ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพ
การใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ

นางสาว รุ่งทิพย์ พูนอัศวสมบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE RELATIONSHIP OF INTERIOR SURFACE REFLECTANCE ON DAYLIGHT-LINKED PHOTO SENSOR EFFICIENCY

Miss Rungtip Poonasawasombat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ
โดย	นางสาว รุ่งทิพย์ พูนอัศวสมบัติ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. จรรยาพร จุลตามระ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รุ่งทิพย์ พูนอัศวสมบัติ : ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ. (THE RELATIONSHIP OF INTERIOR SURFACE REFLECTANCE ON DAYLIGHT-LINKED PHOTO SENSOR EFFICIENCY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 124 หน้า.

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานแสงสว่างในอาคารได้ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ตำแหน่งการติดตั้ง คุณสมบัติกระจกของช่องเปิด หากแต่ปัจจุบันพบว่ายังไม่มีการศึกษาปัจจัยด้านค่าการสะท้อนของพื้นผิวในอาคาร งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการใช้งานเมื่อคำนึงถึงความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการศึกษาอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ โดยงานวิจัยนี้ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลคุณภาพแสงภายในอาคารสำนักงานจำลองขนาด 3.50x5.40x2.70 เมตร ภายในติดตั้งโคมไฟที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 6 ชุด และมีการแบ่งชุดควบคุมการทำงานด้วยเปิดปิดและแบบปรับหรี่ได้ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาค่าความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของสำนักงานแบบจำลอง โดยจะจำลองสภาพความสว่างด้วยโปรแกรม DIALux 4.8 พื้นผิวภายในของแบบจำลองจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนตั้งแต่ 0.10-0.90 ในทุกๆพื้นผิวทั้งพื้น ผนัง และเพดาน ส่วนที่ 2 ศึกษาการใช้พลังงานของโคมไฟเมื่อใช้ควบคู่กับอุปกรณ์ควบคุมความสว่างโดยศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่ต่างกันระหว่างระบบดวงโคมที่มีกับไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ กับเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของสำนักงานจำลองที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมแต่ในทิศทางต่างกันและช่วงเวลาที่ต่างในตลอดทั้งปี และส่วนที่ 3 วิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบค่าการลงทุนระหว่างระบบไฟฟ้าทั่วไปกับระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ และผลตอบแทนทางการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับ เพื่อหาระยะคืนทุนของระบบดังกล่าวในการใช้งานในห้องสำนักงานที่มีค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่แตกต่างกัน

จากผลการวิจัยพบว่าห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารสูงจะมีอัตราค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ต่ำกว่าห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารน้อย ซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายทางพลังงานของอาคาร โดยพบว่าอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับระบบทั่วไปได้ร้อยละ 48-62 และเมื่อนำค่าใช้จ่ายทางพลังงานมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าใช้จ่ายตั้งต้นของระบบเพื่อวิเคราะห์ความน่าลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ อาคารที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตกควรติดตั้งอุปกรณ์เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าโดยจะมีอัตราการคืนทุนของระบบที่เร็วเมื่ออาคารมีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในมาก ในขณะที่อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในมีผลน้อยมากกับอัตราคืนทุนของระบบเมื่ออาคารที่ใช้อุปกรณ์มีช่องเปิดทางทิศเหนือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....รุ่งทิพย์ พูนอัศวสมบัติ.....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553

5374152625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: DAYLIGHT-LINKED PHOTO SENSOR / REFLECTANCE RATIO / OFFICE LIGHTING

RUNGTIP POONASAWASOMBAT : THE RELATIONSHIP OF INTERIOR REFLECTANCE ON DAYLIGHT PHOTO SENSOR EFFICIENCY. THESIS ADVISOR : VORAPAT INKAROJRIT, Ph. D., 124 pp.

A daylight-linked photo sensor is a measures employed for interior lighting energy saving. Previous literature reveals that its efficiency depends on various factors such as location and glass specification. However, no studies have been conducted on the reflectance of interior surfaces. This study, therefore, aims to investigate the relationship between the reflectance of interior surfaces and the efficiency of a daylight-linked photo sensor and to find the break-even point. A computer program was used to collect data of interior lighting quality in a 3.5 x 5.4 x 2.7-meter simulation office. The room had six one-inch-diameter 36-watt fluorescent light bulbs, some controlled by an on/off switch and the others equipped with a light dimmer. This study consists of three parts. First, it explores the daylight index in the simulation office using the DIALux 4.8 program and finds that the reflectance of interior surfaces changed from 0.10 to 0.90 in all cases. Second, it studies energy consumption along with the use of a light sensor. The study compares the use of light bulbs with and without a daylight-linked photo sensor in different directions and times of year. Last, it gives the break-even point analysis considering an electronic device with and without the photo sensor and discusses the break-even point of using the photo sensor, considering different degrees of reflectance of interior surfaces.

Findings suggest that offices with high reflectance of interior surfaces consume less lighting energy than those with lower reflectance. The use of a photo sensor can therefore result in energy savings of from 48 to 62%. Considering the break-even point, after taking into account both energy and device costs, offices with open space on the north ,east and west side should install a photo sensor with considering the high reflectance of interior surfaces.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จาก ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ระดับชั้นปริญญาตรีจนถึงระดับปริญญามหาบัณฑิต และคอยสนับสนุนส่งเสริมโอกาสทางการศึกษาต่างๆ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำปรึกษาที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณบริษัท อัศวรุ่งเรืองธุรกิจ จำกัด สำหรับอุปกรณ์และคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์สำหรับการทดลองในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และบริษัท ฟิลิปส์ (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับข้อมูลดวงโคมและอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าอื่นๆที่ใช้ในการจำลองและการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่รวมทั้งเพื่อนๆที่ร่วมเรียนและจบการศึกษาไปพร้อมกัน สำหรับน้ำใจและทุกๆอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฎ
สารบัญแผนภูมิ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.1 เกณฑ์, มาตรฐานและข้อกำหนดในการออกแบบระบบแสงสว่าง..... 5
2.1.1 หน่วยงานที่รับผิดชอบด้านเกณฑ์, มาตรฐานและข้อกำหนด..... 5
2.1.2 ค่าการส่องสว่างที่แนะนำโดย IESNA..... 6
2.1.3 ค่าการส่องสว่างที่แนะนำโดย TIEA..... 7
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง..... 9
2.2.1 แหล่งกำเนิดแสง..... 9
2.2.2 พฤติกรรมของแสง..... 12
2.3 หลักการเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับการใช้งานในสำนักงาน..... 15
2.4 อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร..... 16
2.4.1 การหาค่าการสะท้อนของพื้นผิววัสดุ..... 18
2.4.2 อัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร..... 22
2.5 เซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุม..... 22
2.5.1 รูปแบบการทำงานของวงจรอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ..... 22
2.5.2 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ..... 23
2.5.3 การเลือกชนิดของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม..... 25

2.5.4 การแบ่งบริเวณควบคุม.....27
2.5.5 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์.....27
2.5.6 ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน.....28
2.5.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ..... 28

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 30
3.1 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณของแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของห้องสำนักงานมาตรฐานที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนแตกต่างกัน.....30
3.1.1 การศึกษาปริมาณของแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของห้องสำนักงานมาตรฐานที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนแตกต่างกัน..... 30
3.1.2 การออกแบบจัดวางดวงโคมในห้องสำนักงานมาตรฐานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 36
3.1.3 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน ขนาด 36 วัตต์ ที่มีการปรับระดับความสว่างด้วยอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม..... 40
3.2 ขั้นตอนการศึกษาการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์..... 43

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 45
4.1 การศึกษาค่าความสว่างที่ได้ระดับพื้นที่ทำงานในห้องสำนักงานด้วยการจำลองสภาพการให้แสงสว่างเสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)..... 45
4.2 การศึกษาค่าความสว่างที่เป็นตัวกำหนดการทำงานของเซนเซอร์..... 62
4.3 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนท์ 36 วัตต์ ที่มีการปรับระดับความสว่างด้วยอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม..... 63
4.4 การศึกษาค่าการใช้พลังงานของดวงโคมในห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวระดับต่างๆ 65
4.5 การศึกษาและวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ..... 77

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย / อภิปรายผล / ข้อเสนอแนะ..... 83
5.1 สรุปผลการจำลองสภาพแสงธรรมชาติของสำนักงานจำลอง..... 83
5.2 การสรุปผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานของสำนักงานจำลองที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่ต่างกัน..... 84
5.3 การสรุปผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ..... 85
5.4 การอภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 86

บรรณานุกรม..... 87
ภาคผนวก..... 90
ภาคผนวก ก..... 91
ภาคผนวก ข..... 96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 124

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสว่างมาตรฐานของ Engineering Society of North America (IESNA)… 7

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความสว่างมาตรฐานเฉลี่ยของ Thai Industrial Standards Institute (TIEA) … 8

ตารางที่ 2.3 แสดงสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุ..... 17

ตารางที่ 3.1 อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร..... 34

ตารางที่ 3.2 รูปแบบการจำลองความสว่างของดวงโคม..... 39

ตารางที่ 3.3 รูปแบบการจำลองความสว่างของดวงโคมเพื่อหาชุดคำสั่งของเซนเซอร์..... 40

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองวัดกำลังไฟฟ้าของโคมในการปรับหรี่ระดับต่างๆ..... 42

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความสว่างที่กำหนดเป็นชุดคำสั่งในการอ่านของเซนเซอร์ก่อนส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นๆ…… 63

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดกำลังไฟฟ้าของโคมในการปรับหรี่ระดับต่างๆ..... 64

ตารางที่ 4.3 แสดงจุดคุ้มทุน (Break event point) ของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) เทียบกับระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไป…….. 82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างที่ IESNA แนะนำ..... 6
ภาพที่ 2.2 แสดงสเปคตรัมของแสง..... 9
ภาพที่ 2.3 แสดงสเปคตรัมของแสง..... 12
ภาพที่ 2.4 แสดงการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา..... 13
ภาพที่ 2.5 แสดงการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วนหรือแบบมีทิศทางบางส่วน..... 13
ภาพที่ 2.6 แสดงการสะท้อนแสงแบบกระจายแสงสมบูรณ์..... 14
ภาพที่ 2.7 แสดงการสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจาย..... 14
ภาพที่ 2.8 แสดงค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่แนะนำ..... 17
ภาพที่ 2.9 แสดงการวัดค่าส่องสว่างของส่วนทั่วไปภายในห้อง..... 18
ภาพที่ 2.10 แสดงการวัดค่าการสะท้อนของพื้นผิวผนัง..... 18
ภาพที่ 2.11 แสดงช่วงการสะท้อนตามมาตรฐานของ LRV..... 19
ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะการสะท้อนของแสง..... 19
ภาพที่ 2.13 มิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Murray-Coleman และ Smith..... 20
ภาพที่ 2.14 แสดงหลักการทำงนของ.มิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Murray-Coleman และ Smith 20
ภาพที่ 2.15 มิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Gregory J. Ward..... 21
ภาพที่ 2.16 แสดงหลักการทำงนของมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Gregory J. Ward 21
ภาพที่ 2.17 แสดงหลักการทำงนของมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Gregory J. Ward 22
ภาพที่ 2.18 ภาพเลนส์ตาปลา 180 องศา จำลองการมองเห็นของเซนเซอร์รับความสว่าง..... 23
ภาพที่ 2.19 แสดงผังการจัดวางอุปกรณ์และลำดับการทำงาน..... 24
ภาพที่ 2.20 Daylight control : Electric light in response to natural light 25
ภาพที่ 2.21 เปรียบเทียบการทำงานของระบบไฟฟ้าที่มี/ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมอัตโนมัติ 25
ภาพที่ 2.22 แผนภูมิแสดงระยะเวลาการคืนทุนของระบบไฟฟ้าแบบทั่วไปและแบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่าง..... 26
ภาพที่ 2.23 แสดงตัวอย่างการแบ่งโซนควบคุมดวงโคมของห้องที่มีช่องเปิดรับแสงธรรมชาติ..... 27
ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะภายในห้องสำนักงานจำลอง..... 31
ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งและขนาดช่องเปิดของแบบจำลอง..... 31
ภาพที่ 3.3 ขนาดของแบบจำลองและตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์..... 32
ภาพที่ 3.4 แผนการจำลองสภาพแสงธรรมชาติในสำนักงานที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในตั้งแต่ 0.10-0.90 ในทิศทางต่างๆ ใน 5 เดือนสำคัญ 35
ภาพที่ 3.5 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 10-10-10..... 36
ภาพที่ 3.6 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 10-30-10..... 36

หน้า

ภาพที่ 3.7 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 30-30-30..... 36
ภาพที่ 3.8 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 30-50-30..... 36
ภาพที่ 3.9 ตำแหน่งการจัดวางดวงโคมในแบบจำลองสำนักงาน..... 37
ภาพที่ 3.10 ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในแบบจำลองสำนักงาน..... 37
ภาพที่ 3.11 แสดงการกระจายแสงในแบบจำลองสำนักงาน..... 38
ภาพที่ 3.12 แสดงลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม..... 38
ภาพที่ 3.13 ดวงโคมที่เลือกใช้และกราฟการกระจายแสงของดวงโคม..... 38
ภาพที่ 3.14 ลำดับดวงโคมและการแบ่งชุดควบคุมดวงโคม..... 39
ภาพที่ 3.15 แอมป์มิเตอร์..... 41
ภาพที่ 3.16 โวลท์มิเตอร์..... 41
ภาพที่ 3.17 วัตต์มิเตอร์..... 41
ภาพที่ 3.18 ลักซ์มิเตอร์..... 41
ภาพที่ 3.19 เครื่องผลิต DC Volt..... 41
ภาพที่ 3.20 แผนภูมิภาพแสดงลำดับการเชื่อมต่อวงจรชุดทดลอง..... 42
ภาพที่ 3.21 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาค่าการใช้พลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนท์ 36 วัตต์..... 41
ภาพที่ 3.22 แสดงการปรับระดับความสว่างด้วยเครื่องผลิต DC Volt 41
ภาพที่ 4.1 ชุด A, B, C เปิด..... 62
ภาพที่ 4.2 ชุด A ปิด ชุดB 10V ชุดC เปิด..... 62
ภาพที่ 4.3 ชุด A ปิด ชุดB 8V ชุดC เปิด..... 62
ภาพที่ 4.4 ชุด A ปิด ชุดB 6V ชุดC เปิด..... 62
ภาพที่ 4.5 ชุด A ปิด ชุดB 4V ชุดC เปิด..... 62
ภาพที่ 4.6 ชุด A ปิด ชุดB 2V ชุดC เปิด..... 62
ภาพที่ 4.7 ชุด A ปิด ชุดB ปิด ชุดC เปิด..... 62
ภาพที่ 4.8 ใบเสนอราคาอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบแสงสว่างปกติและแบบมีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ..... 78

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 46
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 46
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 47
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 47
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 48
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 48
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 49
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก..... 50
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก.....50
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก..... 51
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก..... 51
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก..... 52
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก..... 52
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก..... 53
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้..... 54
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้..... 54

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้..... 55
แผนภูมิที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้..... 55
แผนภูมิที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้.....56
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้..... 56
แผนภูมิที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้..... 57
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 58
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 58
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 59
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 59
แผนภูมิที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 60
แผนภูมิที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 60
แผนภูมิที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 61
แผนภูมิที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ..... 64
แผนภูมิที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศทิศตะวันออก..... 67
แผนภูมิที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้... 67
แผนภูมิที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

แสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ 68
แผนภูมิที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ..... 69
แผนภูมิที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออก..... 69
แผนภูมิที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้..... 70
แผนภูมิที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตก..... 70
แผนภูมิที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ..... 71
แผนภูมิที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออก..... 72
แผนภูมิที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้..... 72
แผนภูมิที่ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตก..... 73
แผนภูมิที่ 4.42 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ..... 74
แผนภูมิที่ 4.43 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ..... 75
แผนภูมิที่ 4.44 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้ของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ..... 75
แผนภูมิที่ 4.45 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตกของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่าง

