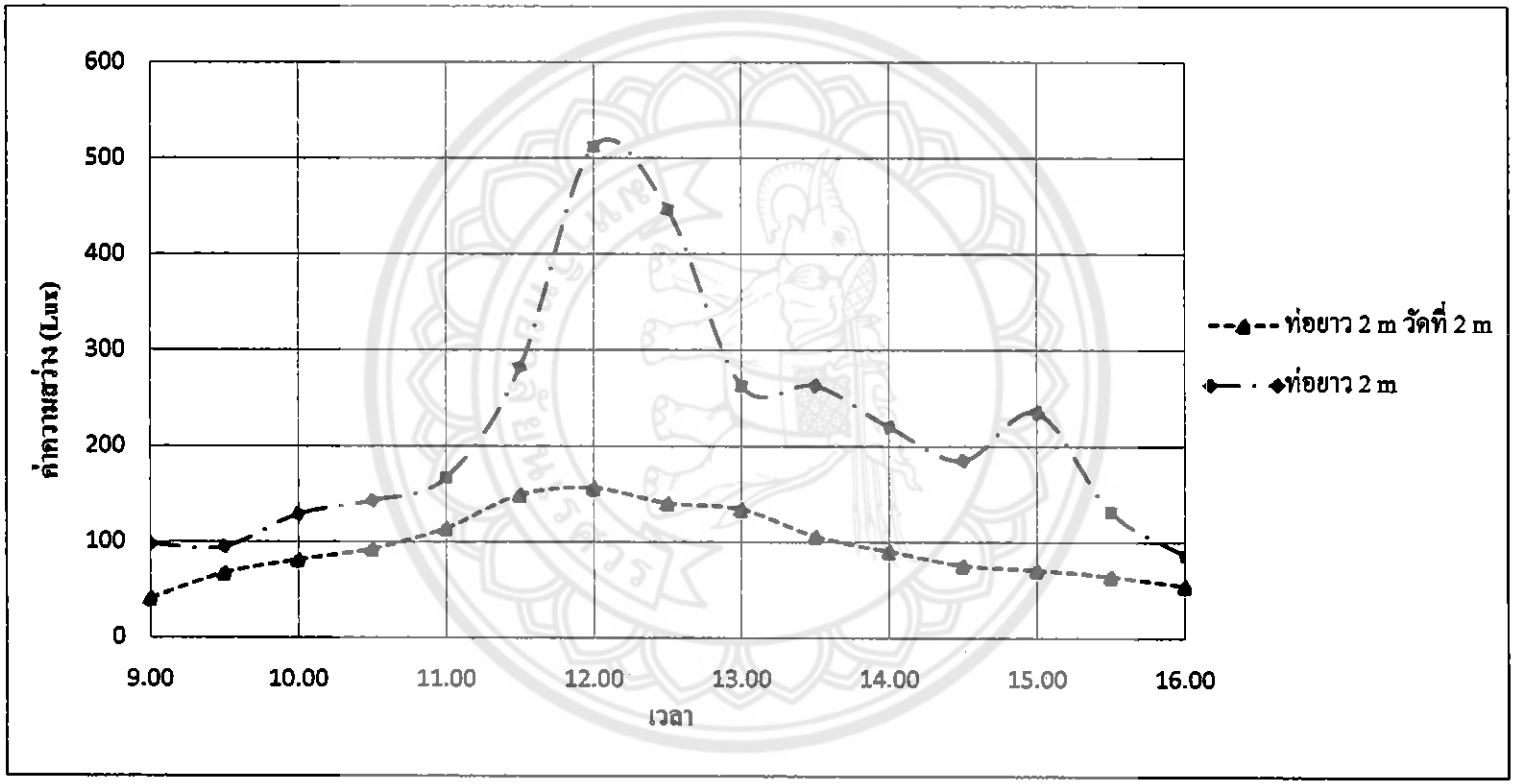
กราฟ ข.2 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดจากห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร



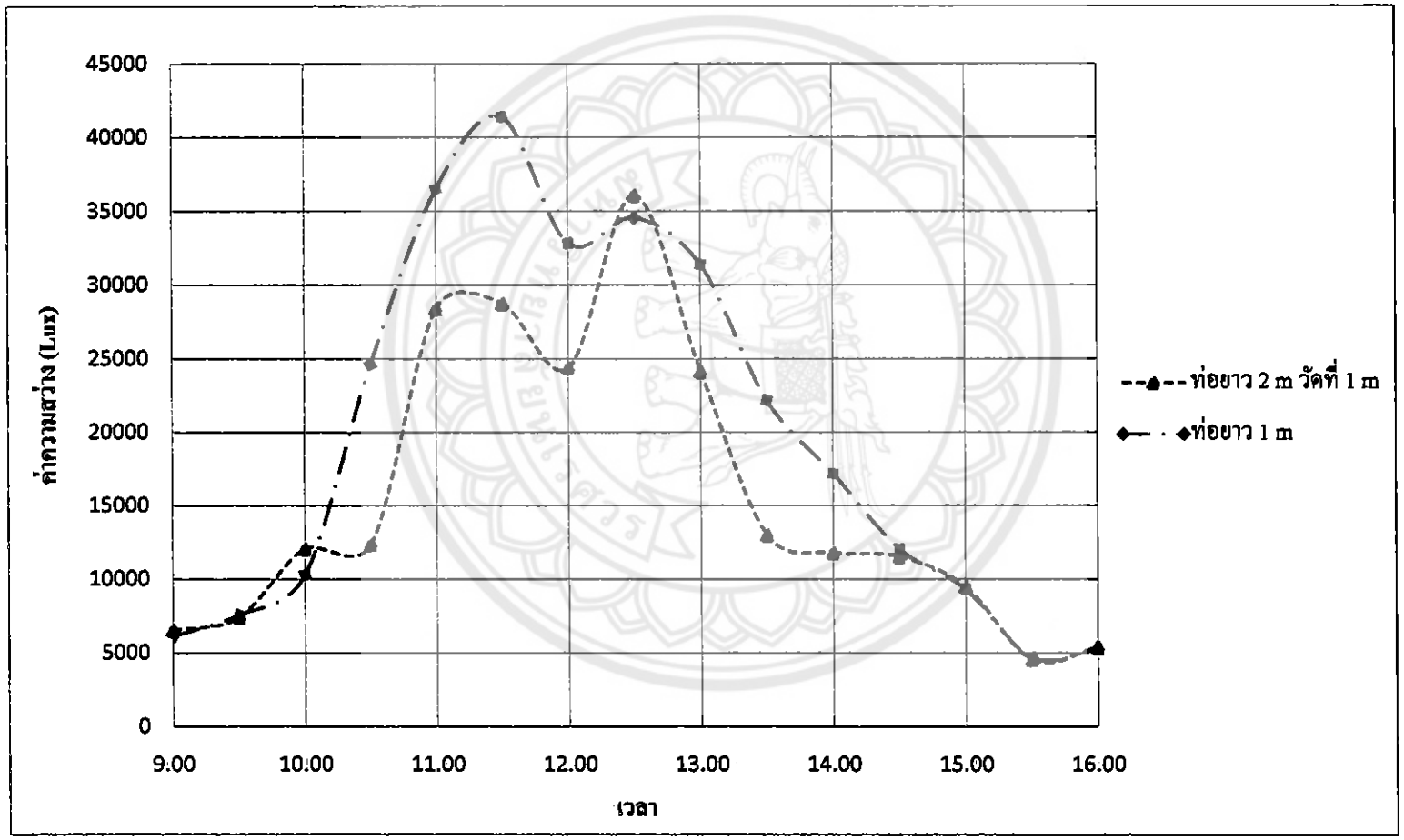
กราฟ ข.3 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดจากห่างช่องจ่ายแสง 0 เมตร



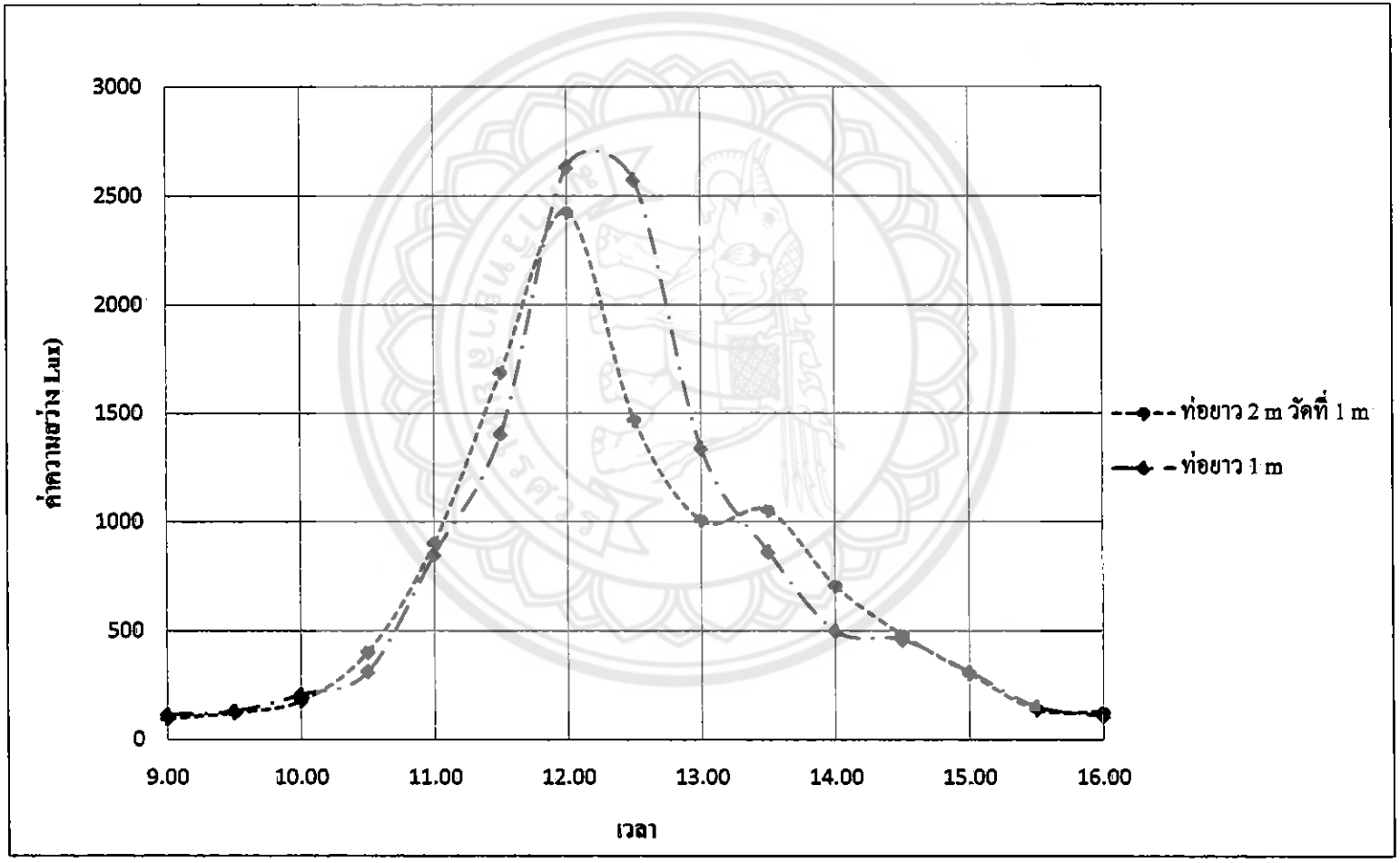
กราฟ ข.4 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดจากห่างช่องจ่ายแสง 1 เมตร



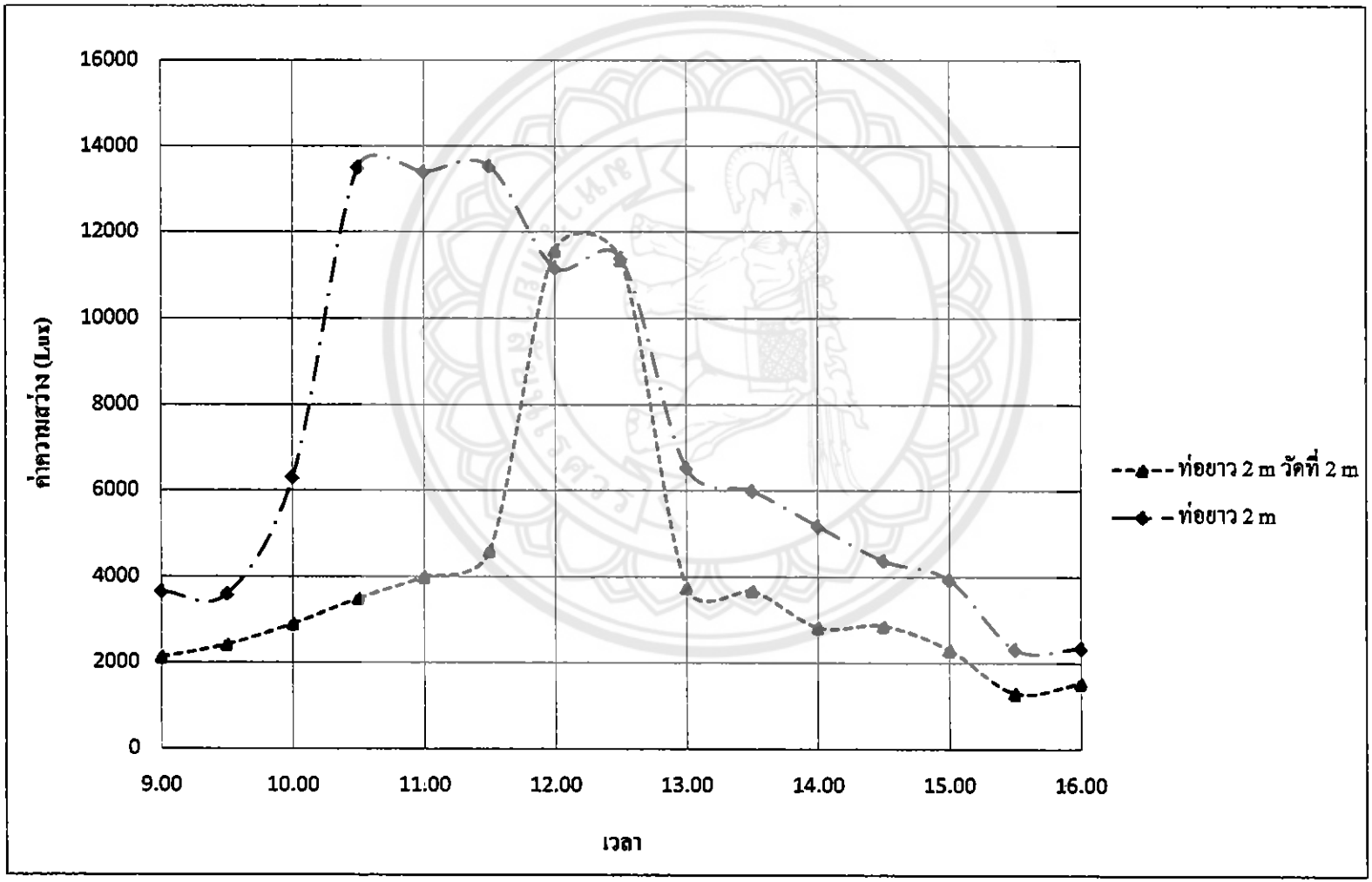
กราฟ ข.5 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