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

อัตโนมัติ..... 76
แผนภูมิที่ 4.46 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวในระดับต่างๆ และทิศทางของช่องเปิดต่างกัน..... 76
แผนภูมิที่ 4.47 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่อเปิดทางทิศเหนือ..... 79
แผนภูมิที่ 4.48 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่อเปิดทางทิศตะวันออก..... 80
แผนภูมิที่ 4.49 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่อเปิดทางทิศใต้..... 80
แผนภูมิที่ 4.50 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่อเปิดทางทิศตะวันตก..... 81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาคเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม รวมทั้งการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานมีมากขึ้น ส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรธรรมชาติอันเป็นแหล่งที่มาของพลังงาน พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ในอาคารในประเทศไทยเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับดำเนินอาคารนั้นแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศ, ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร ซึ่งในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่างในอาคารสำนักงานนั้น มีสัดส่วนร้อยละ 20-30 มีค่าสูงเป็นลำดับที่ 2 รองจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศ ดังนั้นนักออกแบบและนักวิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการออกแบบแสงสว่างที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารและมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ ซึ่งหนทางหนึ่งที่จะกระทำได้ คือ การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ให้ความสว่างแก่ภายในอาคาร

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทดแทนแสงประดิษฐ์ในเวลากลางวันสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการให้ความสว่างแก่อาคารได้ ซึ่งปัจจัยที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารมีหลายปัจจัย เช่น ทิศทางของอาคาร ความกว้างของช่องเปิด คุณสมบัติของกระจก รวมถึงอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอื่นๆด้วย เช่น ท่อนำแสง หิ้งสะท้อนแสง เป็นต้น และในปัจจุบันมีอุปกรณ์หนึ่งที่น่าสนใจคือ อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) ซึ่งสามารถควบคุมความสว่างของดวงโคมให้ลดลงได้เมื่อแสงธรรมชาติมีปริมาณมากพอตามที่กำหนดไว้ จึงสามารถลดค่าการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ในอาคารได้ อย่างไรก็ตามการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวตามอาคารต่างๆ ยังเป็นการใช้งานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากขาดการคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพความสว่างภายในอาคาร เช่น ค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร (Interior surface reflectance) ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับการอ่านค่าของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor)นี้

ในปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) ในอาคารสำนักงานหลายแห่งเพื่อช่วยลดพลังงานการใช้ไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ โดยมีงานวิจัยจำนวนมากยืนยันถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบแสงสว่างของสำนักงานทั่วไปหรือการใช้ระบบเปิด-ปิดเท่านั้น อย่างไรก็ตามในการใช้งานอุปกรณ์จริงยังมีปัจจัยที่ต้องคำนึงอีกมากที่สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ได้ เช่น ค่าการส่องผ่านความสว่างของกระจก (Visible light transmittance) ปริมาณพื้นที่ผิวภายในอาคาร รวมทั้งค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร (Interior surface reflectance)ที่ผู้วิจัยต้องการศึกษาค้นคว้าด้วย ซึ่งค่าการสะท้อนของพื้นผิวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติรวมทั้งแสงประดิษฐ์ โดยองค์ประกอบในอาคารที่มีค่าการสะท้อนของพื้นผิวมาก จะทำให้สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์สูงไปด้วยเนื่องจากปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงานส่วนหนึ่งได้มาจากโคมไฟโดยตรง แต่อีกส่วนหนึ่งได้มาจากการสะท้อนแสงจากส่วนต่างๆ ของห้อง จากการทบทวนวรรณกรรมเบื้องต้น พบว่าในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีผลงานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) จำนวนมาก โดยเน้นการศึกษาทางด้านคุณสมบัติของอุปกรณ์ และการวิเคราะห์ความ

คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษาถึงปัจจัยภายในอาคารที่มีผลต่อการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) เช่น ค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร (Interior surface reflectance) ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับการอ่านค่าของอุปกรณ์ ผู้วิจัยจึงมุ่งทำการศึกษาค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร (Interior surface reflectance)ที่เหมาะสมในการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) ในอาคารสำนักงาน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์และด้านพลังงานด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่มีผลต่อค่าความส่องสว่างภายในอาคารสำนักงาน

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเพื่อประกอบการประเมินค่าความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์และพลังงานในการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) ในอาคารที่มีค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารต่างๆกัน

1.2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางการนำแสงธรรมชาติ (Daylight) มาร่วมใช้กับแสงประดิษฐ์ (Artificial Light) ในอาคารสำนักงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยมุ่งศึกษาค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ ซึ่งจะศึกษาลักษณะการส่องสว่างเท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมถึงปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร

1.3.2 การศึกษาการนำแสงธรรมชาติ (Daylight) มาร่วมใช้กับแสงประดิษฐ์ (Artificial Lighting) ในอาคารสำนักงาน จะทำการจำลองรูปแบบการให้แสงสว่างและจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้แบบอาคารสำนักงานมาตรฐานจากงานวิจัยของ International Energy Agency (IEA) เป็นแบบในการศึกษาวิจัย โดยเลือกที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูดที่ 14°N เป็นอาคารปรับอากาศและเปิดทำการตามเวลาราชการ 8.30-16.30 น. (5 วัน/สัปดาห์) โดยข้อมูลของอาคารที่ใช้จะไม่รวมถึงค่าการสะท้อนของเฟอร์นิเจอร์ภายในอาคาร

1.3.3 การวัดผลการใช้พลังงานในอาคาร จะจัดทำการวิเคราะห์โดยเน้นที่การวัดผลการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างเท่านั้น โดยไม่รวมถึงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารอื่นๆ และในส่วนของการจัดทำการวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะจำกัดขอบเขตเฉพาะการวิเคราะห์ความคุ้มทุนเบื้องต้น ได้แก่ การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางด้านการลงทุน (Investment Cost Analysis) และผลการอนุรักษ์พลังงานจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Energy Saving Cost Analysis) แต่จะไม่รวมถึงการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการใช้งานและการดูแลรักษา (Operation and Maintenance Cost Analysis) และการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายแบบวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Cost Analysis)

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ค่าการส่องสว่าง (Illuminance) คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux) หรือ ลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m^2) โดยในการวิจัยนี้จะทำการวัดค่าการส่องสว่างทั้ง 3 ชนิด คือ ค่าการส่องสว่างสูงสุด (E_{max}), ค่าการส่องสว่างต่ำสุด (E_{min}), ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux)

1.4.2 ค่าความสว่าง (Luminance) คือ การที่แสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตา ทำให้มองเห็นวัตถุนั้นได้ มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือ ฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert, FL)

1.4.3 ค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่าง (Illuminance Uniformity) คือ รูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ในการประเมินความพอเพียงของค่าการส่องสว่างของการให้แสงสว่างบนพื้นที่ใช้งานที่เกี่ยวเนื่องกับความสบายทางสายตา (Visual Comfort) โดยในการวิจัยนี้จะทำการวัดค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย ($U_m = E_{min}/E_{ave}$)

1.4.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance ratio) คือ ค่าความสามารถในการทำให้คลื่นแสงเปลี่ยนทิศทางด้วยการสะท้อน วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงมากจะสามารถทำให้คลื่นสะท้อนออกจากวัสดุได้ดี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่มีผลต่อค่าความสว่างภายในอาคาร

1.5.2 สามารถออกแบบอาคารที่มีค่าการสะท้อนพื้นผิวภายในที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์แสงสว่างภายในอาคารได้

1.5.3 สามารถนำแสงสว่างธรรมชาติ (Daylight) มาใช้งานผสมผสานกับแสงประดิษฐ์ (Artificial lighting) เพื่อการประหยัดพลังงานของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ มีระเบียบวิธีการศึกษาซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ดังนี้

1.6.1 การทบทวนและพัฒนาเกณฑ์ในการออกแบบระบบแสงสว่าง

ในส่วนนี้จะเป็นการทบทวนเกณฑ์ในการออกแบบระบบแสงสว่างในอาคารสำนักงานที่มีอยู่ อาทิ เกณฑ์และมาตรฐานจากหน่วยงานนานาชาติ เช่น International Standard Organization (ISO), International Commission on Illumination (CIE) ข้อแนะนำในการออกแบบของแต่ละประเทศ เช่น Illumination Engineering Society of North America (IESNA), Chartered Institute for the Building Services Engineerings (CIBSE), Illuminating Engineering Association of Thailand (TIEA) เกณฑ์และข้อกำหนดในการใช้พลังงาน เช่น ASHRAE 90.1, พระราชบัญญัติการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยจะวิเคราะห์เปรียบเทียบในเรื่องเกณฑ์ของการออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับอาคารสำนักงาน

1.6.2 ศึกษาค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ในส่วนนี้จะทำการศึกษาค่าความสว่างในอาคารในเวลาทำการเมื่อมีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่แตกต่างกัน ซึ่งในส่วนนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่

1.6.2.1 ศึกษาค่าความสว่างบนพื้นที่ทำงานในห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวแตกต่างกันด้วยการจำลองสภาพการให้แสงสว่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.6.2.2 การทดลองหาค่าการใช้พลังงานจริงของโคมฟลูออเรสเซนต์ขนาด 8 หุน (T8) เมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ

1.6.2.3 ศึกษาการใช้พลังงานแสงสว่างรวมของแบบจำลองสำนักงานมาตรฐานเมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ

1.6.3 การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

หลังจากการวิเคราะห์ด้านพลังงานในการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างควบคู่กับดวงโคม จะนำผลที่ได้มาประเมินค่าความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิเคราะห์ถึงต้นทุนทางอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่ลดลงเพื่อประเมินถึงความน่าจะเป็นในการลงทุน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งข้อมูลหลักแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เกณฑ์, มาตรฐาน และข้อกำหนดในการออกแบบระบบแสงสว่างจากหน่วยงานนานาชาติ โดยเน้นเฉพาะสำหรับการใช้งานภายในอาคารสำนักงาน

ส่วนที่ 2 การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแสงโดยเน้นที่พฤติกรรมทางกายภาพ ทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

ส่วนที่ 3 การศึกษาหลักการเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับการใช้งานภายในอาคารสำนักงาน

ส่วนที่ 4 การศึกษาค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร

ส่วนที่ 5 การศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ

ข้อมูลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมดนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่จะทำให้ทราบถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, วัตถุประสงค์ของการวิจัย, ขอบเขตของการวิจัย และการกำหนดตัวแปรในการวิจัย

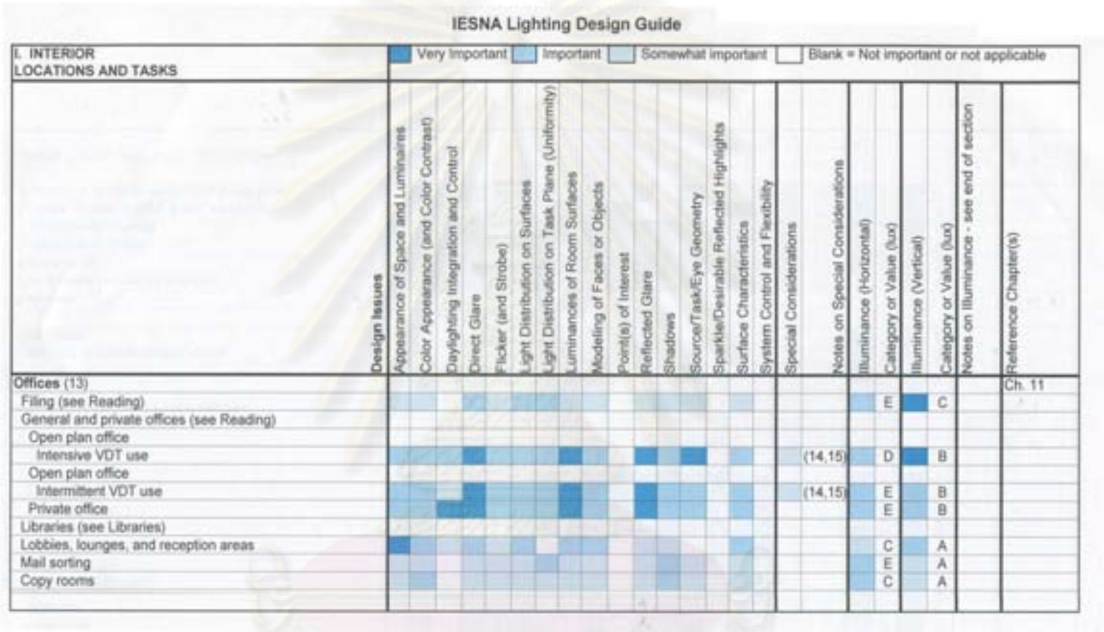
2.1 เกณฑ์, มาตรฐานและข้อกำหนดในการออกแบบระบบแสงสว่าง

2.1.1 หน่วยงานที่รับผิดชอบด้านเกณฑ์, มาตรฐานและข้อกำหนด

หน่วยงานที่มีส่วนรับผิดชอบมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าแสงสว่างนั้นมีอยู่หลายหน่วยงานทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ อาทิเช่น International Standard Organization (ISO), International Commission on Illumination (CIE), British Standard Institution (BSI), Deutshes Institute for Normung (DIN), Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), Illuminating Engineering Association of Thailand (TIEA), Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), Illuminating Engineering Society (IES), South African National Standards (SANS), New Zealand Standard (NZS), Australian Standard (AS) เป็นต้น โดยหน่วยงานเหล่านี้ได้มีการจัดทำเกณฑ์, มาตรฐาน และข้อกำหนดในการออกแบบระบบแสงสว่าง โดยอาจแบ่งค่าการส่องสว่าง (Illuminance) ซึ่งวัดได้ในหน่วย ลักซ์ (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (Footcandle) ออกตามลักษณะพื้นที่การใช้งานและประเภทกิจกรรม ทั้งค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (Average Illuminance) ซึ่งใช้เพียงค่าเดียว ยกตัวอย่างเช่น ค่าการส่องสว่าง 200 ลักซ์ สำหรับทางเดิน และค่าการส่องสว่างแบบช่วง (Range Illuminance) ซึ่งต้องอาศัยปัจจัยถ่วง (Weighting Factor) ในการพิจารณาเพิ่มเติม เช่น เพศ, วัย เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น ค่าการส่องสว่าง 200 – 300 – 500 ลักซ์ สำหรับพื้นที่สาธารณะที่มีสภาพแวดล้อมโดยรอบที่มืดกว่า ในงานวิจัยนี้จะใช้มาตรฐานด้านความส่องสว่างของ Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ฉบับตีพิมพ์ปี 2000 และIlluminating Engineering Association of Thailand (TIEA)

2.1.2 **ค่าการส่องสว่างที่แนะนำโดย IESNA**

Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ได้มีการจัดเกณฑ์มาตรฐานในการส่องสว่างเพื่อเป็นแนวทางและควบคุมคุณภาพของพื้นที่ที่มีการใช้งานต่างๆมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวได้มีการเรียบเรียงและจัดทำหลายครั้งจนช่วงปี 2000 IESNA ได้ประมวลและจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่างออกมาใหม่ที่มีการคำนึงถึงคุณภาพของแสงและความสำคัญของแสงต่อพื้นที่ใช้งานนั้นๆมากขึ้น สำหรับพื้นที่สำนักงาน IEASNA ได้จัดเกณฑ์การส่องสว่างมาตรฐานในปี 2000 ดังนี้



IESNA Lighting Design Guide

I. INTERIOR LOCATIONS AND TASKS — Very Important / Important / Somewhat important / Blank = Not important or not applicable

Design Issues

I. INTERIOR LOCATIONS AND TASKS	Appearance of Space and Luminaires	Color Appearance (and Color Contrast)	Daylighting Integration and Control	Direct Glare	Flicker (and Strobe)	Light Distribution on Surfaces	Light Distribution on Task Plane (Uniformity)	Luminances of Room Surfaces	Modeling of Faces or Objects	Point(s) of Interest	Reflected Glare	Shadows	Source/Task/Eye Geometry	Sparkle/Desirable Reflected Highlights	Surface Characteristics	System Control and Flexibility	Special Considerations	Notes on Special Considerations	Illuminance (Horizontal)	Category or Value (lux)	Illuminance (Vertical)	Category or Value (lux)	Notes on Illuminance - see end of section	Reference Chapter(s)
Offices (13)																								Ch. 11
Filing (see Reading)																				E		C		
General and private offices (see Reading)																								
Open plan office																								
Intensive VDT use																		(14,15)		D		B		
Open plan office																								
Intermittent VDT use																		(14,15)		E		B		
Private office																				E		B		
Libraries (see Libraries)																								
Lobbies, lounges, and reception areas																				C		A		
Mail sorting																				E		A		
Copy rooms																				C		A		

ภาพที่ 2.1 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างที่ IESNA[1] แนะนำ

จากภาพที่ 2.1 ซึ่งเป็นภาพอ้างอิงจากหนังสือ IESNA Lighting handbook จะแนะนำเกณฑ์ในการออกแบบการส่องสว่างของพื้นที่สำนักงานในส่วนต่างๆไว้ตามความสำคัญของแสงที่มีต่องานชิ้นนั้นๆหรือพื้นที่นั้นๆ ซึ่งระดับความสำคัญดังกล่าวสามารถสรุปเป็นระดับค่าความสว่างที่เหมาะสมต่อกิจกรรมต่างๆในพื้นที่สำนักงานได้ ดังนี้

[1] IESNA lighting handbook(9th edition). IESNA publication. New York. 2000

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสว่างมาตรฐานของ Engineering Society of North America (IESNA)

กิจกรรมที่ใช้สายตาน้อย	
A พื้นที่สาธารณะ	30 lx
B พื้นที่ใช้สายตาระยะสั้น	50 lx
C พื้นที่ทำงาน	100 lx
กิจกรรมทั่วไป	
D การทำงานที่มีความเปรียบต่างสูง/ตัวหนังสือมีขนาดใหญ่	300 lx
E การทำงานที่มีความเปรียบต่างปานกลาง/ตัวหนังสือมีขนาดเล็ก	500 lx
F การทำงานที่มีความเปรียบต่างต่ำ/ตัวหนังสือมีขนาดเล็กมาก	1000 lx
กิจกรรมที่ใช้สายตาเป็นพิเศษ	
G การทำงานที่มีความละเอียดมาก	3000-10000 lx

จากตารางที่ 2.1 จะแสดงค่าส่องสว่างที่แนะนำในพื้นที่ส่วนต่างๆของสำนักงาน ค่าดังกล่าวเป็นค่าการส่องสว่างต่ำสุดโดยเฉลี่ยที่แนะนำ (Maintained Illuminance, lx) ที่แสดงถึงค่าความส่องสว่างที่ใช้ทำกิจกรรมนั้น ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่กำหนด และช่วงค่าการส่องสว่าง (Range Illuminance, lx) ที่แสดงถึงค่าความส่องสว่าง เป็นช่วงที่ใช้ทำกิจกรรม ซึ่งอาจจะพิจารณาร่วมกับปัจจัยถ่วง

ในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองสภาพแสงที่จะใช้ในห้องสำนักงานที่ใช้กิจกรรมทำงานที่มีความเปรียบต่างของงานที่ใช้สายตาปานกลาง หรือตัวหนังสือที่มองมีขนาดเล็ก จึงเลือกใช้เกณฑ์ความสว่างในระดับพื้นที่ทำงานที่ 500 ลักซ์

2.1.2 **ค่าการส่องสว่างที่แนะนำโดย** TIEA

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้จัดทำเกณฑ์การส่องสว่างมาตรฐานสำหรับประเทศไทยขึ้น เพื่อเป็นมาตรฐานที่ใช้ควบคุมคุณภาพของการส่องสว่างในบริเวณต่างๆ รวมทั้งพื้นที่ทำงานให้มีมาตรฐานโดยทางสมาคมจะมุ่งเน้นจัดเกณฑ์ความสว่างของภาคอุตสาหกรรม เพื่อคุณภาพงานและคุณภาพชีวิตของผู้ทำงานหรือลูกจ้าง ให้ได้รับสวัสดิการพื้นฐานของพื้นที่ทำงานที่ทางนายจ้างควรจัดให้อย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตามทางสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้แนะนำระดับความสว่างที่ใช้ในสำนักงานทั่วไปที่ 500 ลักซ์ สำหรับพื้นที่ส่วนอื่นๆมีการแนะนำระดับการส่องสว่าง ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

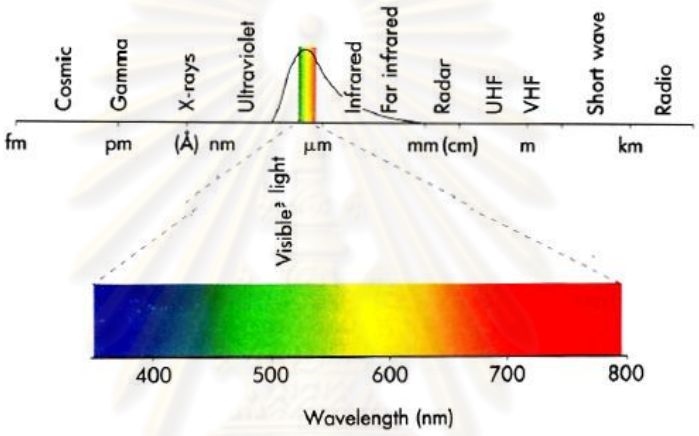
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความสว่างมาตรฐานเฉลี่ยของ Thai Industrial Standards Institute (TIEA)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	ลักซ์
โถงทางเข้าอาคาร	100 (200)
โถงนั่งพัก	200
พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100
บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150
พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150
ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร	200 (1000)
ห้องพักผ่อนทั่วไป	200 (500)
ห้องออกกำลังกาย	200 (500)
ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ	300 (1000)
ห้องปฐมพยาบาล	300 (500)
ห้องตรวจคนไข้ทั่วไป	500(1000)
ห้องอุปกรณ์ Switch gear	200
ห้องชุมสายโทรศัพท์ / ไปรษณีย์ / พัสดุ	500
ห้องเก็บของ	100 (50)
ห้องบรรจุหีบห่อ, ขนถ่ายวัสดุ	300
ห้องควบคุม	150(500)

จากตารางจะพบว่าพื้นที่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้สายตามาก เช่น พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร โถงนั่งพัก จะมีระดับการส่องสว่างที่ 100-200 ลักซ์ ในขณะที่พื้นที่ที่ต้องการความสว่างในการทำกิจกรรมมากขึ้น เช่น ห้องปฐมพยาบาล ห้องตรวจคนไข้ ส่วนไปรษณีย์-วัสดุ จะกำหนดเกณฑ์ความสว่างของพ้นที่ที่ 300-500 ลักซ์ ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเนื้องานและความสำคัญของแสงที่มีต่อการทำกิจกรรมนั้นๆ

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปแบบของคลื่นนี้จะมีความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัวต่างๆกันออกไป กล่าวคือ ความถี่หรือความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดชนิดของพลังงาน หากเราพิจารณาพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดตั้งแต่พลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดจนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด จะพบว่า แสงเป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380-780 นาโนเมตร ประกอบด้วยสเปกตรัมของสีหลายสีอันเกิดจากความถี่และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานช่วงดังกล่าวนี้เท่านั้นที่จะช่วยให้ให้เกิดการมองเห็น



ภาพที่ 2.2 แสดงสเปคตรัมของแสง

ที่มา : Gordon, G. **Interior Lighting for Designers**. (USA: John Wiley & Sons, 1995)

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงมีความสำคัญในการศึกษาเรื่องแสงเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการให้แสง รูปแบบและคุณสมบัติของแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิด ทิศทางของแหล่งกำเนิด ปริมาณและความเข้มของแสง มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของแสงที่จะนำมาใช้งาน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดของแสง จากคุณสมบัติของแสงดังที่กล่าวมาข้างต้น ปริมาณและคุณภาพแสงจะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลัก

แหล่งกำเนิดแสง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่เป็นหลอดฟลูออเรสเซนท์เท่านั้น

2.2.1.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ

แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กรณี คือ แหล่งกำเนิดแสงทางตรง (Direct) และแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (Indirect)

แหล่งกำเนิดแสงทางตรง ได้แก่ แสงแดด (Sunlight) และแสงที่เกิดจากการส่องกระทบอนุภาคในชั้นบรรยากาศของโลกทำให้สะท้อน หักเห และให้แสงในลักษณะกระจายทั่วพื้นที่หรือ Diffuse Skylight

แหล่งกำเนิดทางอ้อม ได้แก่ แสงที่เกิดจากการสะท้อน หรือส่องผ่านวัตถุใดๆ และทำให้วัตถุนั้นๆเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง (Secondary source) ซึ่งก็อาจให้แสงในลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นกับคุณสมบัติในการสะท้อน หรือ การยอมให้แสงส่องผ่าน ตลอดจนลักษณะของพื้นผิวของวัตถุที่แสงตกกระทบว่าเป็นเช่นใด

สภาพท้องฟ้า (Sky condition)

ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น, ควัน, หรือไอน้ำ โดยทั่วไปสภาพท้องฟ้าแยกพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง หรือดวงอาทิตย์ได้ (Overcast sky/ CIE sky)

ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non uniform brightness) ซึ่งความสว่างสูงสุด (Zenith-brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่ามีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณีคือมีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอกัน (Uniform brightness) ความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith-brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบมีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง แต่ก็มีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง

2. สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆคลุม (Clear sky)

ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบคือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse illumination) และแสงจากดวงอาทิตย์ (Direct sun) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar attitude) เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความส่องสว่างของพื้นผิวแนวระนาบจากแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนท้องฟ้า (Half sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300-2000 ฟุตแคนเดิล และมีค่าเฉลี่ย 1000 ฟุตแคนเดิล

3. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly cloudy sky)

การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยทั่วไปการพิจารณาค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆคลุมบางส่วนนี้ หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบาง ไม่หนาทึบ (น้อย) ค่าความส่องสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่ามากกว่าค่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10-15% เนื่องจากการสะท้อนแสงของเมฆ หากเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามีลักษณะเป็นกลุ่มหนาทึบหรือมีสีดำ เช่นมี

เมฆฝน ก็อาจทำให้แสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้า และปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ถูกกั้น นั่นคือแสงจะถูกดูดกลืนมากกว่าสะท้อนอันเป็นผลให้ค่าความสว่างจากท้องฟ้ามีค่าลดลง

2.2.1.2 **แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์**

หลอดไฟฟ้า (Lamps) เป็นแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่มีหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็มีจุดเด่น – จุดด้อยแตกต่างกันออกไป การนำไปใช้งานและลักษณะกิจกรรมจะเป็นตัวกำหนดชนิดของหลอดไฟ เนื่องจากหลอดไฟมีสีของแสงเป็นสีเฉพาะตัว มีความถูกต้องของสีไม่เท่ากับแสงธรรมชาติ ให้ปริมาณและประสิทธิภาพแสงในขอบเขตที่กำหนดขึ้นการแบ่งประเภทของหลอดไฟ หลอดไฟฟ้าแบ่งเป็นประเภทใหญ่ คือ หลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือ หลอดมีไส้ และหลอดดิสชาร์จ หลอดไส้จะมีความร้อนเกิดขึ้นสูงระหว่างการใช้งาน และสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก เนื่องจากสูญเสียพลังงานไปกับความร้อนที่เกิดขึ้น ปัจจุบันจึงไม่เป็นที่นิยม ในงานวิจัยชิ้นนี้จะกล่าวถึงหลอดดิสชาร์ชประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์เท่านั้น ซึ่งเป็นหลอดไฟที่นิยมใช้ในสำนักงานปัจจุบัน

หลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดดิสชาร์จความดันต่ำซึ่งแสงที่ออกมา กำเนิดมาจากผงฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกพลังงานอัลตราไวโอเลตซึ่งกำเนิดมาจากอาร์กของปรอท โครงสร้างของหลอด ประกอบด้วยหลอดแก้วยาวซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่ปลาย และบรรจุไอปรอทที่ความดันต่ำและมีก๊าซเฉื่อยเล็กน้อยเพื่อการเริ่มต้นจุดไส้หลอด ภายในแก้วเคลือบด้วยผงฟลูออเรสเซนต์ที่เรียกว่า ฟอสเฟอร์ เมื่อป้อนศักดาไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดดิสชาร์จไหลผ่านไอปรอทกำเนิดแสงที่มองเห็นและรังสีที่มองไม่เห็นส่วนใหญ่ที่เรียกว่า อัลตราไวโอเลต และรังสีอัลตราไวโอเลตนี้ทำให้สารฟอสเฟอร์เรืองแสงออกมา

หลอดฟลูออเรสเซนต์ถือเป็นหลอดที่ยอดนิยมมีการใช้งานกันมาก เพราะประหยัดไฟ ราคาถูกและหาซื้อง่าย ใช้กันมากในสำนักงาน และ โรงงานอุตสาหกรรมที่มีเพดานไม่สูงกว่า 7 เมตร หลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิผลประมาณ 50 – 80 ลูเมน/วัตต์ ซึ่งถือว่ามีค่าสูงพอสมควรและประหยัดไฟฟ้าประมาณ 5 – 8 เท่า เมื่อเทียบกับหลอดอินเคนเดสเซนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 10 – 15 ลูเมน/วัตต์ และขนาดวัตต์ที่มีใช้กันมากได้แก่ หลอดขนาด 18 และ 36 วัตต์ หลอด 18 วัตต์ ยาวประมาณ 60 ซม. ถ้าเป็นหลอด 36 วัตต์ ยาวประมาณ 120 เซนติเมตร ในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน หรือหลอด T8 ซึ่งพัฒนามาจากหลอด T12 ที่มีขนาดใหญ่กว่า ขนาดของหลอดที่เล็กลงจะช่วยประหยัดทรัพยากรในการผลิตโดยเฉพาะแร่ฟอสเฟอร์ซึ่งเป็นแร่ที่หายาก ในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

สตาร์ทเตอร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ไฟฟ้าอัตโนมัติของวงจร โดยต่อขนานกับหลอด ด้วยหลอดแก้วภายในบรรจุก๊าซนีออนและแผ่นโลหะคู่ที่งอตัวได้ เมื่อได้รับความร้อน เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซนีออน ก๊าซนีออนจะติดไฟเกิดความร้อนขึ้น ทำให้แผ่นโลหะคู่งอจนแตะติดกันทำให้กลายเป็นวงจรปิดทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านแผ่นโลหะได้ครบวงจร ก๊าซนีออนที่ติดไฟอยู่จะดับและเย็นลง แผ่นโลหะคู่จะแยกออกจากกัน ทำให้เกิดความต้านทานสูงขึ้นอย่างทันทีซึ่งขณะเดียวกันกระแสไฟฟ้าจะผ่านไส้หลอดได้มากข้นทำให้ไส้หลอด ร้อนขึ้นมาก ปรอทก็จะเป็นไอมากขึ้นจนพอที่นำกระแสไฟฟ้าได้ มีอยู่หลายชนิดคือ แบบมีก๊าซบรรจุอยู่ภายใน (Glow Type), แบบใช้ความร้อน (Thermal Starter), แบบใช้มือในการตัดต่อ (Manual Reset Cutout Starter) และสตาร์ตเตอร์แบบตัดต่อโดยอัตโนมัติ (Automatic Reset Cutout Starter)

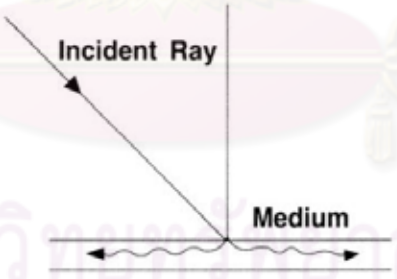
บัลลาสต์ เป็นขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็ก ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น เมื่อแผ่นโลหะคู่ในสตาร์เตอร์แยกตัวออกจากกันนั้นจะเกิดวงจรเปิดชั่วขณะ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในบัลลาสต์จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างไส้หลอดทั้งสองข้างสูงขึ้นเพียงพอ ที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไอปรอทจากไส้หลอดข้างหนึ่งไปยังไส้หลอดอีกข้างหนึ่งได้เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงในขณะที่หลอดเริ่มทำงาน เมื่อหลอดทำงานแล้วจะทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอดให้ต่ำลง และนอกจากนี้ยังทำหน้าที่จำกัดกระแสไม่ให้ไหลผ่านหลอดมากเกินไปในขณะที่หลอดให้แสงสว่างออกมา บัลลาสต์ที่นิยมใช้อยู่มี 3 ชนิดคือ ชนิดขดลวด (Choke Coils Ballast) ชนิดหม้อแปลงขดลวดชุดเดียว (Autotransformer Ballast) และชนิดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์(Electronic Ballast)

2.2.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านตัวกลาง (Medium) ชนิดต่างๆ เช่น อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง ฯลฯ ทางเดิน หรือ พฤติกรรมของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น พฤติกรรมของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆมีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.2.2.1 **การดูดกลืน** (Absorption)

การดูดกลืนเป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางและเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน เช่น การฉายแสงขาวลงบนผนังสีแดง แสงสีอื่นๆ จะถูกดูดกลืน หายเข้าไปในกำแพงยกเว้นแสงสีแดงเท่านั้นที่สะท้อนออกมาสู่ดวงตา เราจึงเห็นผนังสีแดง และเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแสงเข้าไปในวัตถุใดๆ จะเกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.3 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง
ที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน. **วัสดุและการก่อสร้างหลอดไฟฟ้า**. (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547), หน้า 6.