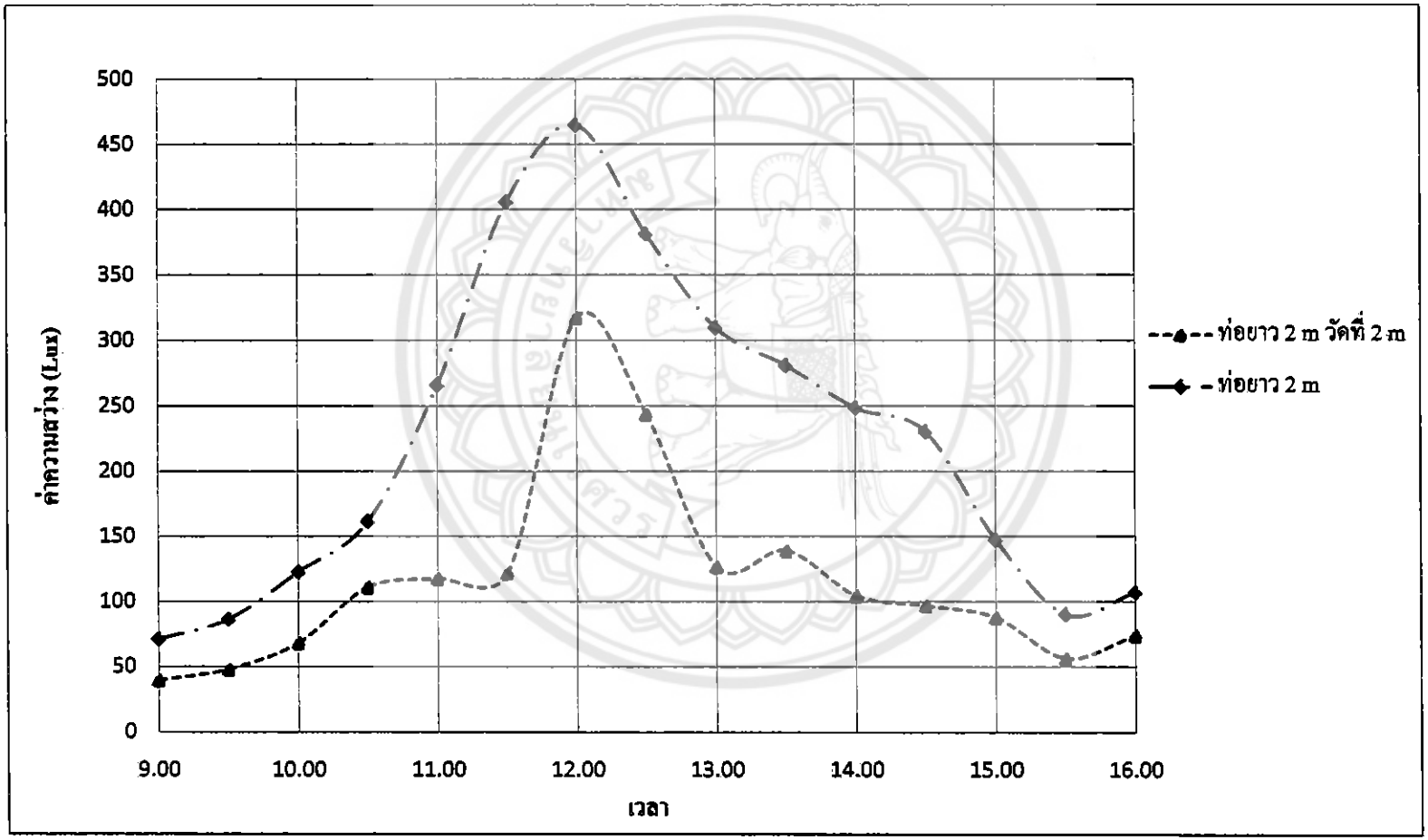
กราฟ ข.6 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



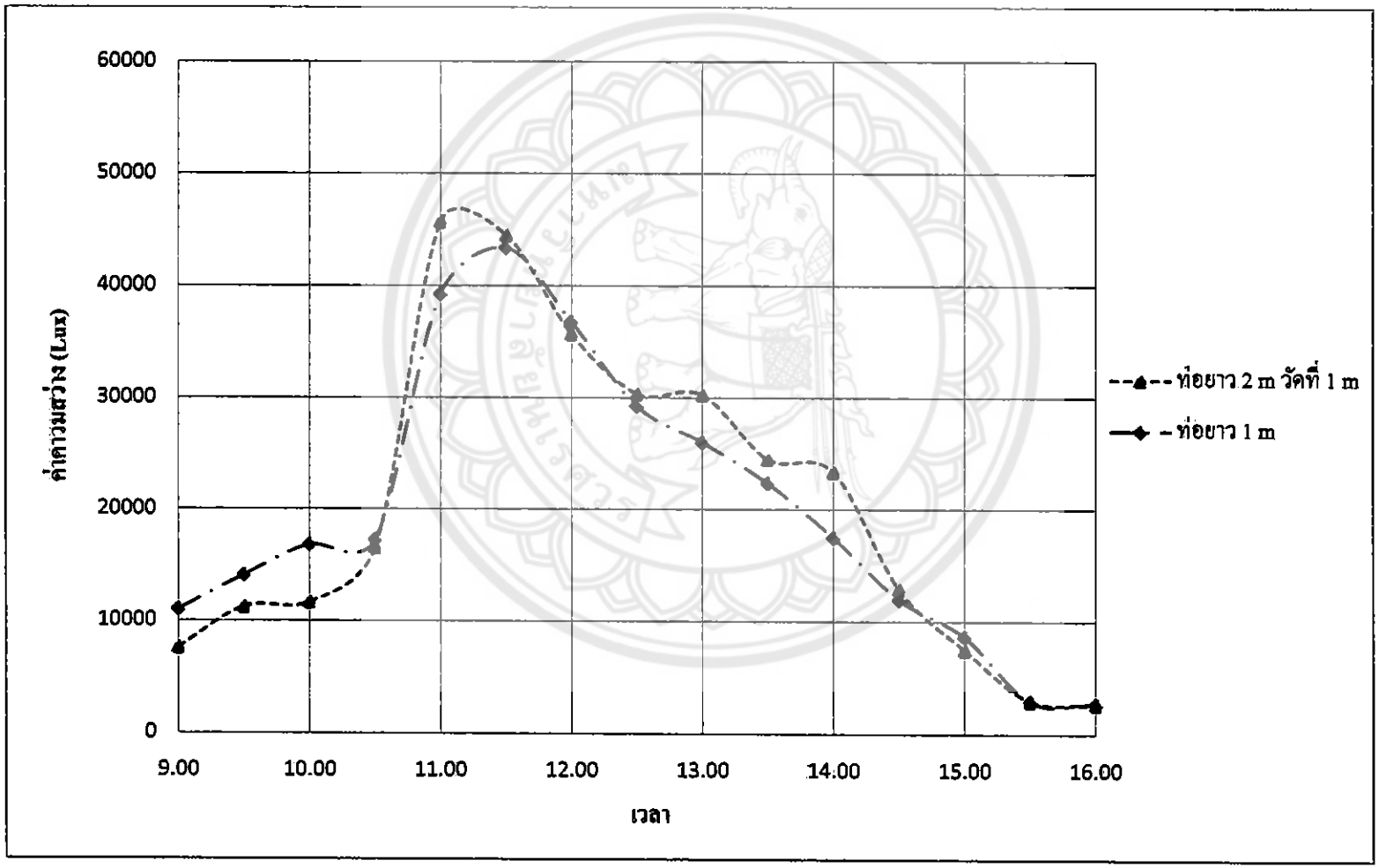
กราฟ ข.7 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



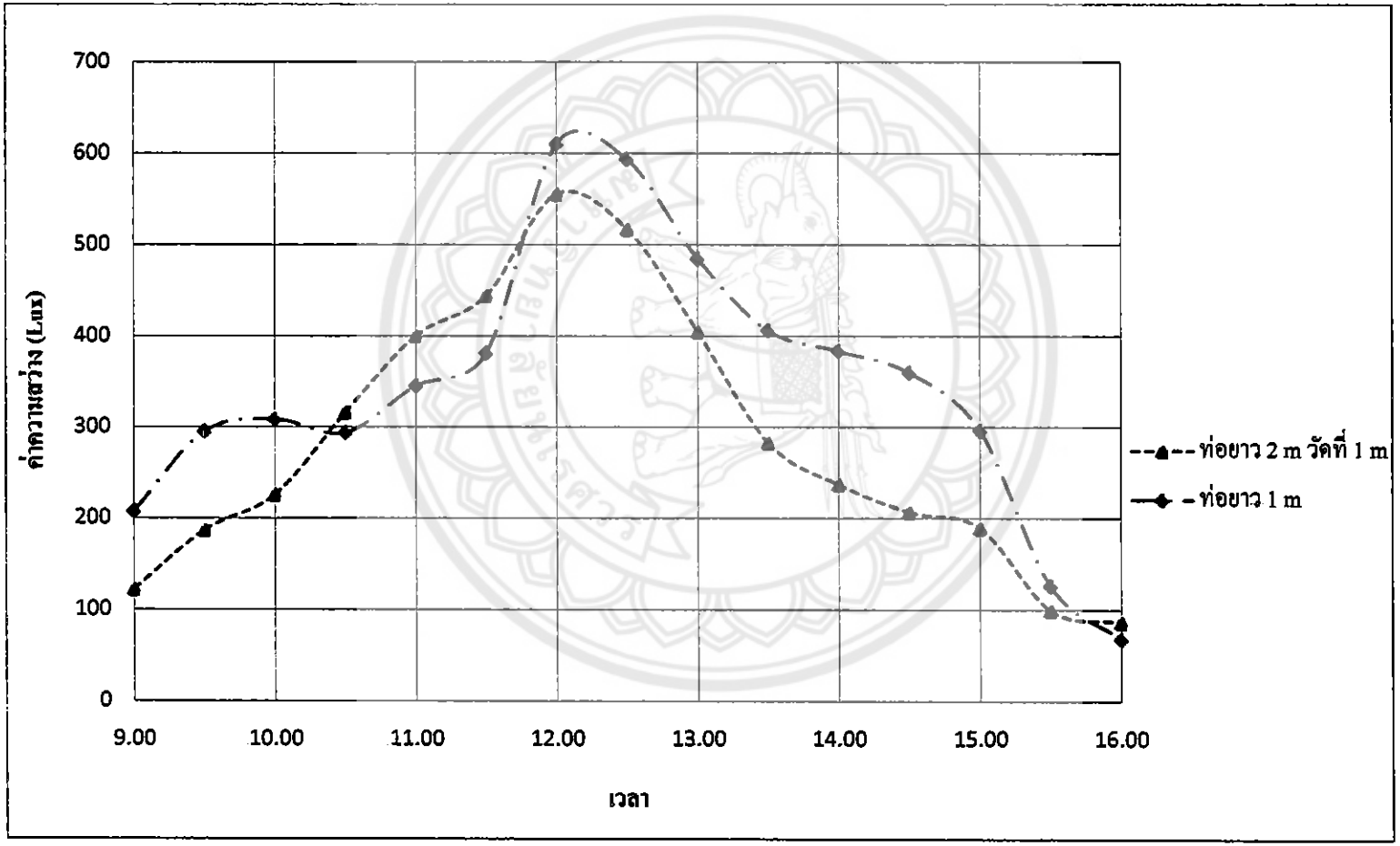
กราฟ ข.8 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากชุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



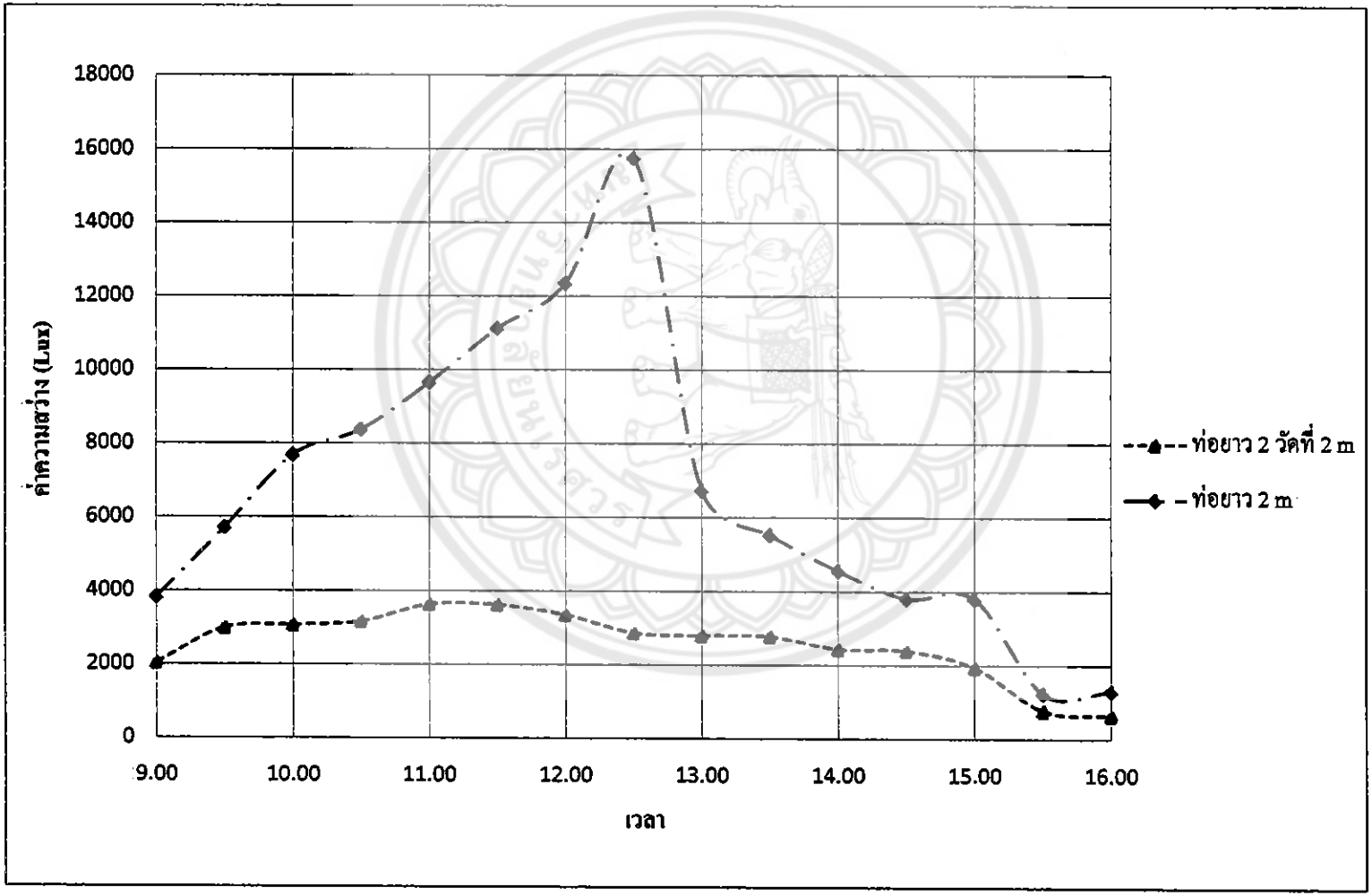
กราฟ ข.9 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