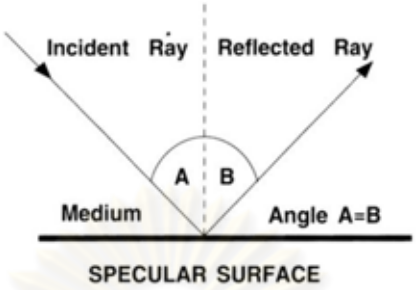
2.2.2.2 **การสะท้อน** (Reflection)

การสะท้อนเป็นพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อนกลับออกมาโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนไป ลักษณะของการสะท้อนอาจแบ่งได้เป็น

2.2.2.2.1 **การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา** (Specular Reflection)

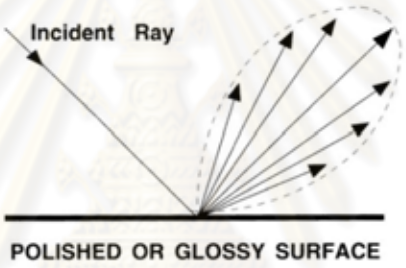
การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque Material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบมันวาว (Polished Surface) การสะท้อนจะมีมุมของแสง

ที่ตกกระทบ (Angle of Incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน (Angle of Reflection) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

ที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน. **วัสดุและการก่อสร้างหลอดไฟฟ้า**. (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547), หน้า 6.

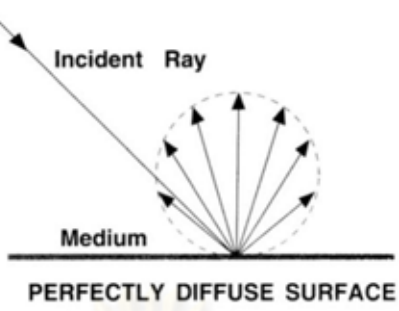


ภาพที่ 2.5แสดงการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วนหรือแบบมีทิศทางบางส่วน

ที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน. **วัสดุและการก่อสร้างหลอดไฟฟ้า**. (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547), หน้า 6.

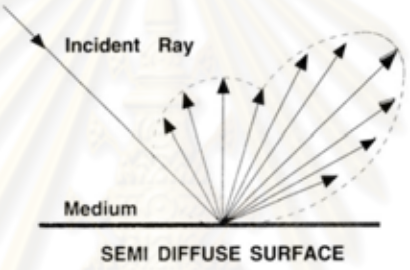
2.2.2.2.2 **การสะท้อนแบบกระจาย** (Diffuse Reflection)

การสะท้อนแบบกระจายเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่มีผิวหยาบ แสงจะสะท้อนออกไปในหลายๆทิศทาง ซึ่งส่วนมากมุมของแสงสะท้อนที่กระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบ หากผิววัสดุมีลักษณะหยาบอย่างสมบูรณ์คือ หยาบทั่วกันทั้งผิว (Perfectly Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการกระจายแสงสมบูรณ์ (Perfectly Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่าๆกันในทุกมุมสะท้อน แต่ถ้าหากผิววัตถุไม่เรียบอย่างสม่ำเสมอ (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (Semi Diffuse Reflection) โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ มักจะมีลักษณะผสมผสานกันระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย ดังแสดงในภาพที่ 2.5 และภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงการสะท้อนแสงแบบกระจายแสงสมบูรณ์

ที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน. **วัสดุและการก่อสร้างหลอดไฟฟ้า**. (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547), หน้า 6.



ภาพที่ 2.7 แสดงการสะท้อนแสงแบบกระจัดกระจาย

ที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน. **วัสดุและการก่อสร้างหลอดไฟฟ้า**. (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547), หน้า 6.

2.2.2.3 **การส่องผ่าน** (Transmission)

การส่องผ่านเป็นเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลาง แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติหรือลักษณะของตัวกลางที่แสงผ่านแล้ว มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่าน และแสงที่ผ่านออกมานั้นจะยังมีปริมาณคงเดิม การส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของตัวกลางดังนี้

2.2.2.3.1 **ตัวกลางโปร่งใส** (Transparent Medium)

การส่องผ่านลักษณะนี้แสงจะเกิดการหักเห (Refraction) หรือเปลี่ยนทิศทาง (Bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกใส เป็นต้น

2.2.2.3.2 **ตัวกลางโปร่งแสง** (Translucent Medium)

การส่องผ่านของแสงลักษณะนี้แสงที่ส่องผ่านจะเกิดการกระจาย (Diffuse Transmission) โดยไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกฝ้า เป็นต้น

เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่แสงส่องผ่านได้ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและส่วนที่เหลือจะทะลุผ่านตัวกลาง หมายความว่า ปริมาณของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนและปริมาณแสงที่สะท้อนกลับ รวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่านเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

Absorptance + Reflectance + Transmittance = 1 ..... (2.1)

2.3 หลักการเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับการใช้งานภายในอาคารสำนักงาน

อาคารสำนักงานนั้น โดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลัก คือ พื้นที่เคาท์เตอร์ประชาสัมพันธ์และต้อนรับ, พื้นที่ห้องทำงานส่วนตัวขนาดเล็ก, พื้นที่ห้องทำงานส่วนตัวขนาดใหญ่, พื้นที่ห้องประชุม และพื้นที่ห้องทำงานรวม การออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับอาคารสำนักงานนั้น[2] ควรจัดให้มีปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละพื้นที่ ทำให้ผู้ใช้งานมีความรู้สึกสบายในการทำงาน และรู้สึกสบายในการใช้สายตา (Visual Comfort) เนื่องจากการทำงานภายใต้สภาพการให้แสงสว่างที่เหมาะสมนั้นจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้เร็วขึ้น มากขึ้น ประณีตขึ้น มีความพึงพอใจในการทำงานมากขึ้น รวมทั้งทำให้ขวัญและกำลังใจของพนักงานดีขึ้นด้วย

2.3.1 พื้นที่ห้องทำงานส่วนตัวขนาดเล็ก (Private Office)

พื้นที่ห้องทำงานส่วนตัวขนาดเล็ก[3] ได้แสดงให้เห็นถึงสถานภาพในการครอบครองพื้นที่ แม้ว่าการใช้งานภายในพื้นที่ทำงานส่วนรวมซึ่งไม่คำนึงถึงความเป็นส่วนตัวภายในอาคารสำนักงานนั้นจะเป็นที่นิยมแพร่หลาย แต่ก็ยังมีการใช้งานภายในพื้นที่ห้องทำงานส่วนตัวซึ่งต้องการความเป็นส่วนตัวในด้านการมองเห็นและการได้ยิน โดยตัวอย่างที่ได้ยกมา คือ พื้นที่ห้องทำงานส่วนตัวขนาดเล็กที่สามารถรองรับผู้มาเยือน 2 - 3 คน โดยห้องนี้จัดให้มีโต๊ะทำงานหลักพร้อมพื้นที่การสนทนา

2.3.2 พื้นที่ห้องทำงานรวม (Open Office)

พื้นที่ห้องทำงานรวม[4] ในการออกแบบการให้แสงสว่างให้กับพื้นที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานนั้นเป็นความท้าทายในการออกแบบอาคารอย่างหนึ่ง ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาร่วมกับหลากหลายปัจจัยเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบ โดยปัจจัยโดยสรุป คือ

ความต้องการของผู้ใช้งาน (Need) ผู้ใช้งานต้องการความสบายทางสายตา (Visual Comfort) เพื่อการสร้างงานที่มีประสิทธิภาพ และต้องการใช้เทคนิคการให้แสงสว่างเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป (Task - Ambient Lighting) รวมทั้งการลดการสะท้อนจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ (CRT Reflection)

การก่อสร้างที่เกี่ยวเนื่องกับสภาพเศรษฐกิจ (Construction Practicality and Economy) รวมทั้งการจัดเฟอร์นิเจอร์ภายในที่มีความยืดหยุ่น เอื้ออำนวยต่อระบบเครื่องกลและระบบไฟฟ้า รวมทั้งพัฒนาการและการใช้มาตรฐานในการก่อสร้าง

---

[2] พิบูลย์ ดิษฐอุดม, **การออกแบบระบบแสงสว่าง**, (กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521), หน้า 99.

[3] Mark Karlen and James R. Benya, **Lighting Design Basics**. (New York: John Wiley & Sons, 2004), pp. 94.

[4] Mark Karlen and James R. Benya, **Lighting Design Basics**. (New York: John Wiley & Sons, 2004), pp. 98.

มาตรฐานด้านพลังงาน (Energy Code) ซึ่งควบคุมการใช้พลังงาน โดยเทคนิคการให้แสงสว่างเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป (Task - Ambient Lighting) นั้นถูกสนับสนุนให้ใช้เป็นอย่างมาก

2.4 อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร

ความสว่าง (Luminance) หมายถึง ความสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตรด้วยแสงปริมาณที่เท่ากัน กระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน เช่น ให้แสงปริมาณเดียวกันกระทบกับกระดาษสีขาวและสีดำ จะเห็นว่าแสงสะท้อนจากกระดาษสีขาวมากกว่าสีดำ ทำให้เรารู้สึกว่ากระดาษสีขาวสว่างกว่ากระดาษสีดำ หรือตัวอย่างเช่น กำแพงสีขาวที่มีรูปภาพแขวนอยู่ โดยมีแสงตกกระทบที่กำแพงและรูปภาพเป็นแสงจากแหล่งเดียวกัน แต่ที่กำแพงซึ่งมีสีอ่อนกว่าจะมีความสว่างมากกว่าที่รูปภาพ

ความสว่าง (Luminance) มีความสัมพันธ์กับความส่องสว่าง (Illuminance) ดังนี้

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} \quad \text{..... (2.2)}$$

เมื่อ L คือ ความสว่าง (แคนเดลาต่อตารางเมตร)

ρ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ

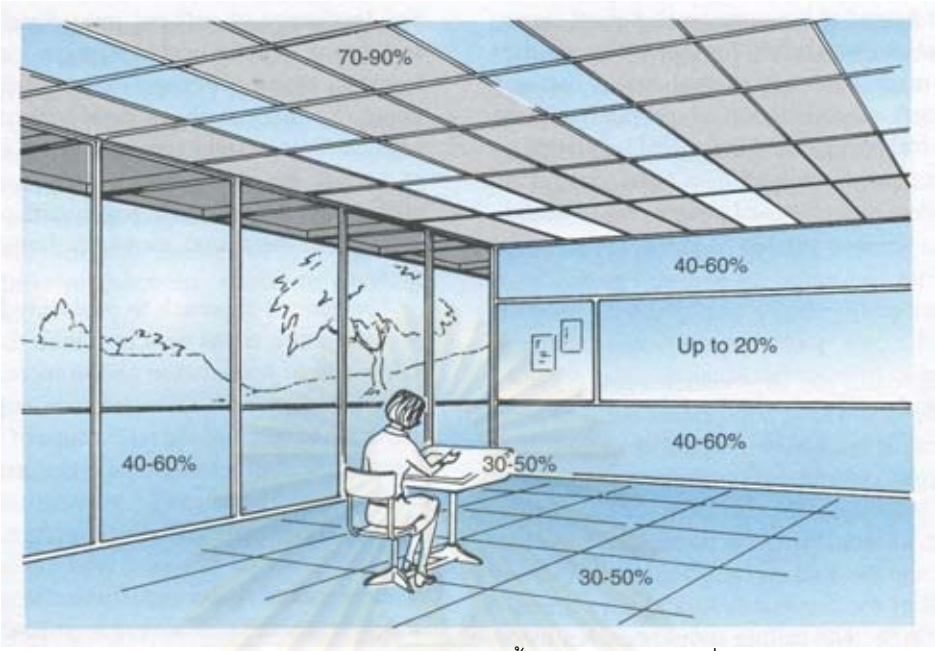
π คือ ความส่องสว่าง (ลักซ์)

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุชนิดต่างๆ

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุชนิดต่างๆมีผลต่อการส่องสว่างอย่างมากโดยเฉพาะภายในอาคาร เช่น ห้องที่มีเพดาน กำแพง พื้น ที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุมาก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของโคมไฟมาก ดังนั้นจึงสามารถใช้จำนวนโคมน้อยลงได้เพราะมีการสะท้อนของแสงเนื่องจากวัสดุที่อยู่รอบข้างมาก

ผนัง, กระดาน, ตู้บนผนังต่างๆ รวมทั้งมู่ลี่และม่าน โดยทั่วไปควรมีค่าการสะท้อนแสง 40-60% โดยควรมีสัดส่วนของผนังที่มีค่าการสะท้อนอย่างต่ำตามมาตรฐานไม่น้อยกว่า 80% ของพื้นที่ผนังทั้งหมด และเพดานควรมีค่าการสะท้อนแสงที่สูง เนื่องจากเพดานเป็นส่วนสำคัญในการสะท้อนแสงลงสู่พื้นที่ทำงาน และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน : กำแพง : พื้น ที่นิยมใช้คือ 70 : 50 : 20[5]

[5] Jennifer O'Connorthe, Tips for daylighting with windows, California Institute for Energy Efficiency (2008)



ภาพที่ 2.8 แสดงค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่แนะนำ

ที่มา : IESNA lighting handbook(9th edition). IESNA publication. New York. 2000

ตารางที่ 2.3 แสดงสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุ

สี	สัมประสิทธิ์การสะท้อน	สี	สัมประสิทธิ์การสะท้อน
ขาว	0.70-0.80	น้ำเงิน	0.10-0.15
ครีมอ่อน	0.70-0.80	แดงเข้ม	0.10-0.15
เหลืองอ่อน	0.55-0.65	เทาเข้ม	0.10-0.15
เขียวอ่อน	0.45-0.50	น้ำเงินเข้ม	0.05-0.10
ชมพู	0.45-0.50	ดำ	0.04
ฟ้าอ่อน	0.40-0.45	อิฐแดง	0.05-0.25
เทาอ่อน	0.40-0.45	คอนกรีต	0.15-0.40
เนื้ออ่อน	0.25-0.35	สีโอ๊กอ่อน	0.15-0.20
เหลืองเข้ม	0.25-0.35	ขาวอีนาเมล	0.65-0.75
น้ำตาลอ่อน	0.25-0.35	กระจกใส	0.06-0.08
เขียว	0.25-0.35	ไม้ครีม	0.50-0.60
ส้ม	0.20-0.25	พลาสเตอร์	0.80
เขียวส้ม	0.10-0.15	วอลนัทเข้ม	0.15-.0.20

ที่มา : ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ. **เทคนิคการส่องสว่าง**. (กรุงเทพฯ: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์, 2550), หน้า 4-5.

2.4.1 การหาค่าการสะท้อนของพื้นผิววัสดุ

การหาค่าการสะท้อนของพื้นผิววัสดุสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

2.4.1.1 **การใช้ลักซ์มิเตอร์** เมื่อส่องแสงไปยังวัสดุใดๆที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่างกันด้วยแสงปริมาณเดียวกัน การมองเห็นวัสดุหรือวัตถุนั้นจะต่างกัน ซึ่งสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุหรือวัตถุต่างๆสามารถหาได้ ดังนี้

ภาพที่ 2.9 แสดงการวัดค่าส่องสว่างของส่วนทั่วไปภายในห้อง

ที่มา : ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ. **เทคนิคการส่องสว่าง**. (กรุงเทพฯ: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์, 2550), หน้า 1-9.

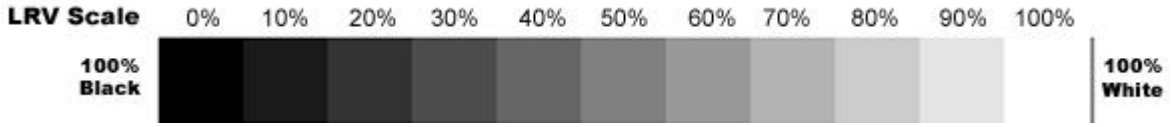
ภาพที่ 2.10 แสดงการวัดค่าการสะท้อนของพื้นผิวผนัง

ที่มา : ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ. **เทคนิคการส่องสว่าง**. (กรุงเทพฯ: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์, 2550), หน้า 1-9.

1. นำลักซ์มิเตอร์วัดความส่องสว่างที่วัตถุดังรูปที่ 2.8 เพื่อวัดความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบมายังวัตถุนั้น
2. หันลักซ์มิเตอร์เข้าหาวัตถุโดยห่างจากวัตถุประมาณ 6 นิ้ว เพื่อวัดความส่องสว่าง แต่ทั้งนี้ต้องระวังไม่ให้มือหรือมิเตอร์ไปบังแสงที่จะเข้ามาที่ผิวรับแสงของมิเตอร์ ดังรูปที่ 2.9 โดยจะสามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิววัสดุได้ ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผิววัตถุ} = \frac{\text{ค่าความส่องสว่างของแสงที่สะท้อนจากพื้นผิว}}{\text{ค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบพื้นผิว}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2.3)$$

2.4.1.2 **การใช้ค่า LRV** ปัจจุบันสามารถทราบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของสีได้จากค่าสัญลักษณ์ LRV หรือ Light Reflectance Value ซึ่งจะกำกับอยู่ด้านหลังผลิตภัณฑ์สี ซึ่งแสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวในทุกทิศทางทุกคลื่นแสงเมื่อได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดแสง

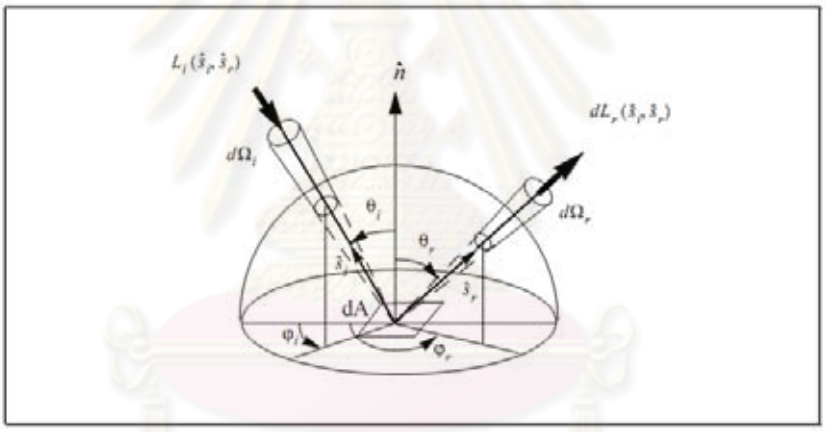


ภาพที่ 2.11 แสดงช่วงการสะท้อนตามมาตรฐานของ LRV

ที่มา : Lori Sawaya. **Light Reflectance Values and Paint Color.** International Association of Color Consultants North America

ค่า LRV จะบ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนแสงของพื้นผิวสีนั้นๆ และบอกค่าการดูดซับแสงของพื้นผิวด้วย โดยค่า 0% จะเป็นตัวแทนของค่าสีดำในอุดมคติ และ 100% จะเป็นตัวแทนของค่าสีขาวในอุดมคติ อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวไม่สามารถพบได้จริงในชีวิตประจำวัน สีดำจะมีค่า LRV 4-5% สีขาวจะมีค่า LRV ประมาณ 80%

2.4.1.3 **การหาค่า BRDF** ค่า BRDF (The Bidirectional Reflectance Distribution Function) เป็นค่าเฉพาะทางกายภาพของวัสดุที่อธิบายถึงลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุ



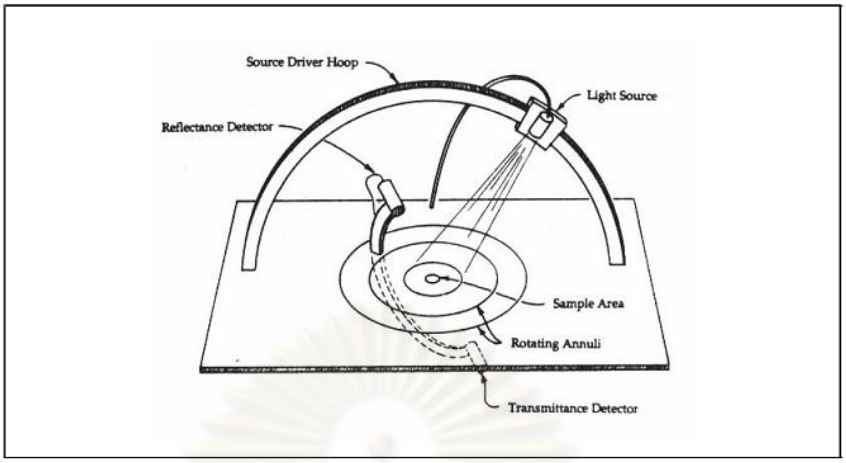
ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะการสะท้อนของแสง

ที่มา : Lun Ke, A method of light Reflectance Measurement, the University of British Columbia (1999)

การหาค่า BRDF จำเป็นต้องใช้การทดลองที่ซับซ้อนเพื่อทดลองหาค่าที่เชื่อถือได้ออกมา ได้มีผู้วิจัยบางท่านเสนอวิธีการหาค่า BRDF ไว้หลายวิธี เช่น

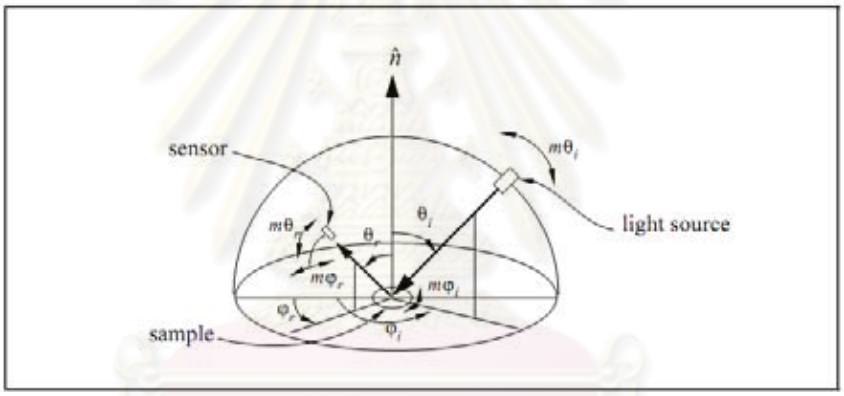
2.3.3.1.1 มิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุของ Murray-Coleman

เป็นมิเตอร์ที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงส่งพลังงานแสงไปยังวัตถุที่ทำการทดลอง และใช้อุปกรณ์วัดค่าการสะท้อน (Reflectance Detector) วัดค่าความสว่างที่มากระทบส่วนรับความสว่าง (Photocell) เพื่อหาสัดส่วนพลังงานไฟฟ้ากับค่าความสว่างที่ได้จากส่วนรับความสว่างเพื่อนำไปหาสัมประสิทธิ์ค่าการสะท้อนของพื้นผิววัตถุต่อไป



ภาพที่ 2.13 มิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Murray-Coleman และ Smith

ที่มา : Lun Ke, A method of light Reflectance Measurement, the University of British Columbia (1999)

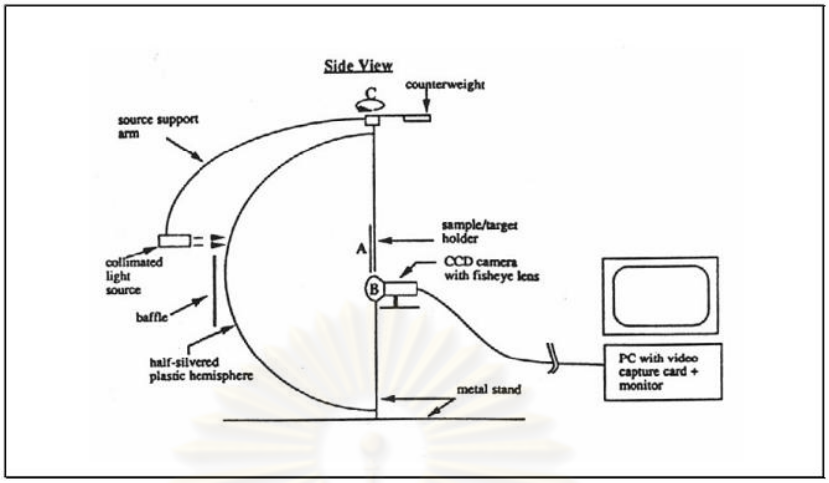


ภาพที่ 2.14 แสดงหลักการทำงานของมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Murray-Coleman และ Smith

ที่มา : Lun Ke, A method of light Reflectance Measurement, the University of British Columbia (1999)

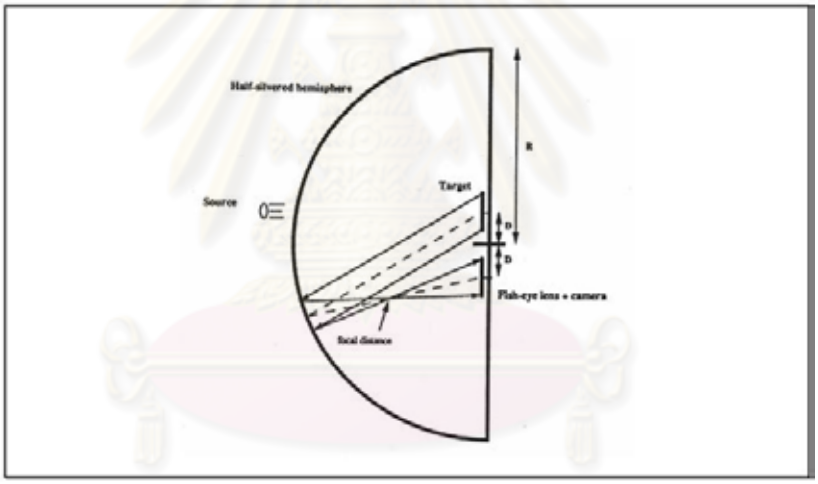
2.3.3.1.1 มิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุของ Gregory J. Ward

เป็นมิเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีของกล้องมาช่วยในการจับภาพเพื่อประมวลผลค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ หลังจากให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงแล้ว แสงจะเข้าสู่พื้นผิววัตถุ และจะสะท้อนออกมาส่วนหนึ่ง โลหะครึ่งวงกลมจะสะท้อนค่าความสว่างดังกล่าวเข้าสู่กล้องเลนส์ตาปลา (Fish eye camera) และนำภาพดังกล่าวไปประมวลผลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



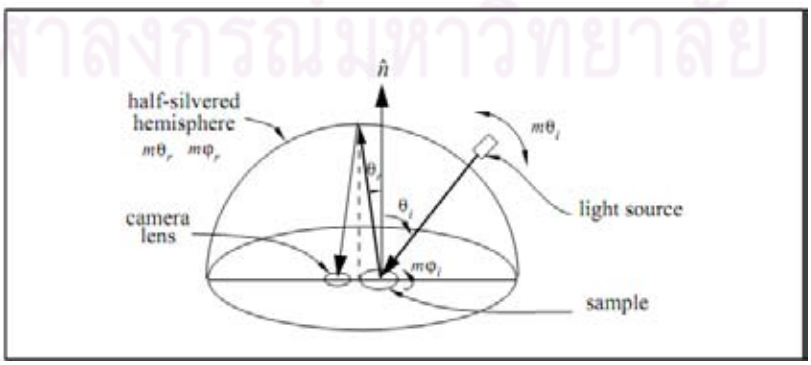
ภาพที่ 2.15 มิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Gregory J. Ward

ที่มา : Lun Ke, A method of light Reflectance Measurement, the University of British Columbia (1999)



ภาพที่ 2.16 แสดงหลักการทำงานของมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Gregory J. Ward

ที่มา : Lun Ke, A method of light Reflectance Measurement, the University of British Columbia (1999)



ภาพที่ 2.17 แสดงหลักการทำงานของมิเตอร์วัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุออกแบบโดย Gregory J. Ward

ที่มา : Lun Ke, A method of light Reflectance Measurement, the University of British Columbia (1999)

2.4.2 อัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร

อัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารคือ ค่าผลรวมของค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆต่อพื้นที่ผิวรวมของทั้งห้อง ได้แก่ เพดาน ผนังอาคาร และพื้น

$$\text{Area-Weighted Average Reflectance} = \frac{\text{Wall Area X Wall Reflectance}}{\text{Total Surface Area}} + \frac{\text{Ceiling Area X Ceiling Reflectance}}{\text{Total Surface Area}} + \text{...etc.} \quad \text{....(2.4)}$$

ที่มา : Jennifer O'Connorthe, Tips for daylighting with windows, California Institute for Energy Efficiency (2008)

อัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารจะส่งผลต่อความสว่างภายในห้องภายใต้ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่เท่ากัน โดยพื้นผิวห้องที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารมาก จะส่งผลให้บริเวณที่ทำงานมีปริมาณความสว่างมากกว่าภายในห้องที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่น้อยกว่า

2.5 เซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุม

ในปัจจุบันมีการประดิษฐ์อุปกรณ์หลากหลายประเภทเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดไฟและดวงโคม โดยเป้าหมายหลักของการพัฒนาคือ การลดค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในขณะที่ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างยังอยู่ในระดับมาตรฐาน อาทิ อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยเซนเซอร์รับแสง อุปกรณ์ควบคุมความสวางของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ เซนเซอร์วัดผู้ใช้งาน เป็นต้น จากผลงานวิจัยของ Jennings et al. ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของดวงโคมจากการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างที่แตกต่างกัน [1] โดยการวัดค่าการใช้พลังงานจริงจากการติดตั้งอุปกรณ์ชนิดต่างๆ พบว่าการติดตั้งเซนเซอร์วัดผู้ใช้งาน (Occupancy sensor) เพิ่มเติมจะช่วยลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 20% และการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติชนิดปรับหรี่ได้ (Daylight dimming sensor) จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง 26% [6] ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองเป็นอุปกรณ์ที่กำลังได้รับความนิยมและเริ่มนำมาใช้งานกันในวงกว้าง ในงานวิจัยชิ้นนี้จะมุ่งศึกษาเพียงประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ เนื่องจากต้องการศึกษาปัจจัยของแสงธรรมชาติที่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อนำไปสู่แนวทางการออกแบบและข้อเสนอแนะในการใช้งานต่อไป

2.5.1 รูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ

รูปแบบการทำงานของวงจรอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติมี 2 ลักษณะ

---

[6] J.D. Jennings, F.M. Rubinstein, D. DiBartolomeo, S.L. Blanc, Comparison of control options in private offices in an advanced lighting control tested, Journal of Illuminating Engineering Society (2000).