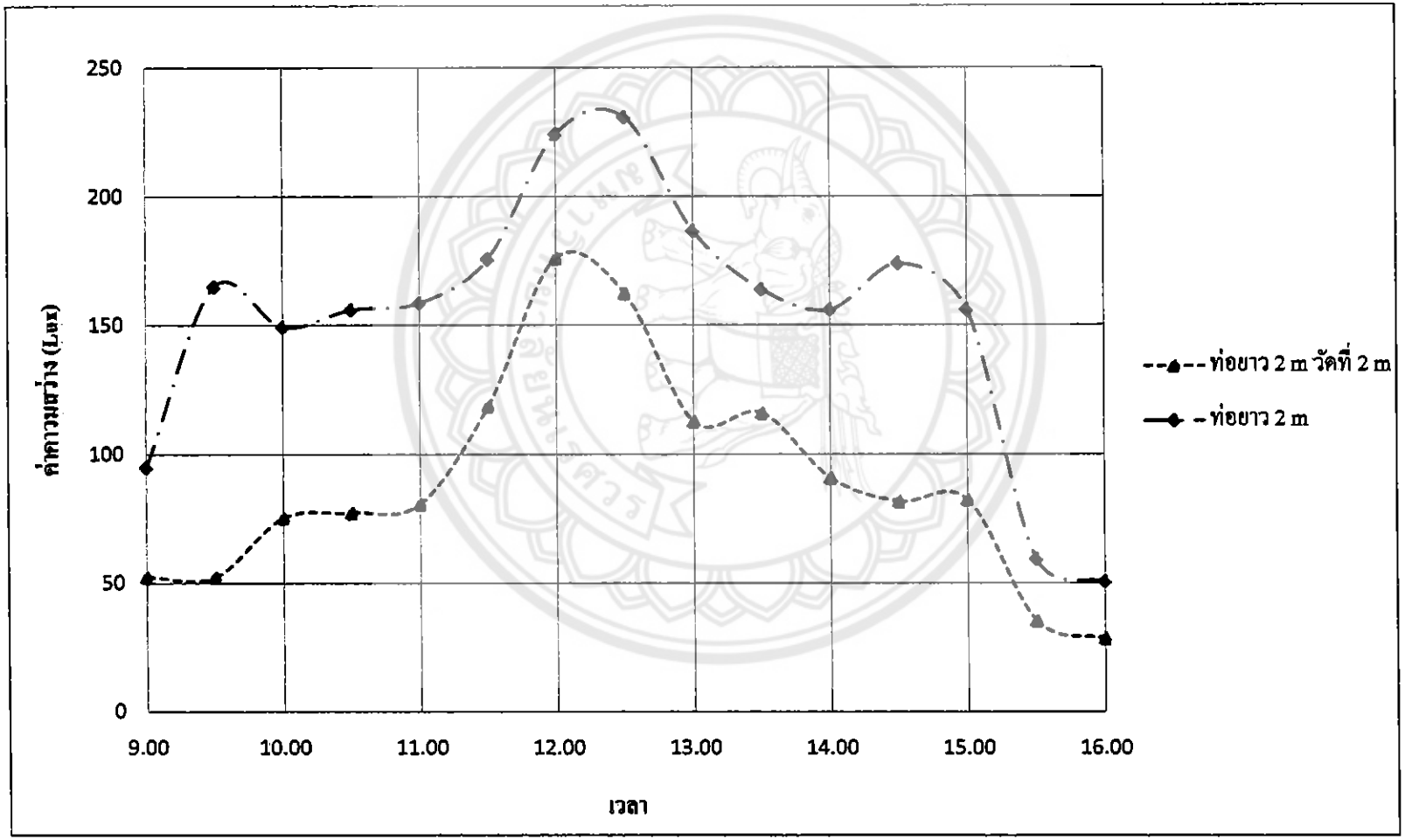
กราฟ ข.10 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



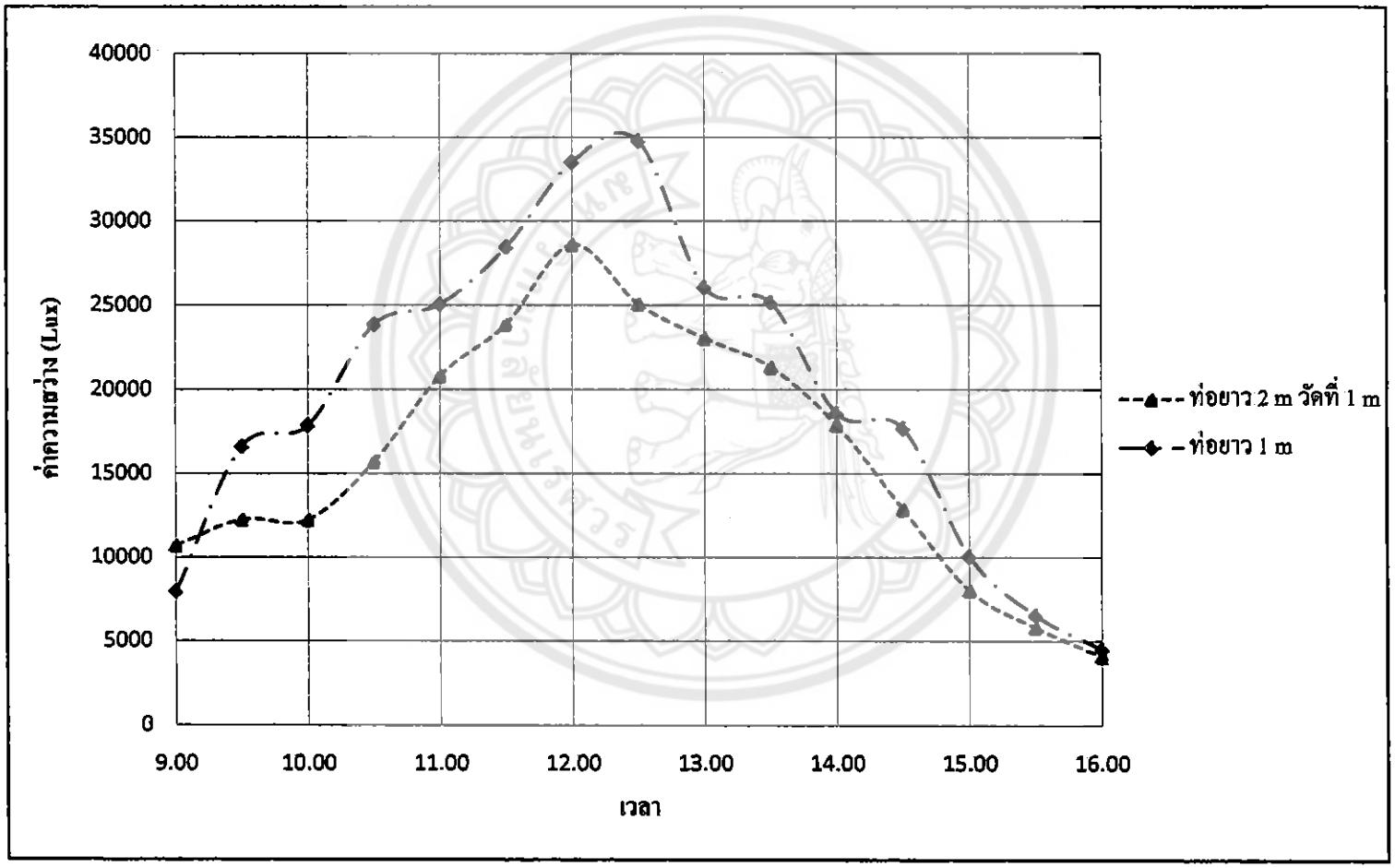
กราฟ ข.11 กราฟแสดงค่าความสว่างของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



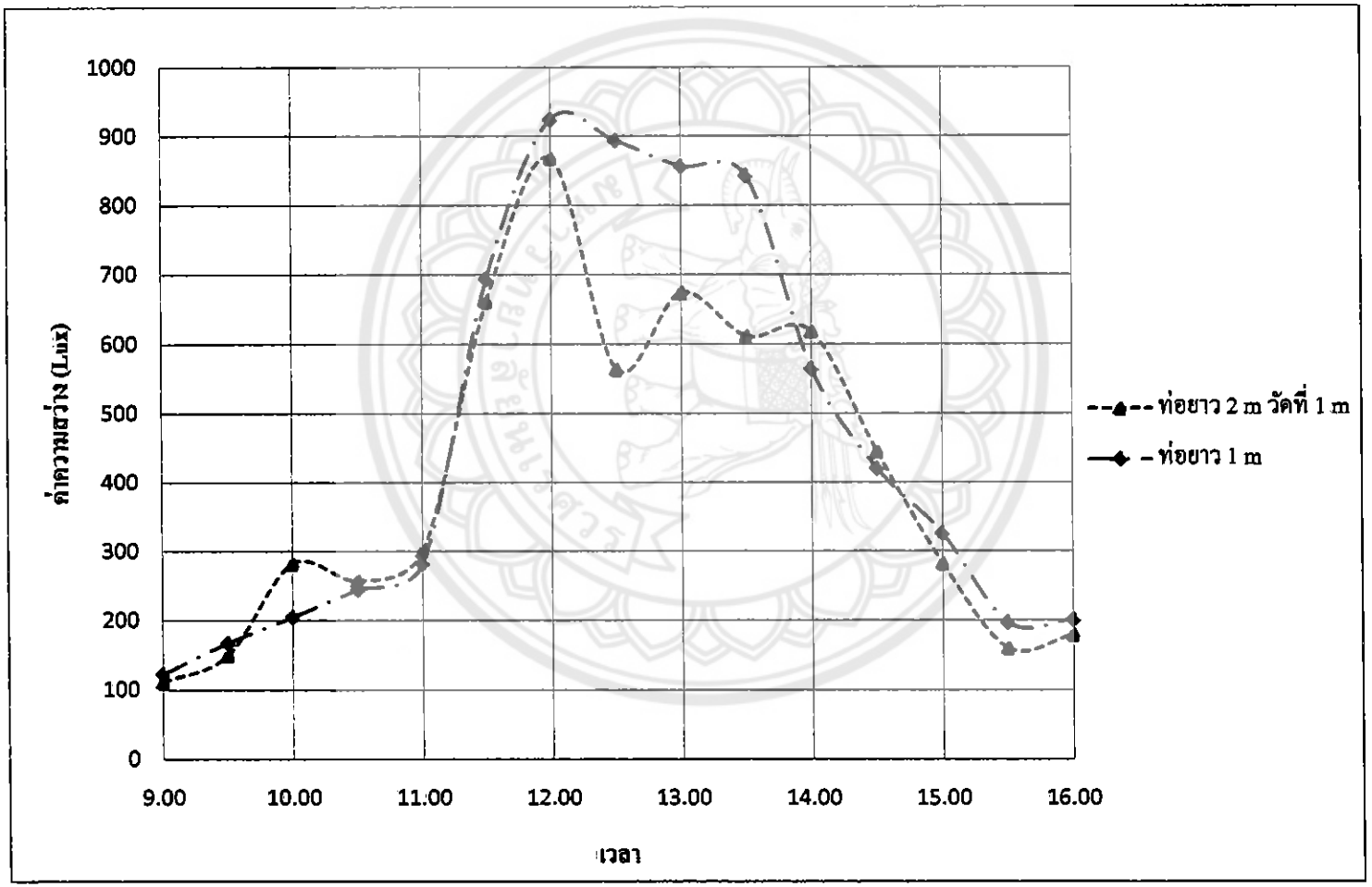
กราฟ ข.12 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



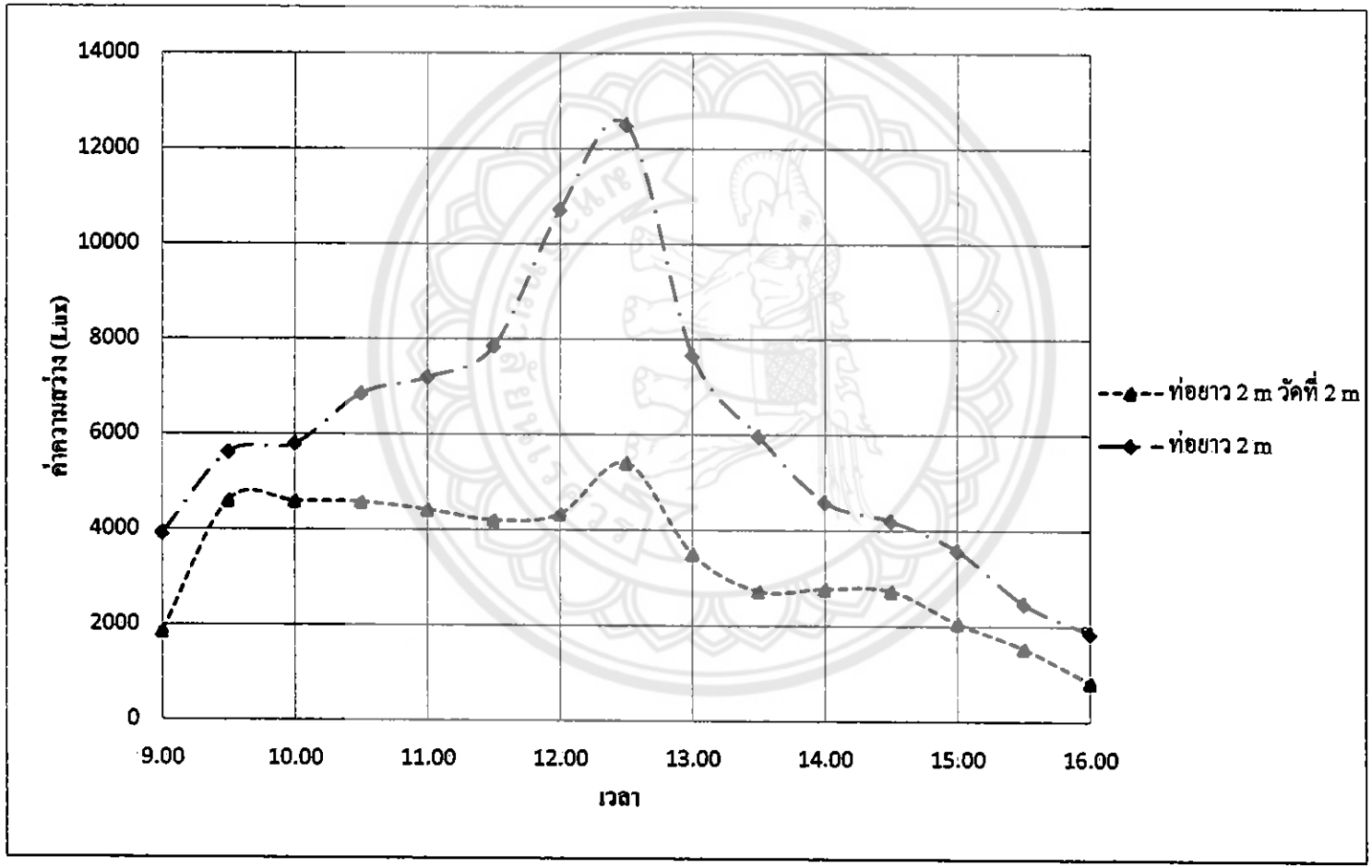
กราฟ ข.13 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 1 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