2.5.1.1 **วงจรเปิด** (Open loop) เป็นวงจรควบคุมความสว่างของดวงโคมที่ใช้กับเซนเซอร์รับความสว่างของแสงธรรมชาติหรือจากดวงอาทิตย์เท่านั้น ไม่ตอบสนองต่อระดับความสว่างของอุปกรณ์ที่ควบคุมอยู่ มักใช้กับดวงโคมติดตั้งภายนอกอาคาร

2.5.1.2 **วงจรปิด** (Closed loop) เป็นวงจรควบคุมความสว่างของดวงโคมที่ใช้กับเซนเซอร์ที่อ่านความสว่างเป็นภาพเลนส์ตาปลา คือการอ่านค่าความสว่างจากทุกวัตถุที่เซนเซอร์เห็น ทั้งความสว่างของห้องและความสว่างจากภายนอก นิยมใช้กับควงโคมติดตั้งภายในอาคาร

2.5.2 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ

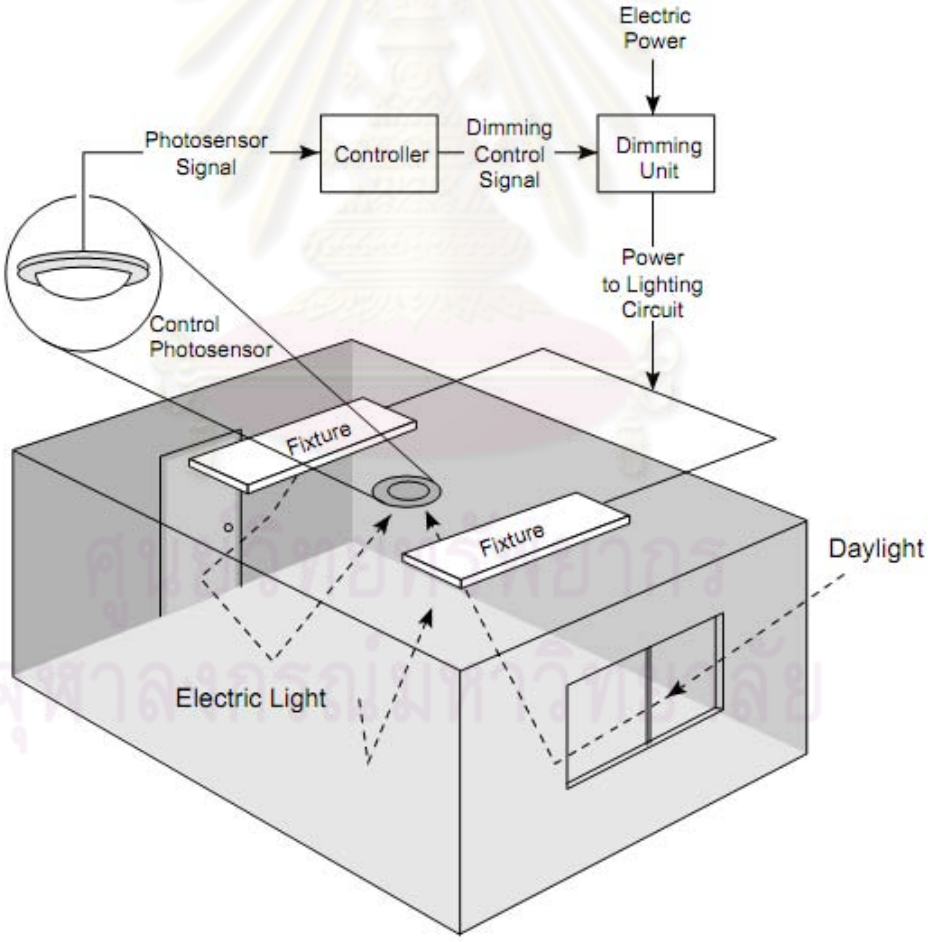
อุปกรณ์ควบคุมความสวางของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนรับความสว่าง (photo sensor) ส่วนควบคุมความสว่าง (lighting control) และส่วนบัลลาสต์ควบคุมการปรับระดับความสว่าง (electronic dimming ballast) ลำดับการทำงานของอุปกรณ์แบบวงจรมีดังนี้

1. ส่วนรับความสว่าง (photo sensor) จะวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นๆ ในกรณีที่เป็นวงจรปิด (closed loop) อุปกรณ์จะมีลักษณะการอ่านค่าเหมือนเลนส์ตาปลา (Fish eye lens) มองลงบนพื้นที่ทำงานโดยรอบจากตำแหน่งติดตั้งบนเพดาน ค่าความสว่างที่อ่านได้จะเป็นค่าตัวแทนของความสว่างในระดับพื้นที่ทำงาน (work plane illuminance value)

ภาพที่ 2.18 ภาพเลนส์ตาปลา 180 องศา จำลองการมองเห็นของเซนเซอร์รับความสว่าง

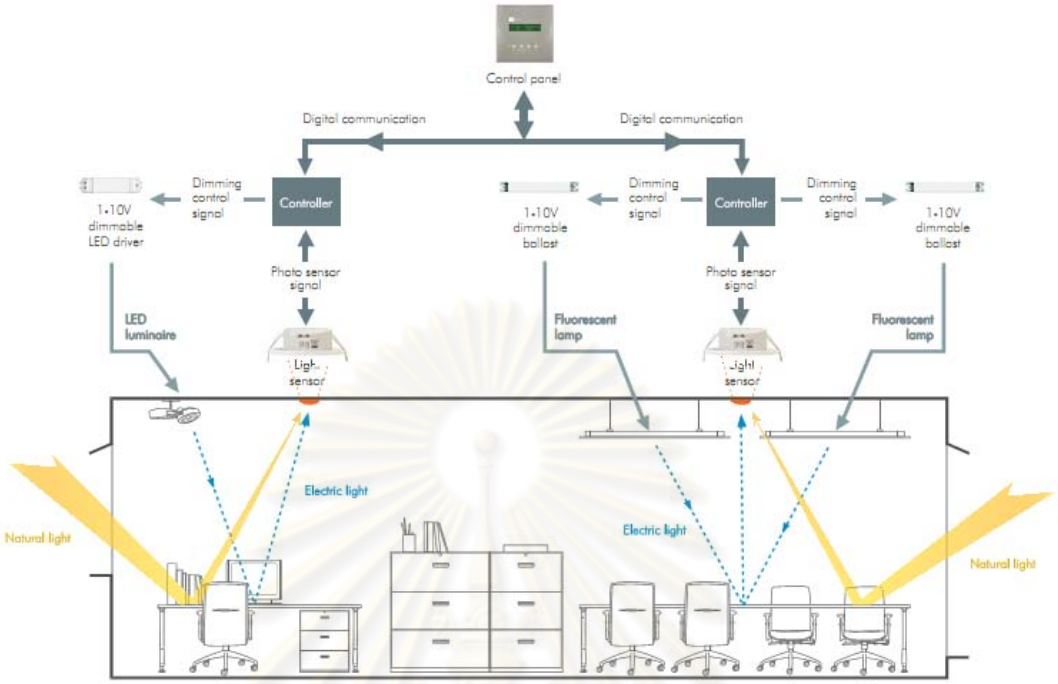
ที่มา : E. Charles, P. Konstantinos, L. Judy, R. Kenneth. A method for simulating the performance of photo sensor-based lighting controls. Energy and Buildings (2002).

2. หลังจากวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ทำงานแล้ว ค่าดังกล่าวจะส่องเป็นสัญญาณไปยังสวิตช์ของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งในกรณีที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิด เมื่อค่าความสว่างมากเกินกว่าที่กำหนดค่าไว้ จะมีสัญญาณคำสั่งไปยังสวิตช์ให้ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ และหากน้อยกว่าที่กำหนดไว้จะมีสัญญาณคำสั่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆเพื่อเปิดสวิตช์
3. ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างแบบปรับระดับความสว่างได้ เมื่อส่วนรับค่าความสว่างของพื้นที่ทำงานอ่านค่าความสว่างที่ได้และวิเคราะห์ทางเลือกตามที่ได้ตั้งค่าไว้ เพื่อให้ได้ระดับความสว่างที่เหมาะสมต่อความต้องการของผู้ใช้งาน แล้วจึงส่งข้อมูลการทำงานไปส่วนสวิตช์ควบคุม ส่วนควบคุมจะส่งคำสั่งไปที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อปรับระดับความสว่างของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามที่ได้ออกแบบชุดคำสั่งไว้ในเบื้องต้น ปัจจุบันมีบัลลาสต์ควบคุมการปรับระดับความสว่าง (electronic dimming ballast) หลากหลายผู้ผลิตและหลากหลายประสิทธิภาพ สามารถควบคุมระดับความสว่างได้ตั้งแต่ 10%-100% ซึ่งเกิดจากการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า (V) โดยส่วนมากจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-10 V โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสว่างของดวงโคมเพิ่มมากขึ้นด้วย



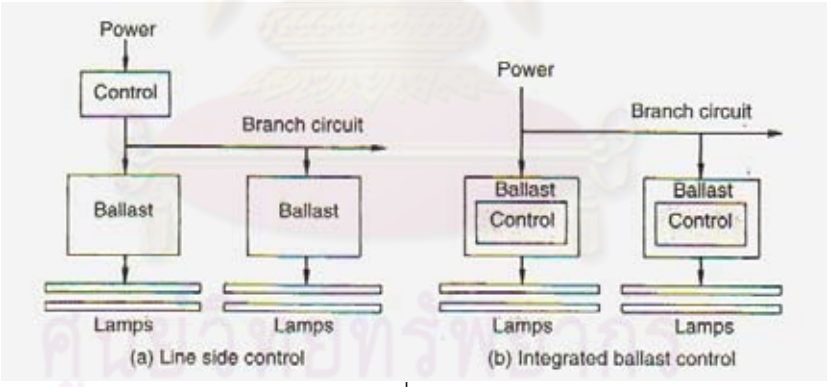
ภาพที่ 2.19 แสดงผังการจัดวางอุปกรณ์และลำดับการทำงาน

ที่มา : Jennifer O'Connorthe, Tips for daylighting with windows, California Institute for Energy Efficiency (2008)



ภาพที่ 2.20 Daylight control : Electric light in response to natural light

ที่มา : IESNA lighting handbook(9th edition). IESNA publication. New York. 2000



ภาพที่ 2.21 เปรียบเทียบการทำงานของระบบไฟฟ้าที่มี/ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมอัตโนมัติ

ที่มา : IESNA lighting handbook(9th edition). IESNA publication. New York. 2000

2.5.3 การเลือกชนิดของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม

ในการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างระหว่างสวิตช์ปรับความสว่างแบบหรี่ได้และสวิตช์เปิดปิด จะเลือกใช้จากปัจจัยในการควบคุมความสว่างของพื้นที่ทำงานภายในที่ต่างกัน

2.5.3.1 การใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยสวิตช์ปรับความสว่างแบบเปิดปิด

ควรเลือกใช้อุปกรณ์เมื่อปัจจัยที่ใช้ควบคุมความสว่างในพื้นที่ทำงาน คือ ตารางเวลาการใช้งานซึ่งเป็นวิธีควบคุมความสว่างของดวงโคมตามตารางเวลาที่กำหนด ทั้งช่วงเวลาระหว่างวัน (กลางวัน-กลางคืน) และวันทำงาน-วันหยุด ไม่ขึ้นกับสภาพความสว่างจริงของแสงธรรมชาติ และปัจจัยด้านแสงธรรมชาติ ซึ่งจะใช้

อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดควบคู่กับเซนเซอร์รับความสว่างของแสงธรรมชาติ แต่ไม่มีการปรับความสว่างเป็นระดับ ข้อดีของการเลือกใช้อุปกรณ์ลักษณะนี้คือค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์ไม่สูง ระยะเวลาในการคืนทุนเร็ว และไม่ต้องใช้ความชำนาญมากในการติดตั้ง อย่างไรก็ตามการควบคุมความสว่างลักษณะนี้ไม่เหมาะกับบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับแสงสว่างบ่อย รวมทั้งภายใต้สภาพสภาวะอากาศที่แปรปรวนเนื่องจากจะสร้างภาวะไม่สบายให้กับผู้ใช้และจะเป็นการลดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.5.3.2 **การใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยสวิตช์ปรับความสว่างแบบหรี่ได้**

ควรเลือกใช้อุปกรณ์เมื่อปัจจัยที่ใช้ควบคุมความสว่างในพื้นที่ทำงาน คือ ปริมาณแสงธรรมชาติ และการปรับระดับความสว่างด้วยตนเอง

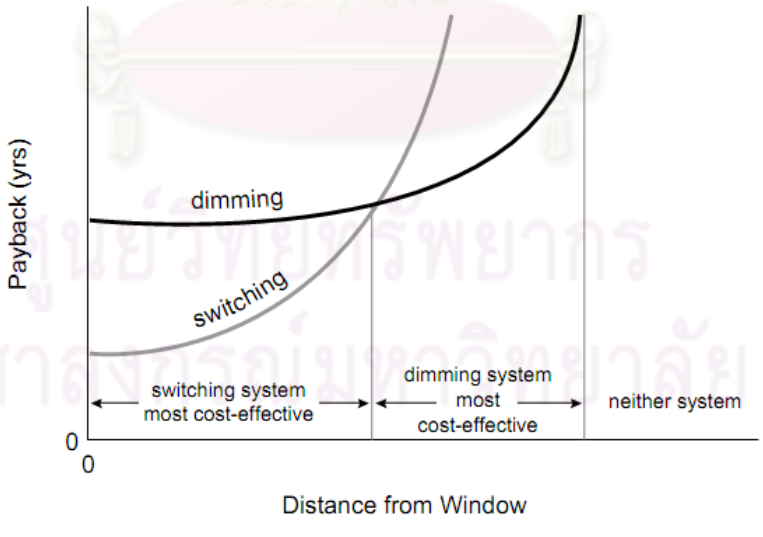
- แสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารมีปริมาณที่ต่างกันตามแต่ช่วงเวลาระหว่างวัน ระหว่างปี รวมไปถึงทิศทางของช่องเปิด ซึ่งถ้าปริมาณแสงสว่างธรรมชาติมีปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งาน อุปกรณ์ที่อ่านค่าความสว่างของแสงธรรมชาติจะไปควบคุมการทำงานของแสงประดิษฐ์เพื่อลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมลง

- การปรับความสว่างด้วยตนเอง

จะเป็นการปรับระดับความสว่างของดวงโคมของผู้ใช้ย่อย เพื่อให้ความสว่างอยู่ในระดับเหมาะสมกับพื้นที่ทำงานตามความต้องการเฉพาะบุคคล ซึ่งสามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 10-15% ต่อปี

แม้ว่าค่าใช้จ่ายของบัลลาสต์ของหลอดไฟชนิดหรี่ได้จะสูง แต่ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจะน้อยลงเมื่อเทียบกับการใช้สวิตช์แบบเปิด-ปิดในระยะยาว อย่างไรก็ตามหากพื้นที่นั้นๆเป็นพื้นที่ที่ไม่มีแสงธรรมชาติ หรือแสงธรรมชาติเข้ามาน้อย การใช้สวิตช์แบบเปิด-ปิดอาจเหมาะสมกว่า



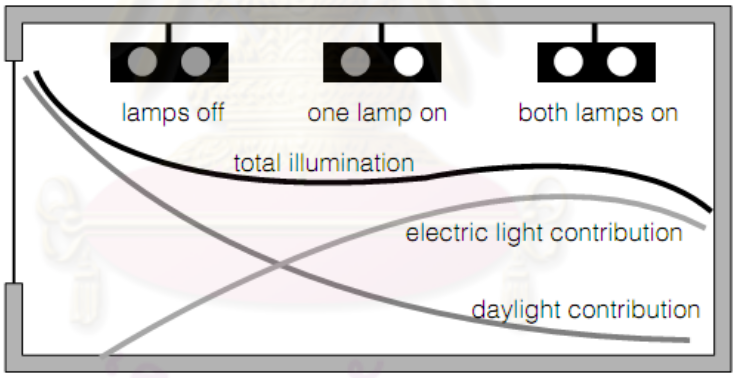
ภาพที่ 2.22 แผนภูมิแสดงระยะเวลาการคืนทุนของระบบไฟฟ้าแบบทั่วไปและแบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่าง

ที่มา : Jennifer O'Connorthe, Tips for daylighting with windows, California Institute for Energy Efficiency (2008)

การใช้สวิตช์ปรับความสว่างแบบเปิดปิดควบคู่กับเซนเซอร์รับความสว่างของแสงธรรมชาติ จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อใช้ในที่ที่มีปริมาณแสงธรรมชาติมาก และอยู่ในบริเวณที่ห่างจากหน้าต่างหรือช่องเปิดไม่เกิน 10 ฟุต

2.5.4 **การแบ่งบริเวณควบคุม** (Zoning)