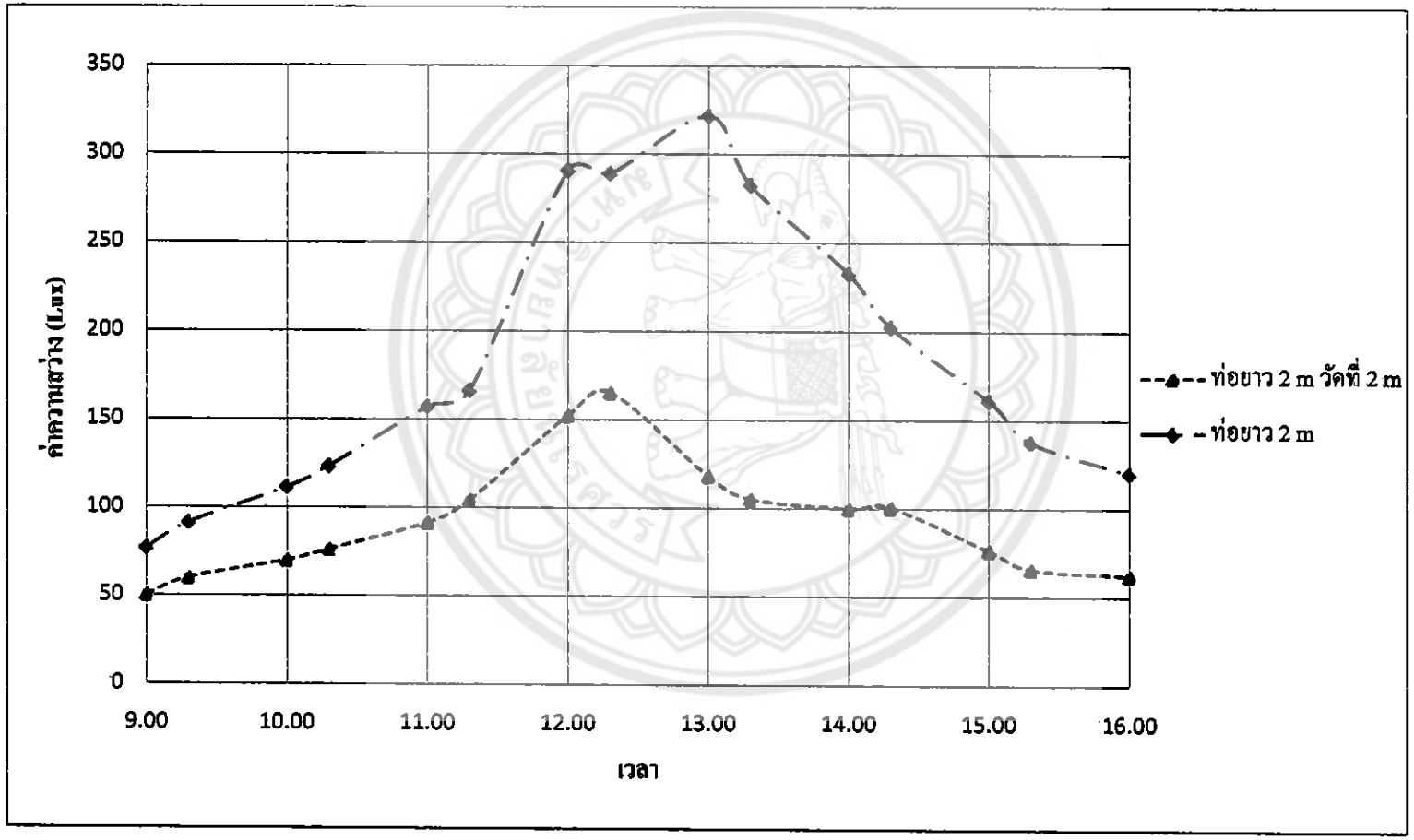
กราฟ ข.14 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 1 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



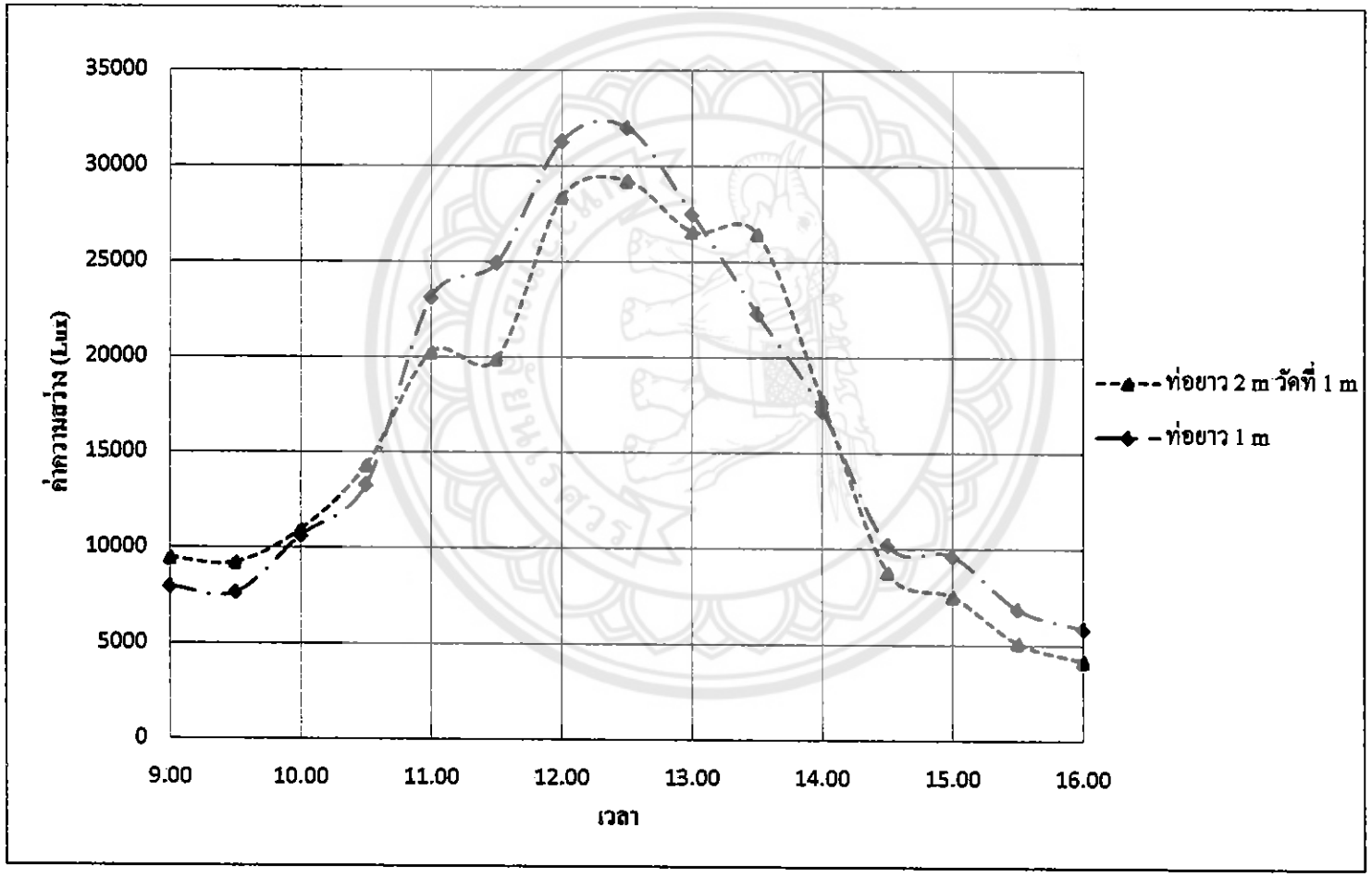
กราฟ ข.15 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 1 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



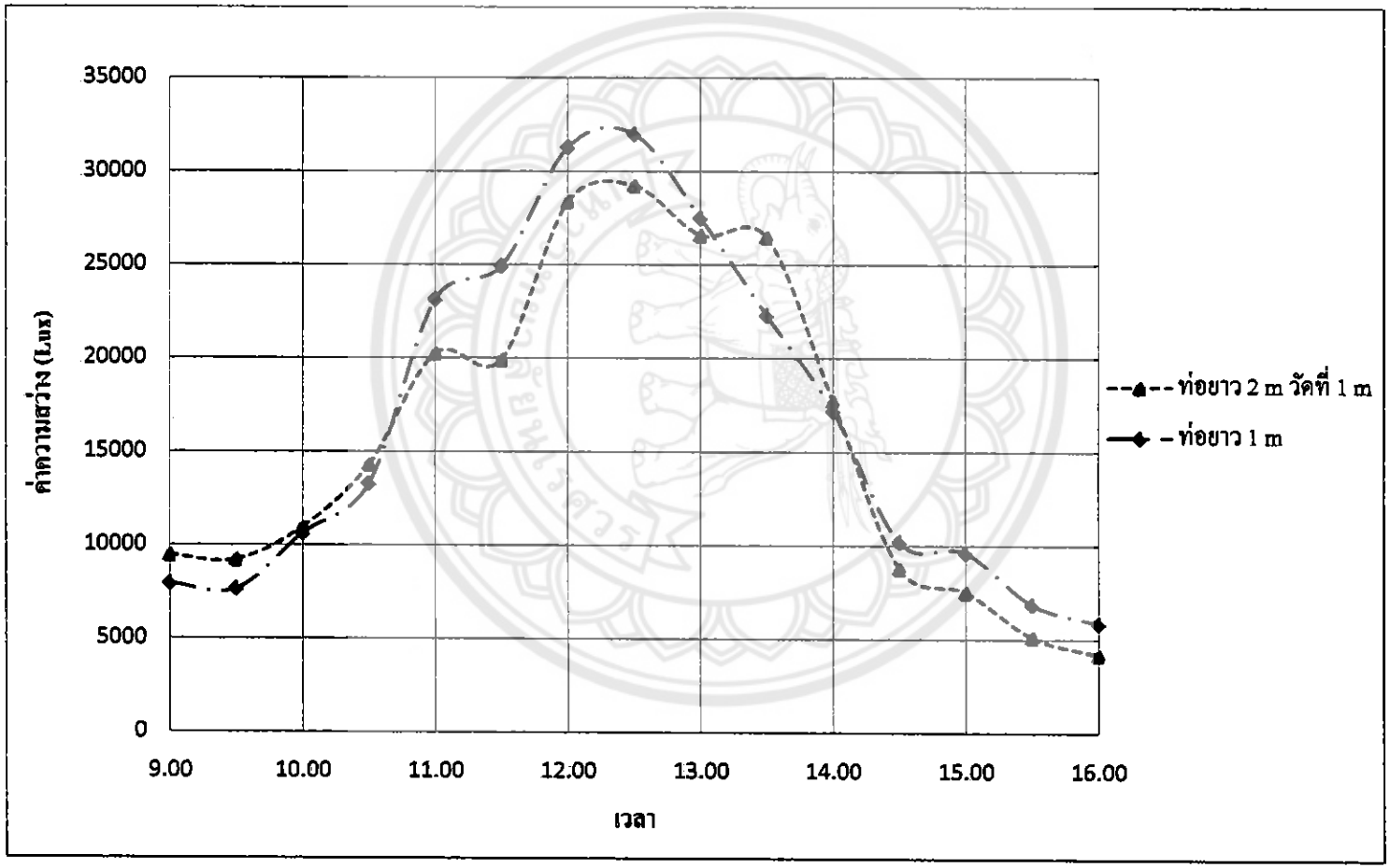
กราฟ ข.16 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 1 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



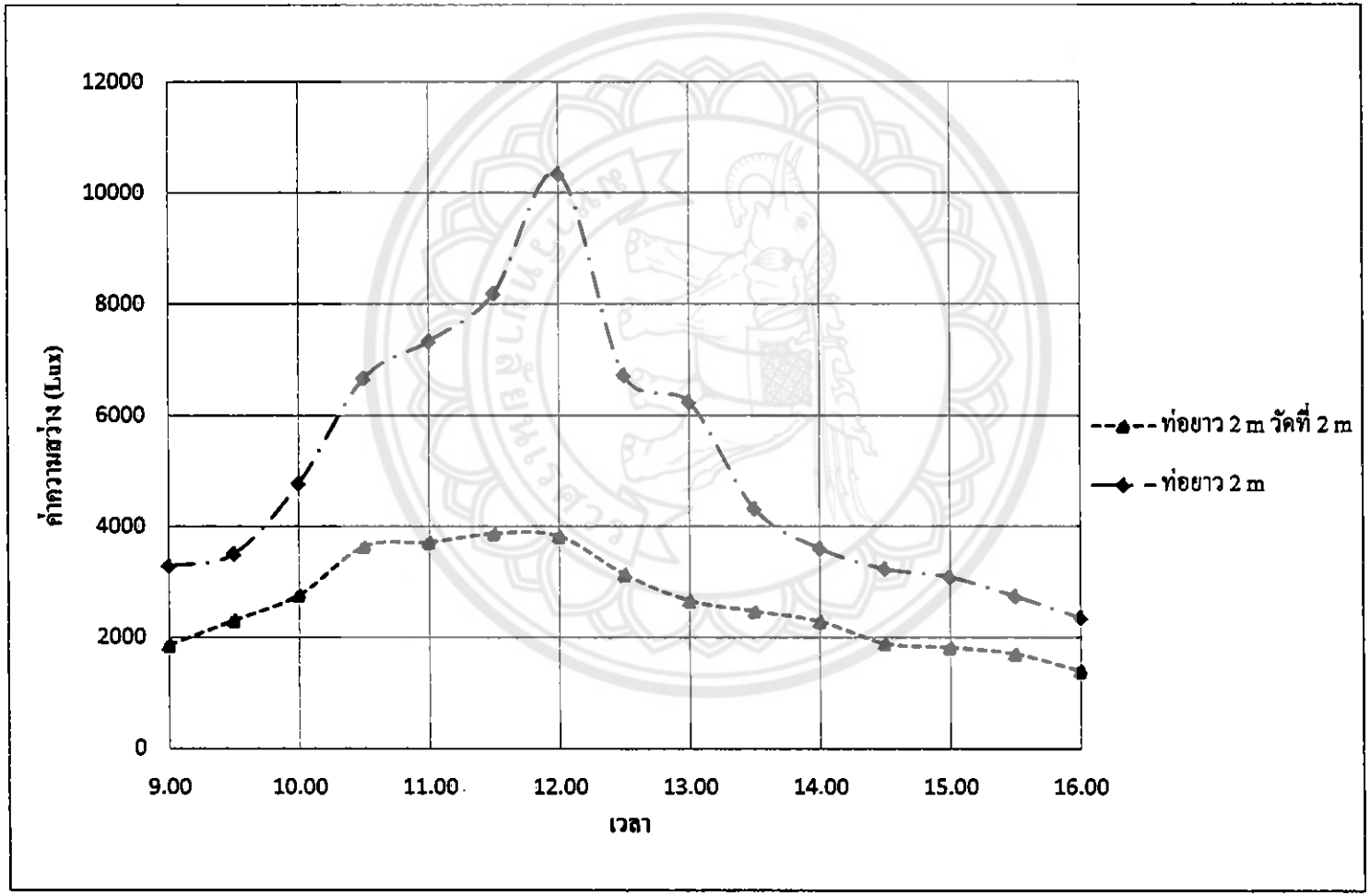
กราฟ ข.17 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 3 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



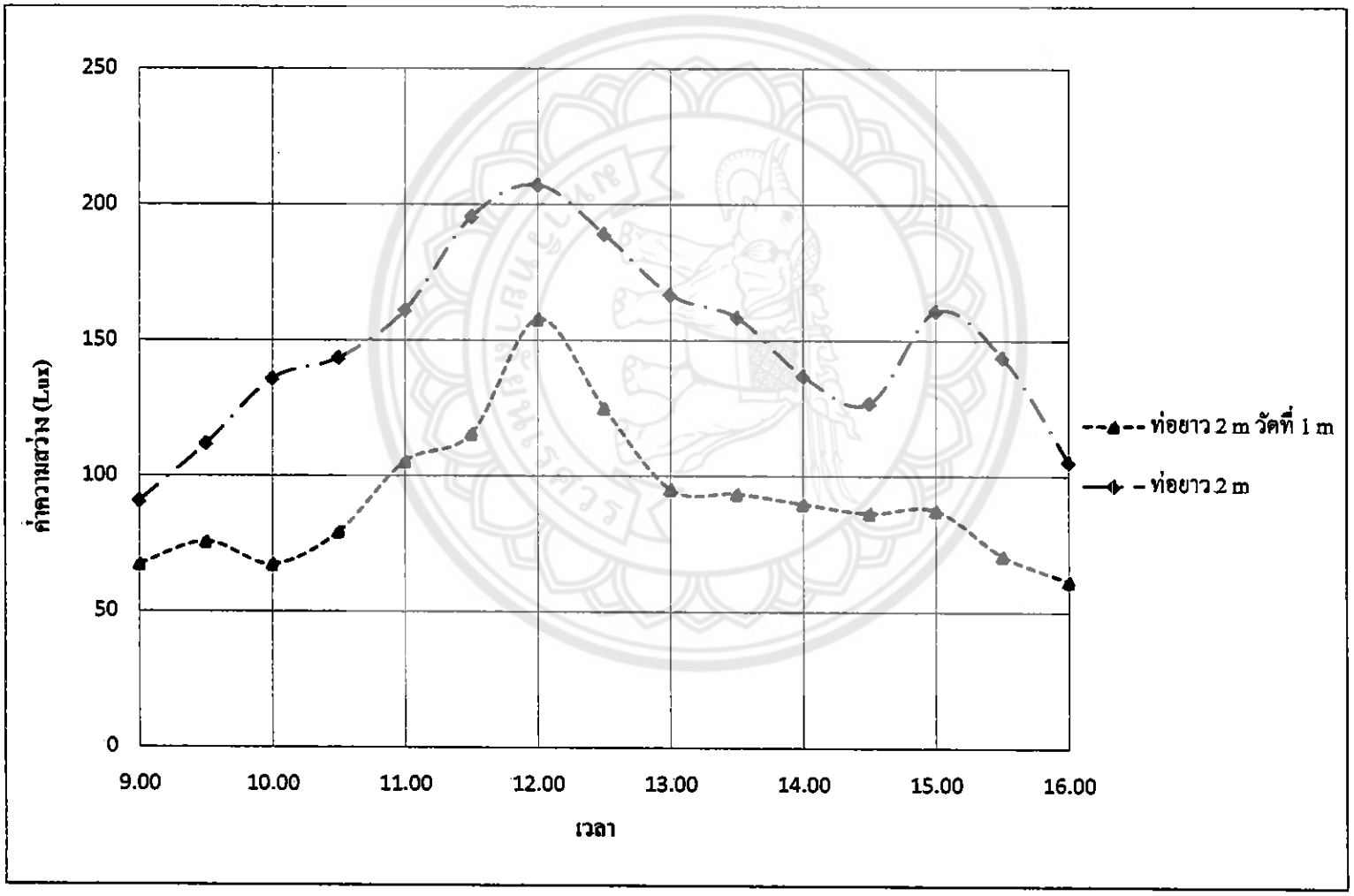
กราฟ ข.18 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 3 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



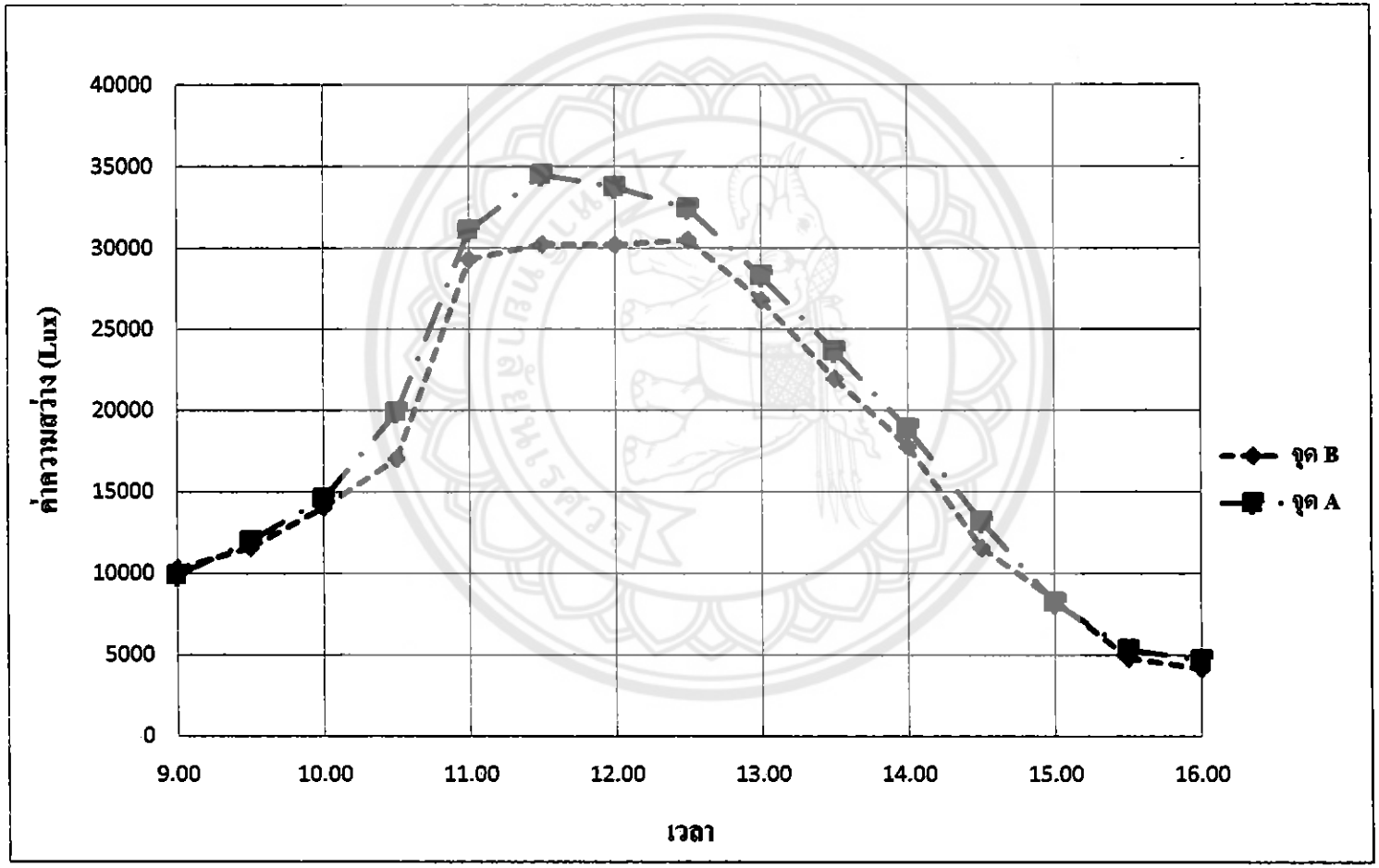
กราฟ ข.19 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 3 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



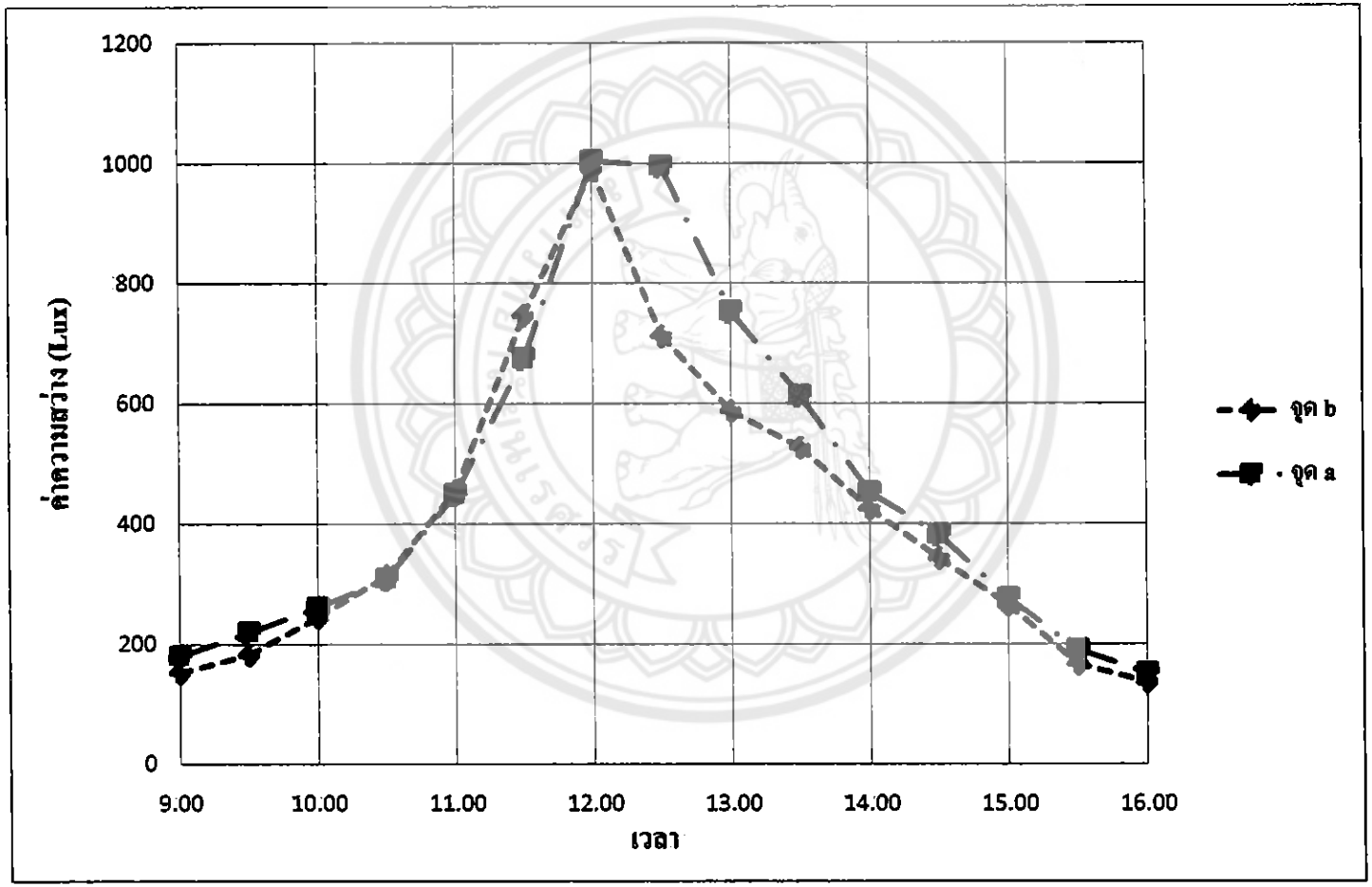
กราฟ ข.20 กราฟแสดงค่าความสว่าง ของวันที่ 3 มีนาคม 2554 ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