1. แบ่งการควบคุมดวงโคมด้วยปริมาณของแสงธรรมชาติที่เท่ากัน และลักษณะการใช้งานของพื้นที่ที่เหมือนกัน เช่น ห้องประชุม ส่วนทำงานคอมพิวเตอร์ ในอาคารที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งและมีลักษณะช่องเปิดเหมือนกันตลอดแนว ควรแบ่งการควบคุมของดวงโคมเป็นแนวขนานกับช่องเปิด
2. แบ่งการควบคุมของดวงโคมโดยคำนึงถึงผลจากอุปกรณ์กันแดด เช่น ม่าน มู่ลี่ ถ้ามีส่วนไหนของสำนักงานมีอุปกรณ์กันแดดแยกจากส่วนอื่นให้แบ่งการควบคุมแยกออก
3. ไม่ควรแบ่งบริเวณควบคุมย่อยมากเกินไป เนื่องจากการแบ่งบริเวณควบคุมที่มากขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์สูงขึ้น แต่ถ้าแบ่งเป็นบริเวณที่กว้างมากเกินไปจะทำให้บางพื้นที่ได้รับแสงสว่างไม่เพียงพอ จึงควรออกแบบบริเวณการติดตั้งอุปกรณ์อย่างเหมาะสม
4. ในกรณีที่บริเวณติดหน้าต่างหรือช่องเปิดเป็นทางสัญจร ควรแยกการควบคุมดวงโคมบริเวณนี้ เพื่อที่เมื่อแสงธรรมชาติมากพอจะสามารถปิดดวงโคมที่เกินความจำเป็นได้



ภาพที่ 2.23 แสดงตัวอย่างการแบ่งโซนควบคุมดวงโคมของห้องที่มีช่องเปิดรับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Jennifer O'Connorthe, Tips for daylighting with windows, California Institute for Energy Efficiency (2008)

จากตัวอย่างการแบ่งโซนควบคุมดวงโคม อธิบายค่าความสว่างโดยเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความสว่างในบริเวณต่างๆภายในห้อง จะสังเกตเห็นว่าแสงธรรมชาติจะค่อยๆลดลงเมื่อระยะที่วัดห่างจากหน้าต่างหรือช่องเปิดมากขึ้น จึงมีการเปิดใช้แสงประดิษฐ์เพื่อให้แสงสว่างมีความสม่ำเสมอและสามารถใช้ได้ตามมาจรฐานกำหนด

2.5.5 **ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์**

1. การวางตำแหน่งเซ็นเซอร์ให้เหมาะสมกับตำแหน่งของพื้นที่ทำงาน ถ้าภายในห้องมีพื้นที่ทำงานบริเวณเดียว ให้ติดตั้งเซนเซอร์บนเพดานเหนือบริเวณพื้นที่ทำงาน

2. หากใช้อุปกรณ์ควบคุมระบบปิด (closed-loop control system) ควรติดตั้งเซนเซอร์ที่ระยะจากหน้าต่าง 1/3 หรือ 30% ของความลึกห้อง ถ้าใช้อุปกรณ์ควบคุมระบบเปิด (open-loop control system) สามารถติดตั้งได้ภายนอก หรือเหนือหิ้งสะท้อนแสง(ถ้ามี)
3. ควรติดตั้งเซนเซอร์บนเพดานระดับเดียวกับดวงโคม และหันด้านที่อ่านค่าไปทางพื้นที่ทำงาน (work plane) เซนเซอร์ที่ดีไม่ควรมีองศาการรับค่าแสงสว่างที่แคบเกินไป และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงมากเกินไปซึ่งอาจทำให้คำสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแกว่งได้ รวมทั้งไม่ควรให้เซนเซอร์สัมผัสกับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงด้วย

2.5.6 **ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน**

1. โดยทั่วไปอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยสวิตช์แบบหรี่ได้จะเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้งานมากว่าสวิตช์เปิดปิด เนื่องจากผู้ใช้งานจะสังเกตถึงความเปลี่ยนแปลงของความสว่างได้น้อยกว่า แต่ในกรณีที่ระดับความสว่างจากแสงธรรมชาติในห้องมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลต่ออุปกรณ์ควบคุมความสว่างเพียงครั้งหรือ 2 ครั้งในช่วงการใช้งาน ควรเลือกใช้สวิตช์แบบเปิด-ปิดจะเหมาะสมกว่า
2. ไม่ควรใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติกับโคมดาวน์ไลท์ (down light) เนื่องจากมีการวิจัยและพบว่าผู้ใช้งานรู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างอย่างชัดเจนเมื่อใช้อุปกรณ์ความสว่างด้วยแสงธรรมชาติควบคู่กับสวิตช์เปิด-ปิด
3. ในการติดตั้งอุปกรณ์อัตโนมัติต่างๆควรติดตั้งสวิตช์ที่ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนค่าเองไว้ด้วย เนื่องจากผู้ใช้จะรู้สึกพึงพอใจมากกว่าหากตนสามารถควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ได้เองในกรณีที่ค่าที่ตั้งไว้ไม่อยู่ในระดับที่ผู้ใช้งานพึงพอใจ

2.5.7 **ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ**

ในการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติจะพบว่ามีหลายปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แตกต่างกันออกไป ทั้งปัจจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์และปัจจัยภายนอก เช่น ลักษณะของแสงในทิศทางต่างๆ สภาพท้องฟ้า ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ ประสิทธิภาพของส่วนรับความสว่าง ประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ชนิดของกระจกของช่องเปิด เป็นต้น มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์และปัจจัยดังกล่าว

L. Doulos, A. Tsangrassoulis, F. Topalis ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่อประสิทธิภาพการควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ[7] ในปี 2008 พบว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จากต่างผู้ผลิตจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ทำให้ผลการใช้พลังงานจริงอาจผิดไปจากการจำลองด้วยโปรแกรมได้ จึงควรเลือกและทดสอบคุณภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่เลือกใช้จริงด้วย

---

[7] L. Doulos, A. Tsangrassoulis, F. Topalis, Quantifying energy savings in daylight responsive system: The role of dimming electronic ballasts, Energy and Buildings (2008).

นอกจากนี้กลุ่มนักวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยของคลื่นแสงที่มีผลต่อการอ่านค่าความสว่างของส่วนรับความสว่าง[8] จากการศึกษาพบว่าแสงที่ผ่านกระจกของช่องเปิดต่างชนิดกัน จะมีลักษณะของคลื่นแสงที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลให้การอ่านค่าความสว่างของส่วนรับแสงต่างกันออกไป

ผลงานวิจัยของ B. Brekke, E.H. Hansen ได้กล่าวถึงอิทธิพลของทิศทางของช่องเปิดที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร ซึ่งพบว่าอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้ จะมีอัตราการใช้พลังงานที่ลดลงจากปกติ 30-40% ในขณะที่ในห้องที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือจะมีอัตราการใช้พลังงานที่ลดลง 20-30%[9]

ทั้งนี้ยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ ซึ่งผู้วิจัยจะทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ อัตราการใช้พลังงาน และผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ในลำดับต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[8] L. Doulos, A. Tsangrassoulis, F. Topalis, The role of spectral response of photosensors in daylight responsive systems, Energy and Building (2008).

[9] Brekke, E.H. Hansen,Energy saving in lighting installations by the utilization of daylight, in: Proceedings of the Right Light (1995).

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้วิธีวิจัยแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulation Research) ร่วมกับการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ

ส่วนที่ 1 การศึกษาปริมาณของแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของห้องสำนักงานมาตรฐานที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนแตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ เนื่องจากอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่ต่างกันจะทำให้ค่าความสว่างในระดับพื้นที่ทำงานต่างกันด้วย ถ้าปริมาณของแสงธรรมชาติเพียงพอสำหรับการทำงานตามมาตรฐานกำหนดแล้ว อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติจะทำงานเพื่อลดค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ เพื่อศึกษาหาอัตราค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคารที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ หรือพื้นที่ทำงานมีความสว่างเพียงพอจากแสงธรรมชาติโดยตรงและจากการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร เพื่อให้มีความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติเพื่อลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยในการศึกษาสามารถแบ่งเป็นระยะได้ดังนี้

1. การศึกษาปริมาณแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของห้องสำนักงานมาตรฐานที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนแตกต่างกันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
2. การออกแบบจัดวางดวงโคมในห้องสำนักงานมาตรฐานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน ขนาด 36 วัตต์ ที่มีการปรับระดับความสว่างด้วยอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม

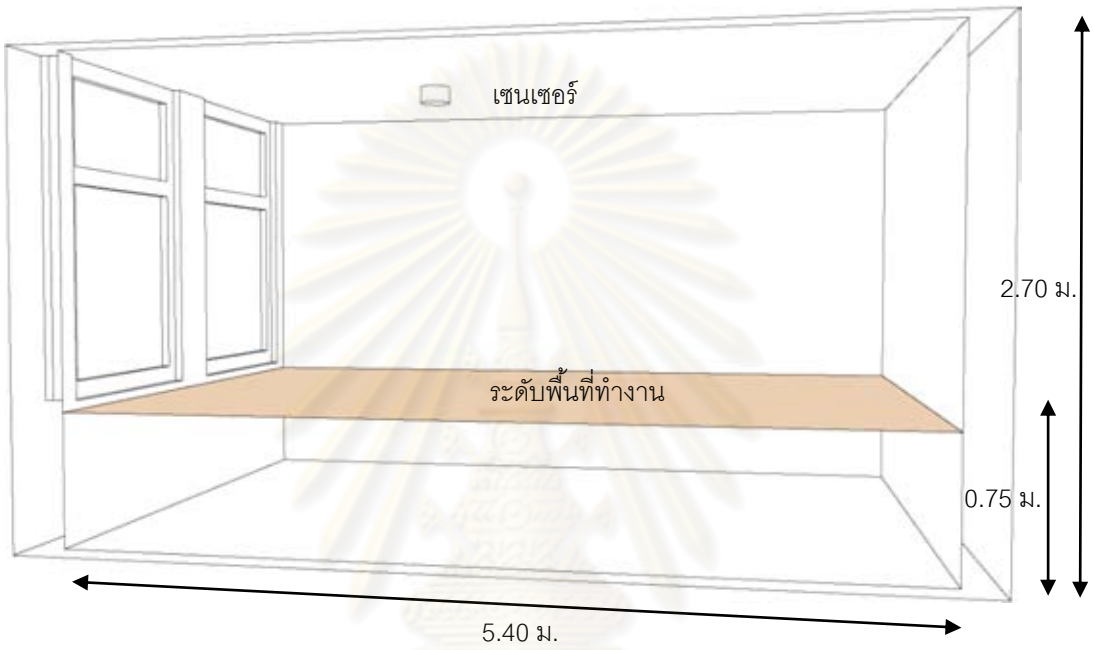
ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของห้องสำนักงานจำลองที่มีอัตราค่าการสะท้อนที่แตกต่างกันเมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ แล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบโดยคำนึงถึงระยะคืนทุนทางด้านพลังงานงานและค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ เพื่อวิเคราะห์ถึงอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่เหมาะสมต่อการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติเมื่อคำนึงถึงผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์

3.1 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณของแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของห้องสำนักงานมาตรฐานที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนแตกต่างกัน

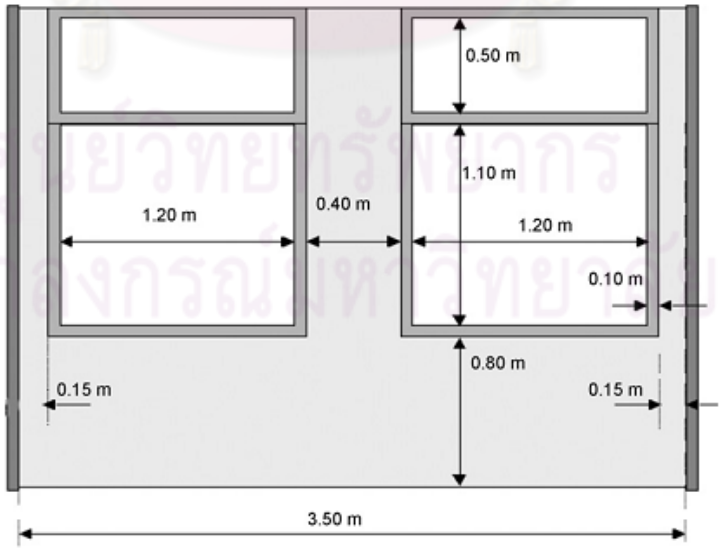
3.1.1 การศึกษาปริมาณของแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของห้องสำนักงานมาตรฐานที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนแตกต่างกัน

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาผลของอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่มีต่อค่าความสว่างที่อ่านได้บนพื้นที่ทำงาน โดยได้จำลองห้องสำนักงานมาตรฐานตามงานวิจัยของ International Energy Agency : Solar, Heating and Cooling – Task27(IEA : SHC – Task27) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux4.8 และจำลองสภาพเสมือนจริงของแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในอาคารเพื่อเก็บข้อมูลปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้นในเวลาต่างๆของทั้งปีของห้องที่อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในห้องแตกต่างกัน

ห้องสำนักงานมาตรฐานสำหรับการทดลองหรือศึกษาด้านการใช้พลังงานในสำนักงานเป็นแบบมาตรฐานของ IEA : SHC ในงานวิจัย Task 27 ซึ่งกำหนดขนาดของสำนักงาน (W x L x H) = 3.50 x 5.40 x 2.70 เมตร ซึ่งมีพื้นที่ = 18.90 ตารางเมตร และมีความสูงจากพื้นถึงเพดาน (H) = 3.50 เมตร ระดับพื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.75 เมตร มีช่องหน้าต่างหนึ่งด้านทางด้านแคบของห้องจำนวน 2 บาน ขนาด 1.40 x 1.90 เมตร (รวมกรอบหน้าต่างแล้ว)

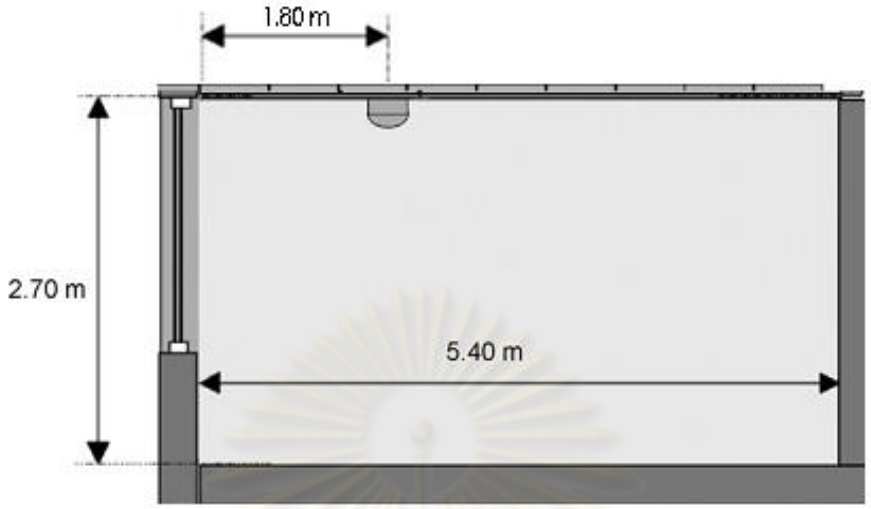


ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะภายในห้องสำนักงานจำลอง



ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งและขนาดช่องเปิดของแบบจำลอง

ที่มา : Dick van Dijk. Thermal and solar modeling and characterization; the role of IEA SHC Task 27. TNO Building and Construction Research



ภาพที่ 3.3 ขนาดของแบบจำลองและตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์

ที่มา : Dick van Dijk. Thermal and solar modeling and characterization; the role of IEA SHC Task 27. TNO Building and Construction Research

ในการติดตั้งเซนเซอร์เพื่ออ่านค่าความสว่างของพื้นที่ทำงานจาก International Energy Agency : Solar, Heating and Cooling – Task27 และจากคำแนะนำของผู้ผลิต ให้ติดตั้งในช่วง ความลึกของห้อง 1/3 จากทางด้านช่องเปิด โดยติดตั้งบนฝ้าเพดานหันด้านเซนเซอร์ลงทางด้านพื้นที่ทำงาน ซึ่งในห้องสำนักงานขนาดมาตรฐานนี้จะติดตั้งเซนเซอร์ที่ระยะ 1.80 เมตรจากทางด้านหน้าต่าง