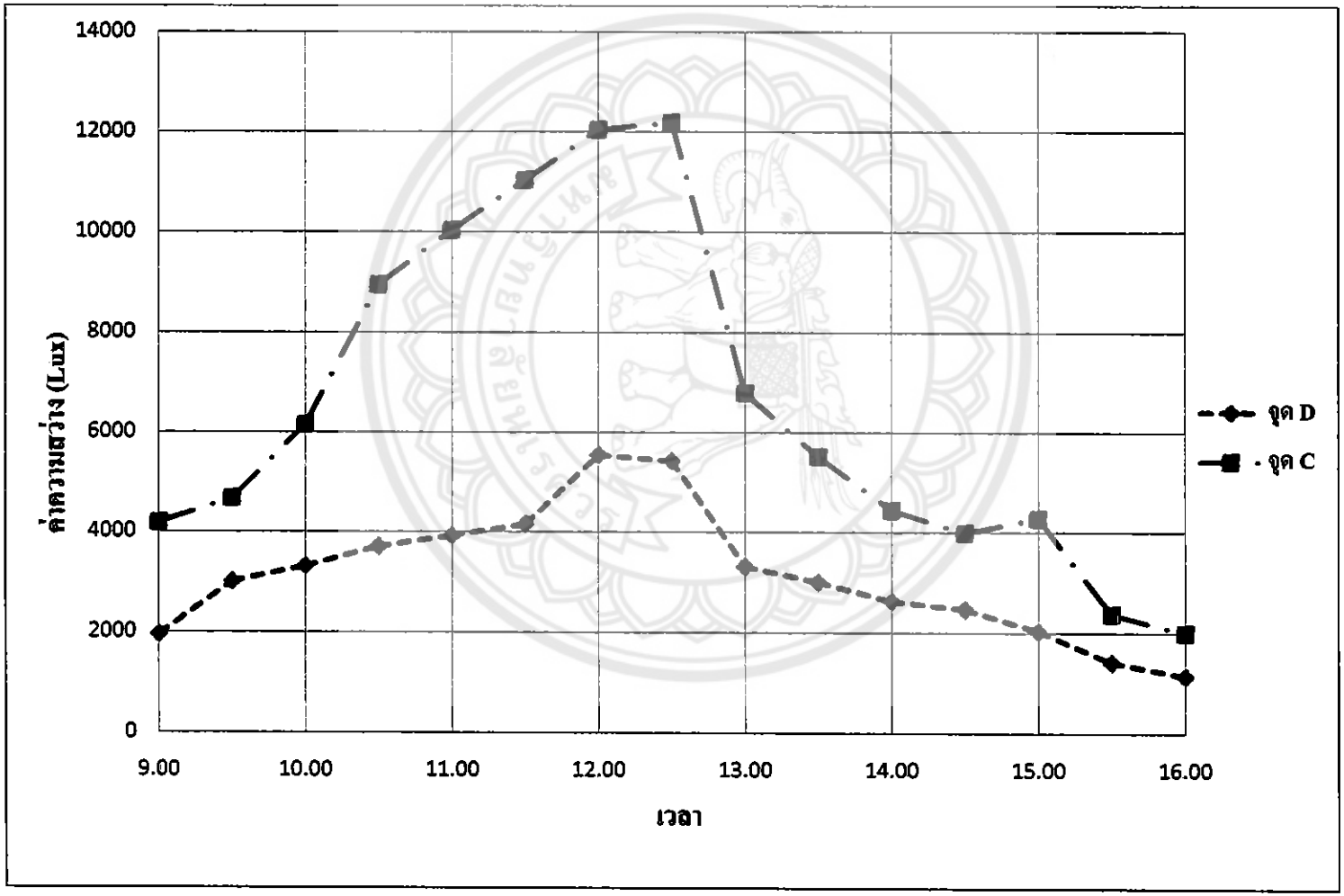
กราฟ ข.21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



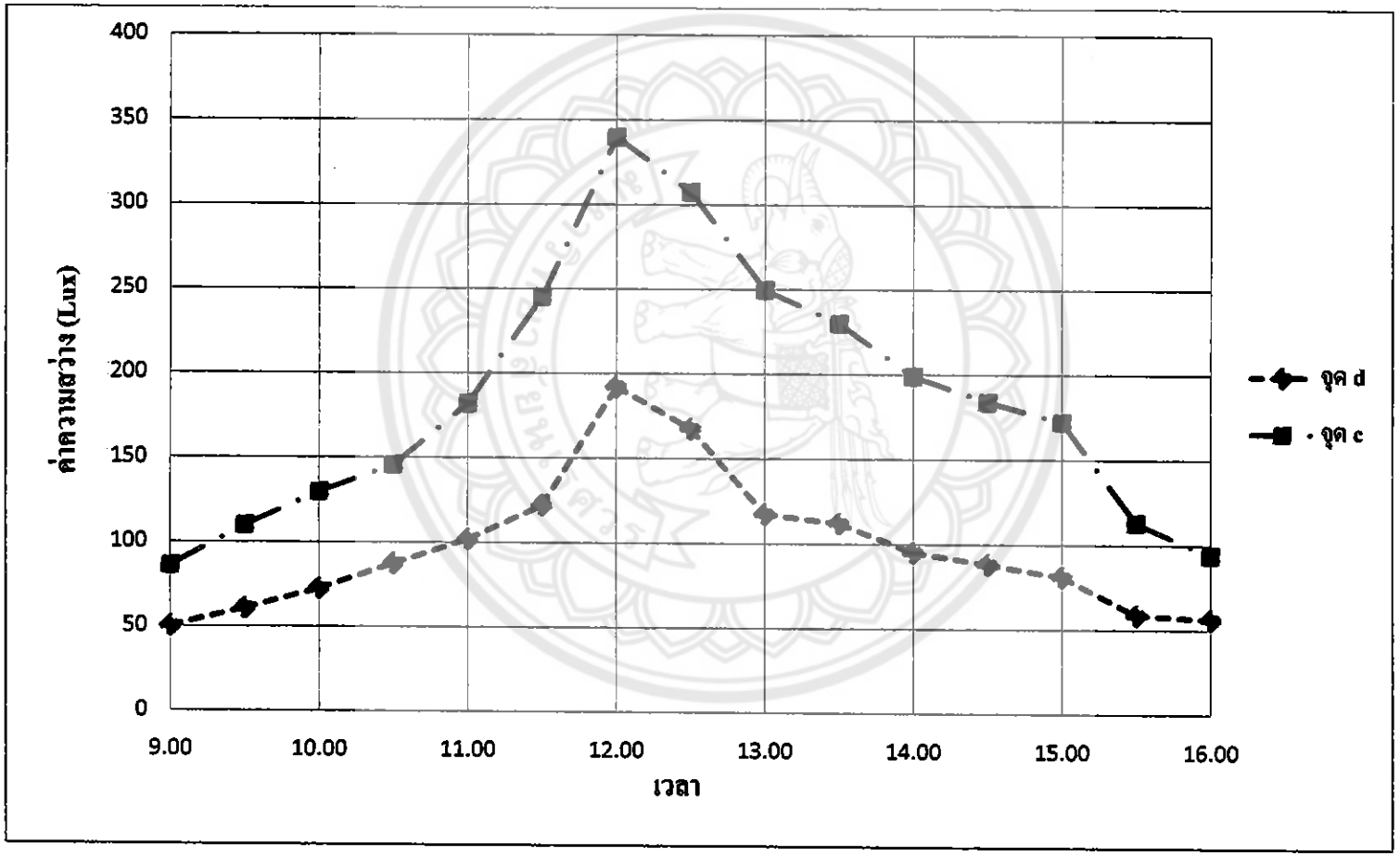
กราฟ ข.22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 1 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



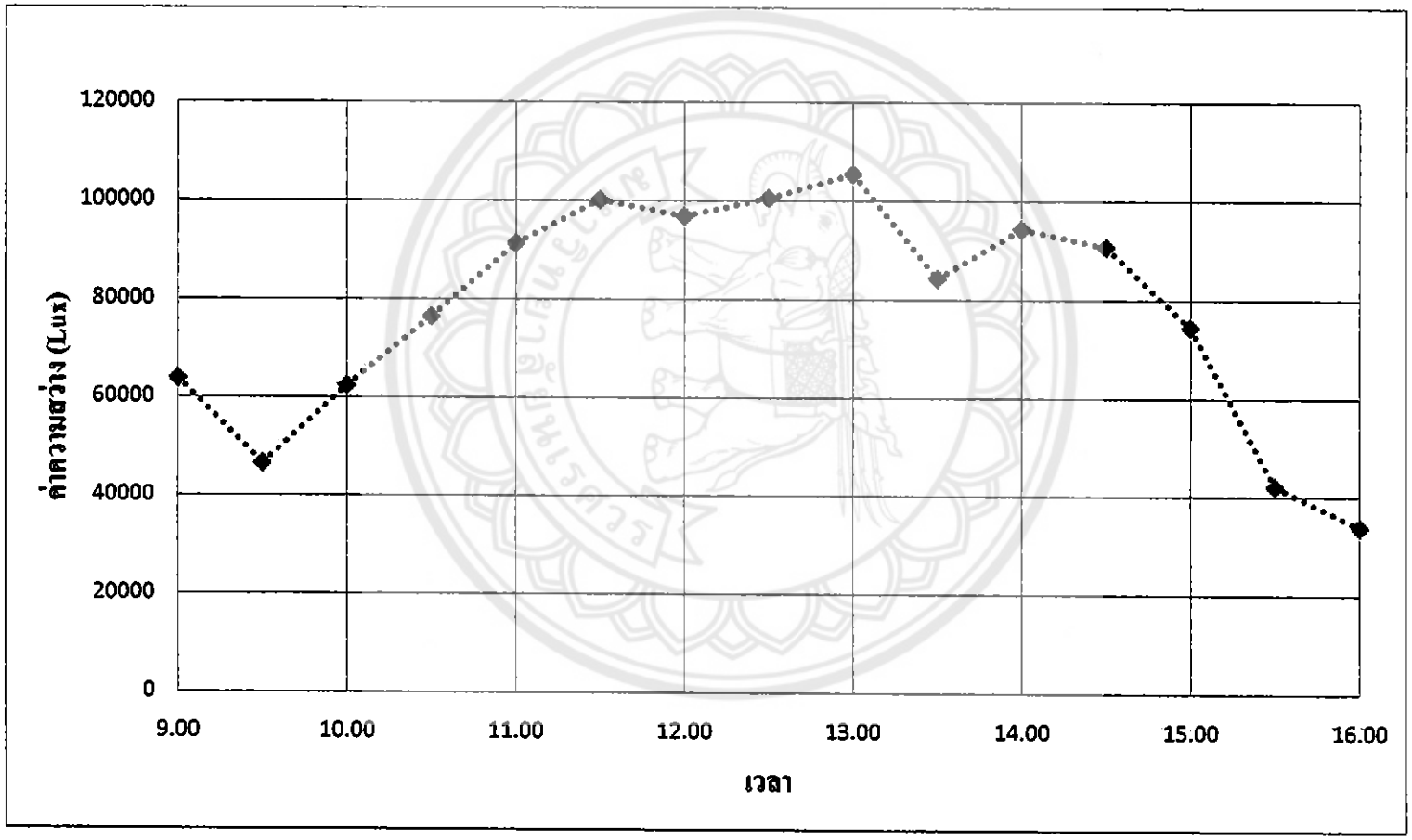
กราฟ ข.23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 0 เมตร



กราฟ ข.24 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา ที่ระยะห่างจากจุดรับแสง 2 เมตร วัดห่างจากช่องจ่ายแสง 1 เมตร



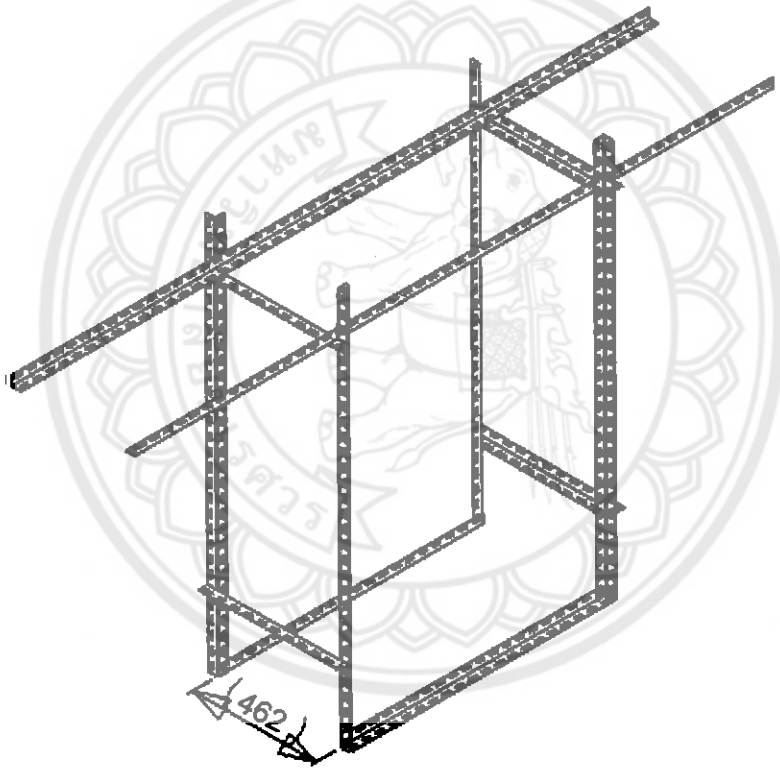
กราฟ ข.25 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละเวลา ที่จุดรับแสง



ภาคผนวก ค.

แบบโครงสร้างของท่อนำแสง

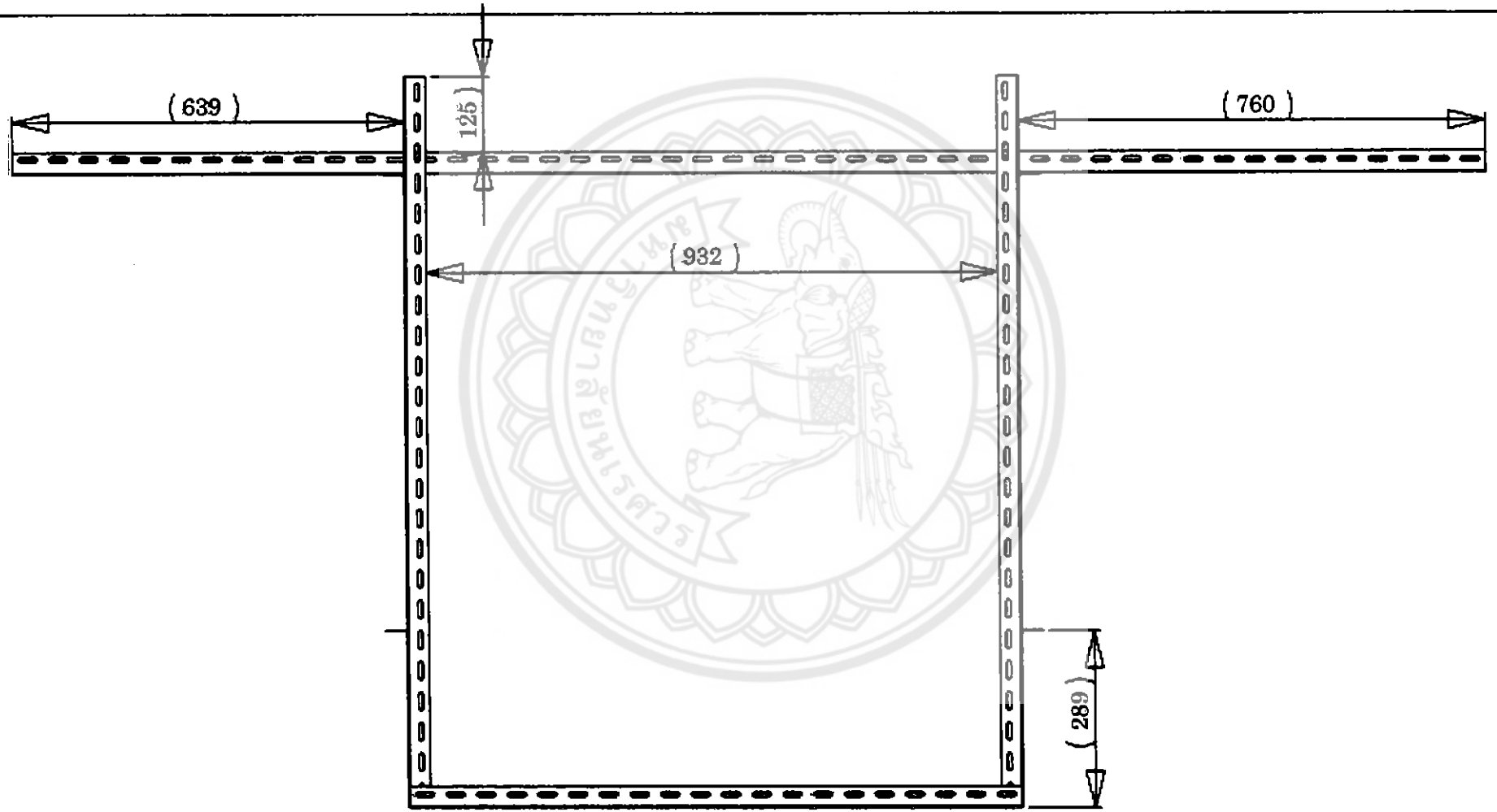
รูป ค.1 แสดงโครงสร้างขาตั้งของท่อนำแสง



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	โครงสร้างขาตั้งของท่อนำแสง	SCALE: 1:20	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 1/11