หลังจากจำลองห้องสำนักงานมาตรฐานพร้อมเซนเซอร์อ่านความสว่างรับทำงานด้วยโปรแกรม DIALux4.8 แล้ว จะทำการจำลองสภาพจริงของแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานในเวลาทำการตั้งแต่ 8.00-18.00 น โดยจะจำลองสภาพแสงธรรมชาติทุกๆชั่วโมง ในห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารตั้งแต่ 0.10-0.90 ซึ่งอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารหาได้จากสมการที่ได้กล่าวในบทที่ 2 แล้วคือ

$$\text{Area-Weighted Average Reflectance} = \frac{\text{Wall Area X Wall Reflectance}}{\text{Total Surface Area}} + \frac{\text{Ceiling Area X Ceiling Reflectance}}{\text{Total Surface Area}} + \text{...etc.} \quad \text{....(3.1)}$$

อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร (คิดด้วยน้ำหนักพื้นที่)

$$= \frac{\text{พื้นที่ผนัง x ค่าการสะท้อนของผนัง}}{\text{พื้นที่ผิวที่มีค่าการสะท้อน}} + \frac{\text{พื้นที่เพดาน x ค่าการสะท้อนของเพดาน}}{\text{พื้นที่ผิวที่มีค่าการสะท้อน}} + \frac{\text{พื้นที่พื้น x ค่าการสะท้อนของพื้น}}{\text{พื้นที่ผิวที่มีค่าการสะท้อน}}$$

จากแบบห้องสำนักงานมาตรฐานจะสามารถจำแนกขนาดพื้นที่ผิวของส่วนต่างๆเพื่อนำมาคำนวณหาอัตราค่าการสะท้อนได้ดังนี้

พื้นที่ผนังภายใน = 37.98 ตารางเมตร

พื้นที่เพดาน = 18.90 ตารางเมตร

พื้นที่พื้น = 18.90 ตารางเมตร

รวมพื้นที่ผิวภายในที่มีการสะท้อน = 75.78 ตารางเมตร

เมื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการที่ 1 จะได้อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในตามสัดส่วนค่าการสะท้อนและพื้นผิวภายในดังตารางที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

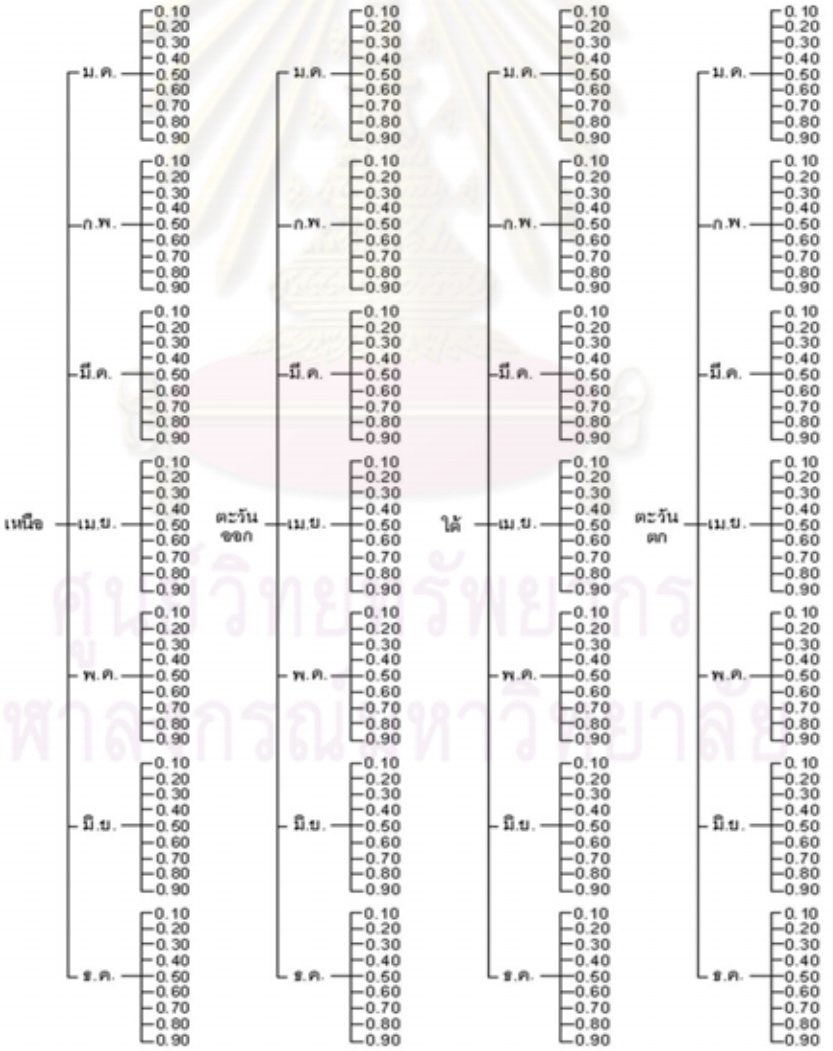
ตารางที่ 3.1 อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร

ratio	ceiling	wall	floor
0.10	10	10	10
0.20	10	10	50
	30	10	30
	50	10	10
	10	30	10
0.30	10	10	90
	30	10	70
	50	10	50
	70	10	30
	90	10	10
	10	30	50
	30	30	30
	50	30	10
	10	50	10
0.40	50	10	90
	70	10	70
	90	10	50
	10	30	90
	30	30	70
	50	30	50
	70	30	30
	90	30	10
	10	50	50
	30	50	30
	50	50	10
	10	70	10
0.50	90	10	90
	50	30	90
	70	30	70
	90	30	50
	10	50	90
	30	50	70
	50	50	50
	70	50	30
	90	50	10
	10	70	50
	30	70	30
	50	70	10
	10	90	10
0.60	90	30	90
	50	50	90
	70	50	70
	90	50	50
	10	70	90
	30	70	70
	50	70	50
	70	70	30
	90	70	10
	10	90	50
	30	90	30
	50	90	10
0.70	90	50	90
	50	70	90
	70	70	70
	90	70	50
	10	90	90
	30	90	70
	50	90	50
	70	90	30
	90	90	10
0.80	90	70	90
	50	90	90
	70	90	70
	90	90	50
0.90	90	90	90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาค่าอัตราการสะท้อนของพื้นผิวภายในจะมีประโยชน์.ต่อการจัดทำคำแนะนำการใช้งานสำหรับสถาปนิก เนื่องจากอัตราค่าการสะท้อนเป็นค่าที่เกิดจากการหาสัดส่วนของค่าการสะท้อนและพื้นที่ผิวภายใน ซึ่งสามารถนำไปเทียบกับห้องหรืออาคารอื่นๆได้ จากตารางที่ 3.1 พบว่าค่าการสะท้อนที่เพิ่มขึ้นของผนังจะมีผลต่ออัตราค่าการสะท้อนรวมของห้องมากกว่าค่าการสะท้อนของพื้นและเพดาน เนื่องจากผนังมีพื้นที่ผิวมาก ค่าการสะท้อนที่เพิ่มขึ้นของผนังจึงมีผลต่ออัตราการสะท้อนรวมมากกว่า

โดยจะจำลองการค่าความสว่างตามเวลาทำการของสำนักงาน คือ 8.00-18.00 น. ของแบบจำลองที่อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในตั้งแต่ 0.10-0.90 ในทิศทางต่างๆกัน ในเดือนต่างๆตลอดปี ตั้งค่าท้องฟ้าในการจำลองเป็นแบบท้องฟ้าโปร่ง หรือ clear sky โดยในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองสภาพแสงธรรมชาติของวันที่ 21 มกราคม, 21 กุมภาพันธ์, 21 มีนาคม, 21 เมษายน, 21 พฤษภาคม และ 21 ธันวาคม เป็นตัวแทนค่าความสว่างของทั้งปีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง เพื่อนำค่าดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยรวมและการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้อง ซึ่งมีการจำลองสภาพแสง ดังภาพที่ 3.4

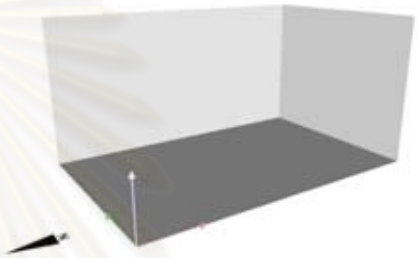


ภาพที่ 3.4 แผนการจำลองสภาพแสงธรรมชาติในสำนักงานที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในตั้งแต่ 0.10-0.90 ในทิศทางต่างๆ ใน 5 เดือนสำคัญ

ภาพที่ 3.5 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 10-10-10

ภาพที่ 3.6 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 10-30-10

ภาพที่ 3.7 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 30-30-30



ภาพที่ 3.8 แสดงห้องที่มีค่าการสะท้อน 30-50-30

ภาพที่ 3.5-3.8 ตัวอย่างการจำลองสภาพแสงธรรมชาติในห้องสำนักงานด้วยโปรแกรม DIALux 4.8 (ตัวอย่างจำลองสภาพแสงธรรมชาติทางทิศเหนือ ในวันที่ 21 มกราคม เวลา 10.00 น.

เมื่อจำลองสภาพค่าความสว่างของพื้นที่ทำงานจากแสงธรรมชาติแล้ว จากนั้นทำการบันทึกค่าความสว่างที่เซนเซอร์อ่านได้ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่าความสว่างจริงบนระดับพื้นที่งานและนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

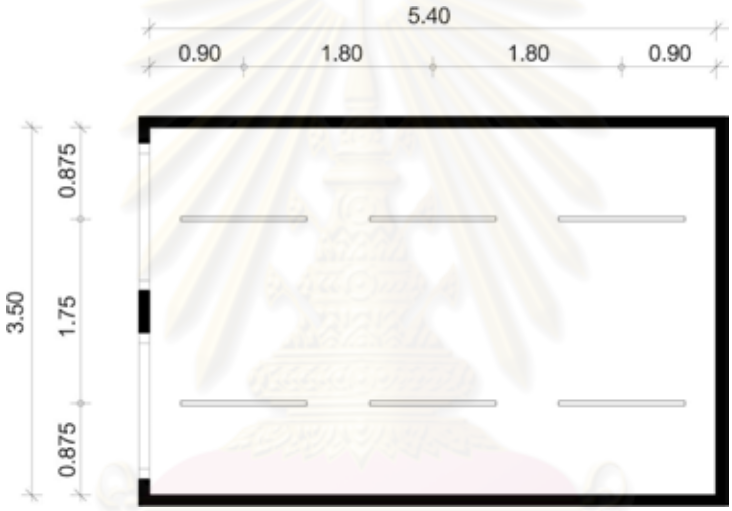
3.1.2 การออกแบบจัดวางดวงโคมในห้องสำนักงานมาตรฐานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ภายในอาคารสำนักงานจะมีการใช้พลังงานแสงสว่างจากทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ โดยผู้ออกแบบระบบแสงสว่างจะออกแบบระบบแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ให้เพียงพอต่อความต้องการในอาคารสำนักงานตามมาตรฐานแม้จะไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร การจัดวางตำแหน่งโคมไฟกล่องเหล็กพร้อมอุปกรณ์สะท้อน (Reflector) ซึ่งใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) ขนาด 36 วัตต์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน หรือ T8 โดยจัดวางผังโคมไฟเป็นแบบสมมาตร (Symmetry) ขนานไปกับแนวระนาบทำงาน (Work plane) ของโต๊ะทำงาน จำนวน 6 ชุด ระยะห่างระหว่างใต้โคมไป – ระนาบทำงาน (Height above work plane) = 1.95 เมตร และระยะห่างให้โคมไฟ – พื้น (Mounting Height) = 3.00 เมตร ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำไปจำลองในโปรแกรม DIALux4.8 เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ความสว่างและพลังงานในขั้นต่อไป

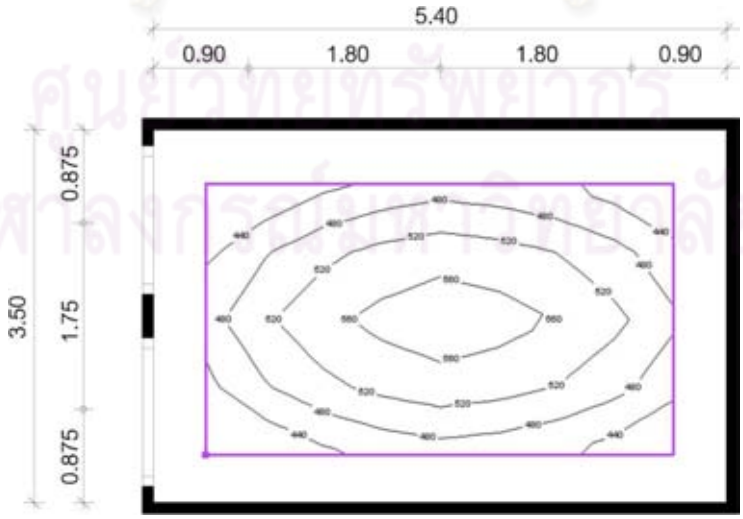
การจัดวางตำแหน่งโคมไฟเป็นแบบสมมาตร และเพื่อให้ความสว่างออกมามีความสม่ำเสมอสูงสุดละมีค่าเฉลี่ยความสว่างตามมาตรฐานสากล โดยวางตำแหน่งโคมแถวแรกให้จุดศูนย์กลางห่างจากหน้าต่าง 0.90 เมตร แถวที่สองให้จุดศูนย์กลางห่างจากหน้าตาง 1.80 เมตร และแถวที่สาม 2.70 เมตร ตามลำดับ จากนั้นทำ

การจำลองความสว่างของดวงโคมในช่วงที่ไม่มีแสงธรรมชาติ เพื่อดูประสิทธิภาพความสว่างที่ได้จากแสงประดิษฐ์ในระดับพื้นที่ทำงาน (0.75 เมตร) เพียงอย่างเดียว ผลจากการจำลองสามารถสรุปได้ดังนี้

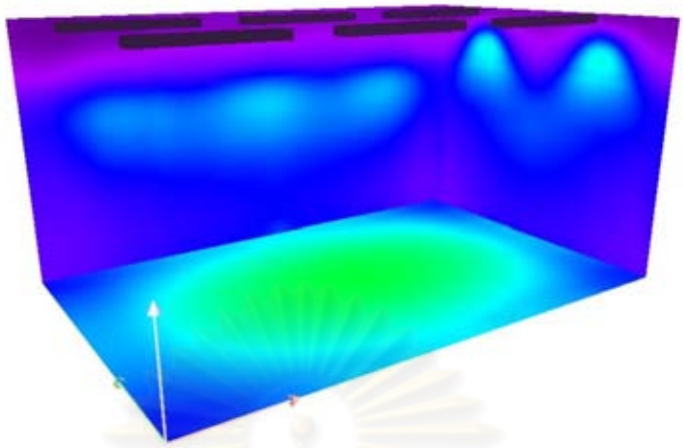
ดวงโคม : โคมกล่องเหล็กชนิดมีอุปกรณ์สะท้อน (reflector)
หลอดไฟ : ฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36W เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน (T8)
ค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายใน : 70-50-20 (อัตราค่าการสะท้อนรวม = 0.53)
ค่าความสว่างเฉลี่ยระดับพื้นที่ทำงาน : 509 ลักซ์
ค่าความสว่างต่ำสุดระดับพื้นที่ทำงาน : 415 ลักซ์
ค่าความสว่างสูงสุดระดับพื้นที่ทำงาน : 588 ลักซ์
ความสม่ำเสมอการกระจายแสง : 0.82



ภาพที่ 3.9 ตำแหน่งการจัดวางดวงโคมในแบบจำลองสำนักงาน

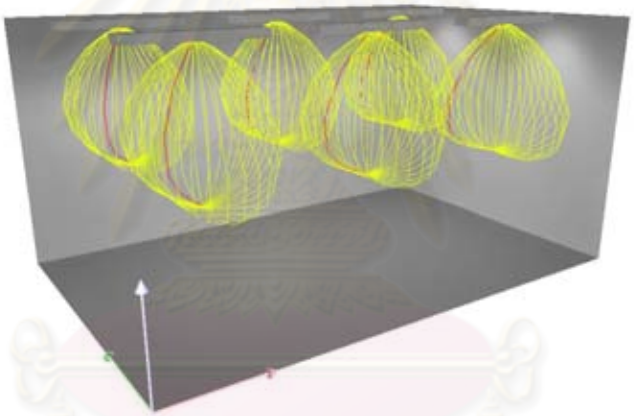


ภาพที