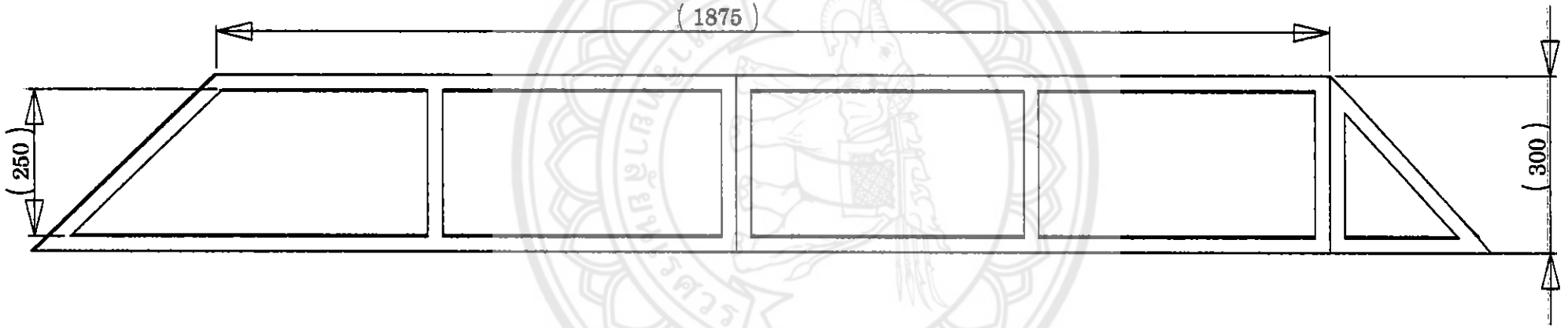
รูป ค.2 แสดงโครงสร้างของท่อนำแสงส่วนหลัง



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING **NARESUAN UNIVERSITY**	โครงสร้างท่อนำแสงส่วนหลัง	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 2/11

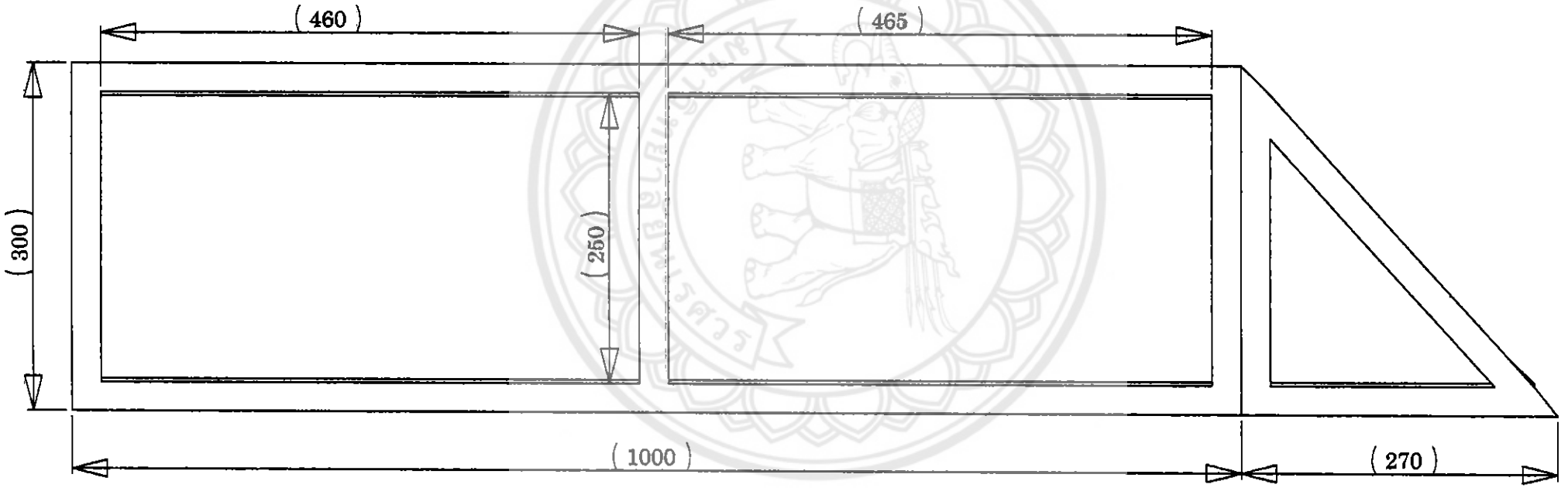
รูป ค.3 แสดงขนาดของท่อนำแสง



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	ขนาดของท่อนำแสง	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 3/11

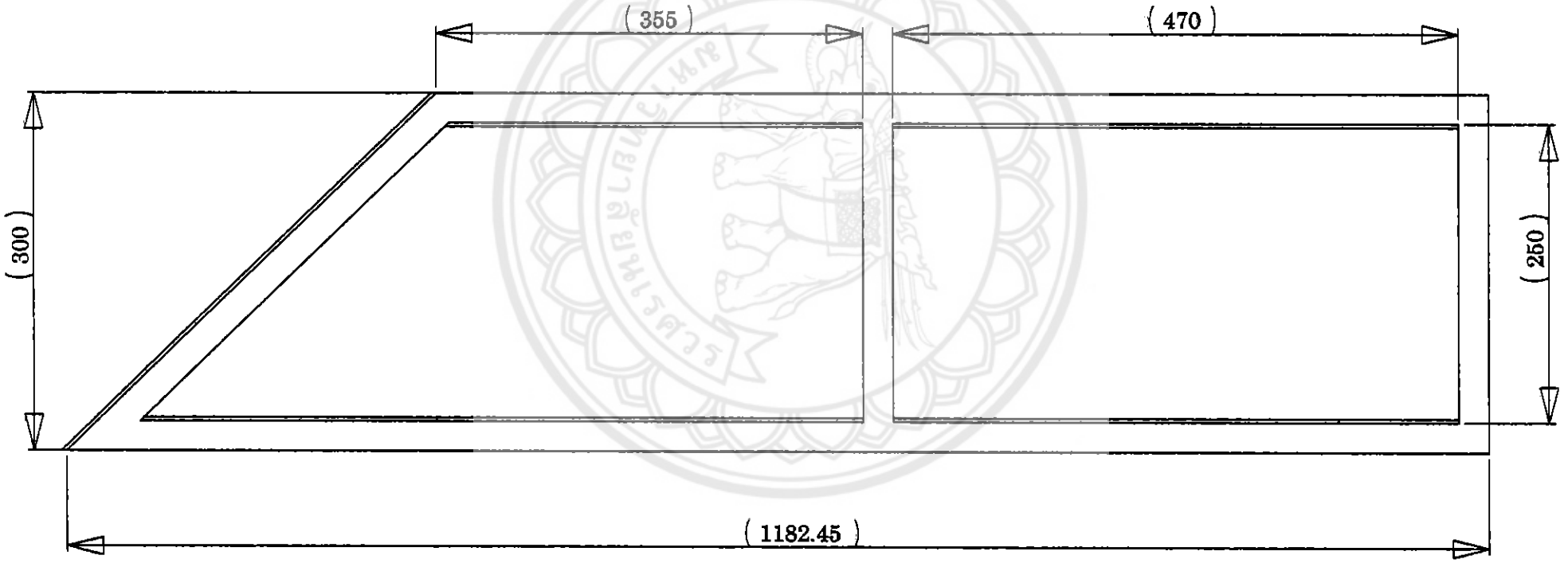
รูป ค.4 แสดงขนาดของท่อนำแสงส่วนหน้า



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	ขนาดของท่อนำแสงส่วนหน้า	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 4/11

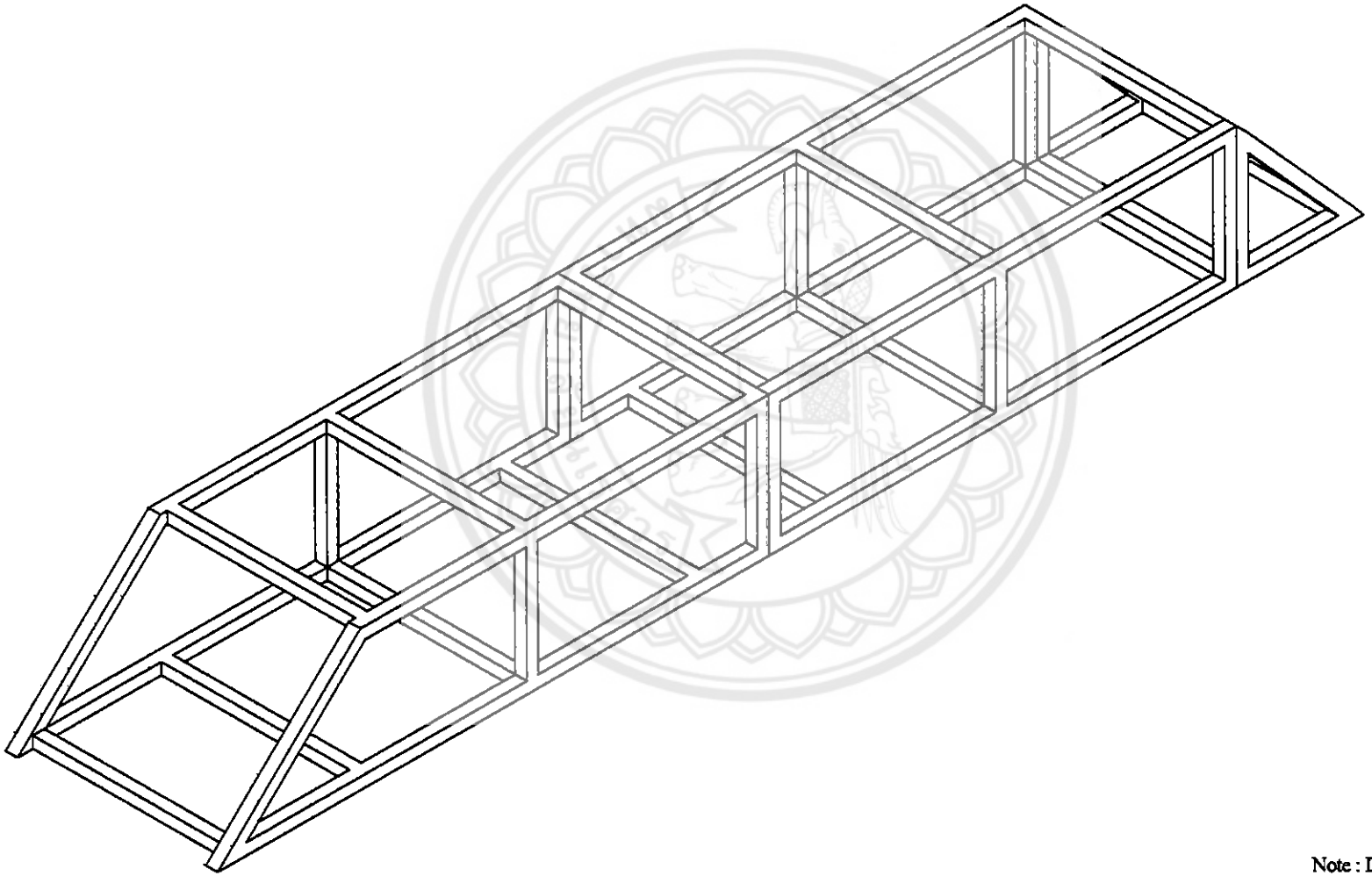
รูป ค.5 แสดงขนาดของท่อนำแสงส่วนหลัง



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	ขนาดของท่อนำแสงส่วนหลัง	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 5/11

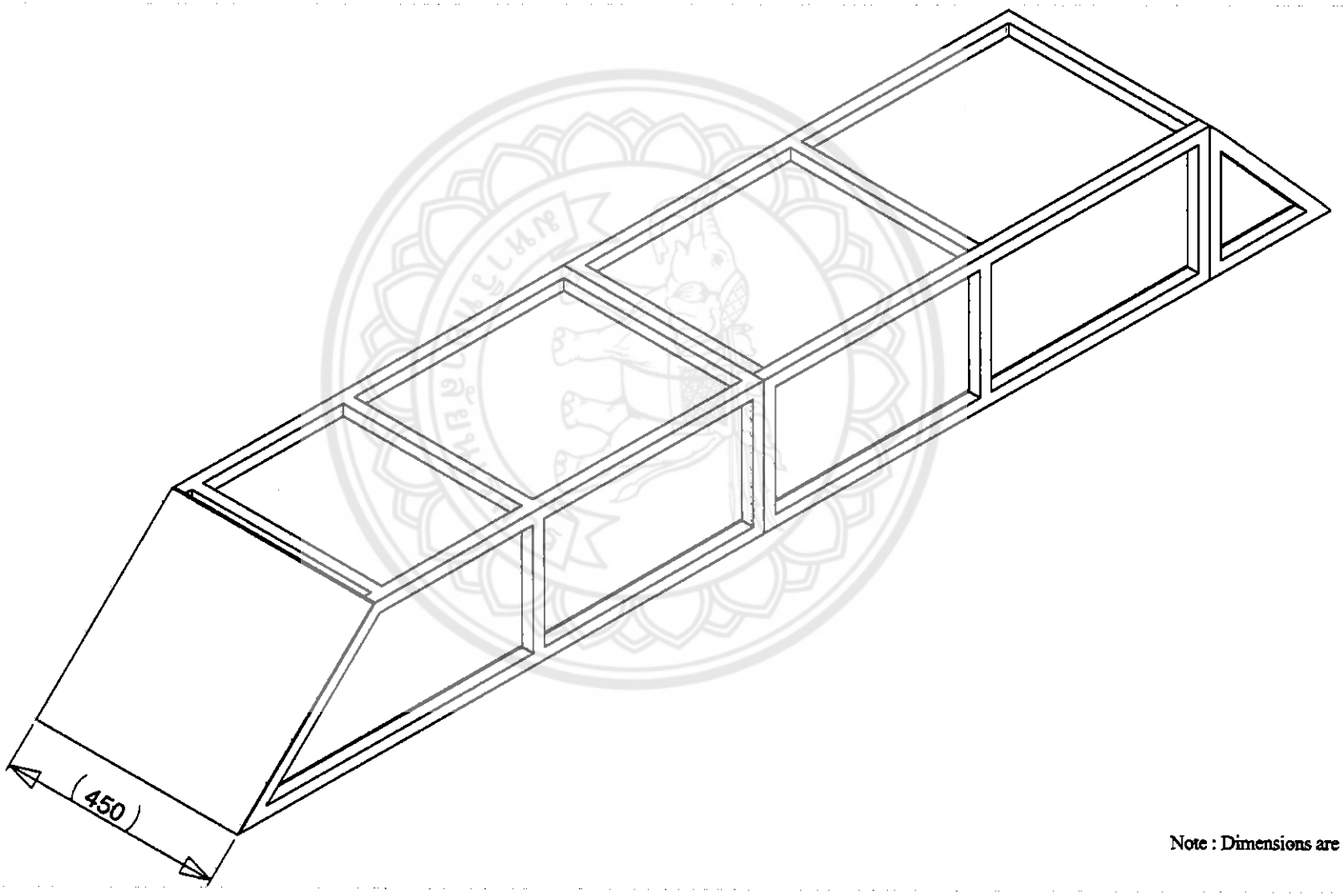
รูป ค.6 แสดงโครงสร้างรองรับกระจก



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	โครงสร้างรองรับกระจก	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 6/11

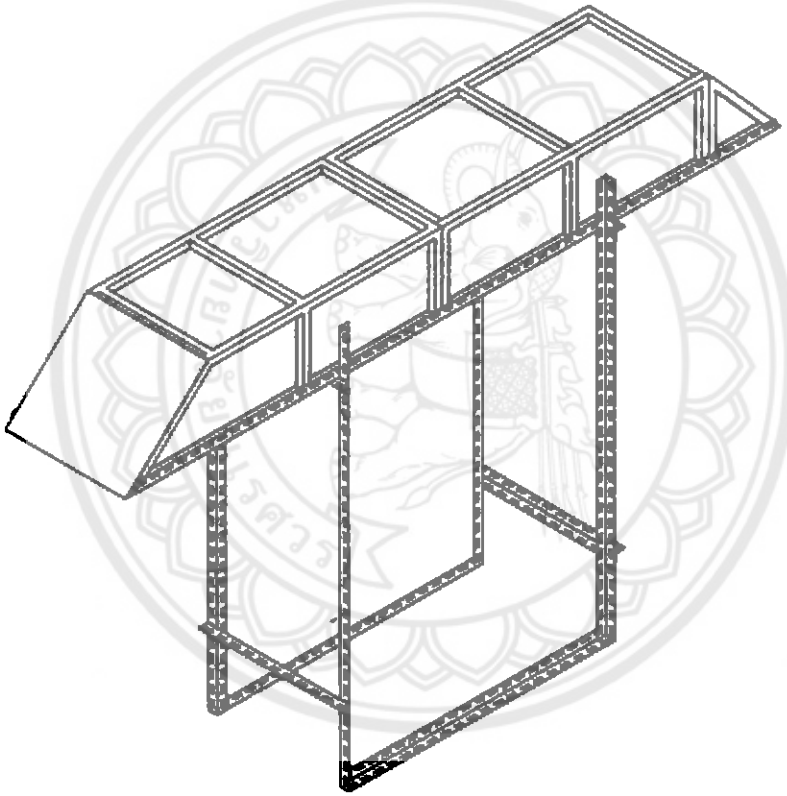
รูป ค.7 แสดงโครงสร้างรองรับพร้อมกระจก



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	โครงสร้างรองรับพร้อมกระกระจก	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 7/11

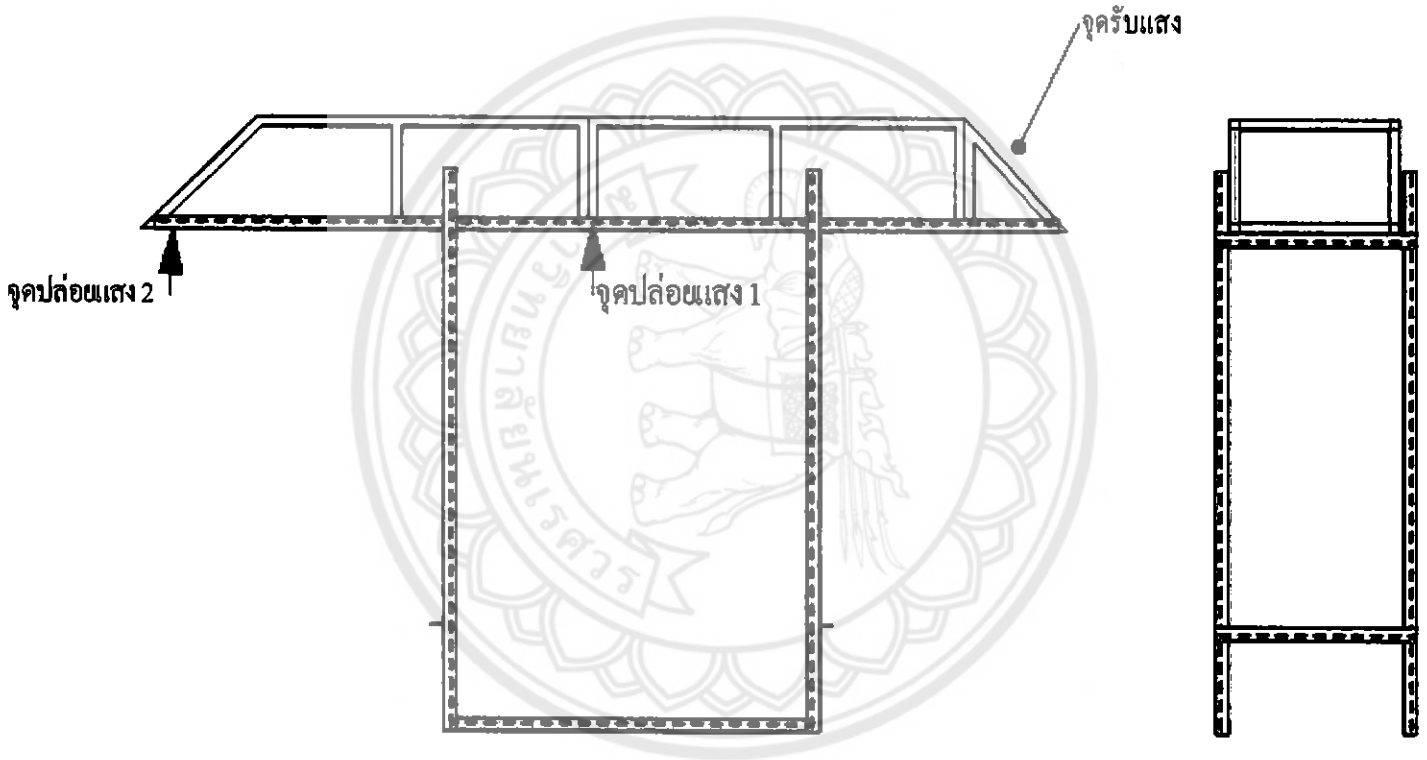
รูป ค.8 แสดงท่อนำแสงที่ใช้ในการทดสอบ



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING **NARESUAN UNIVERSITY**	ท่อนำแสงที่ใช้ทำการทดสอบ	SCALE: 1:20	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 8/11

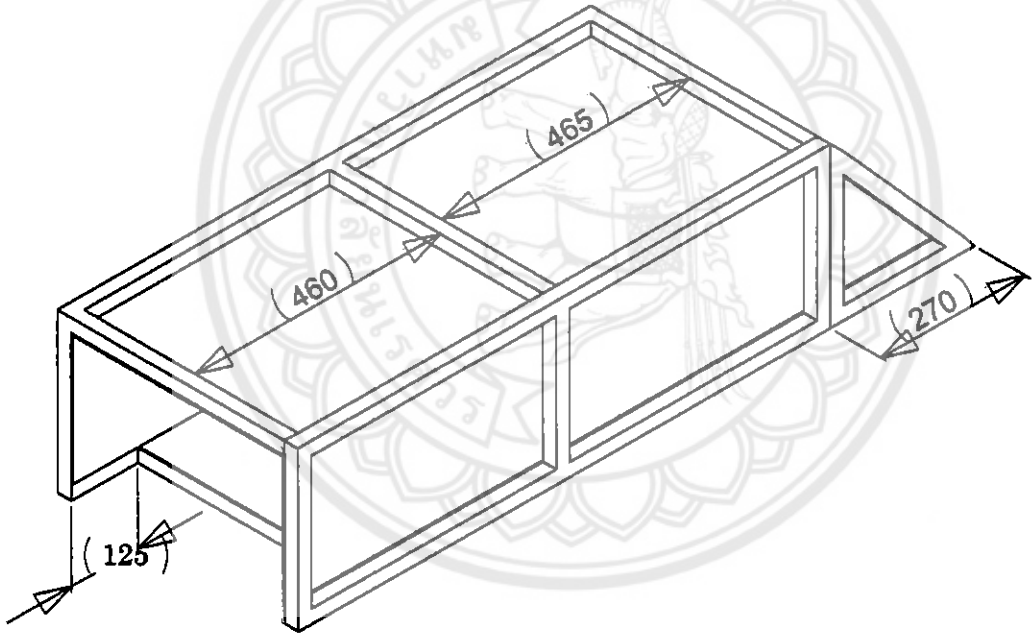
รูป ค.9 แสดงด้านข้างของท่อนำแสงที่ใช้ในการทดสอบ



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	ท่อนำแสงที่ใช้ทำการทดสอบ	SCALE: 1:20	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 9/11

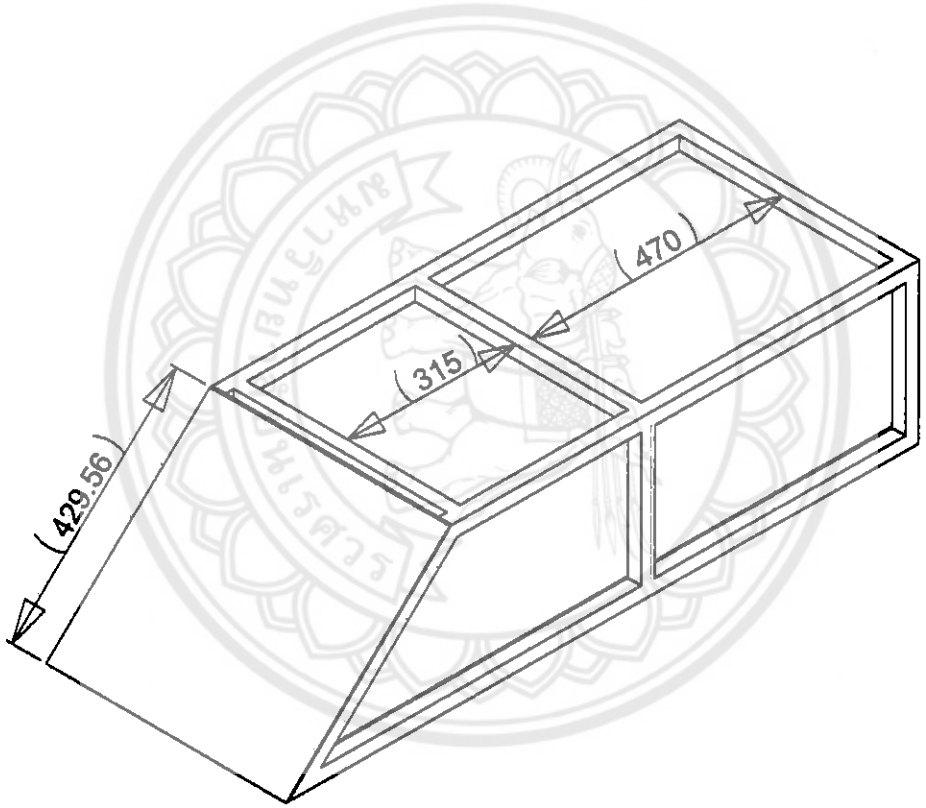
รูป ค.10 แสดงโครงสร้างท่อนำแสงส่วนหน้า



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING	โครงสร้างท่อนำแสงส่วนหน้า	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 10/11

รูป ค.11 แสดงโครงสร้างท่อนำแสงส่วนหลัง



Note : Dimensions are in millimeters

FACULTY OF ENGINEERING **NARESUAN UNIVERSITY**	โครงสร้างท่อนำแสงส่วนหลัง	SCALE: 1:10	DN BY : SANGAGUL	PROJECT
		DATE : 10/03/2011	CODE : 50383783	PLATE : 11/11

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ – นามสกุล : นายคมสัน หาดไร่

วันเกิด : 26 กุมภาพันธ์ 2531

ประวัติการศึกษา: พ.ศ. 2543 จบการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านโฮ่ง

พ.ศ. 2546 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนแม่เจดีย์วิทยาคม

พ.ศ. 2549 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนแม่เจดีย์วิทยาคม

พ.ศ. 2553 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ – นามสกุล : นายธนากร เหล่ากอ

วันเกิด : 18 มิถุนายน 2531

ประวัติการศึกษา: พ.ศ. 2543 จบการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนปิยมิตรวิทยา

พ.ศ. 2546 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสูงเม่นชนูปถัมภ์

พ.ศ. 2549 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนสูงเม่นชนูปถัมภ์

พ.ศ. 2553 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ – นามสกุล : นายสง่ากุล ขันโท

วันเกิด : 14 มกราคม 2531

ประวัติการศึกษา: พ.ศ. 2543 จบการศึกษาระดับประถมศึกษาจาก
โรงเรียนบ้านหย่วนเชียงคำนาคโรวาท

พ.ศ. 2546 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนเชียงคำวิทยาคม

พ.ศ. 2549 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเชียงคำวิทยาคม

พ.ศ. 2553 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร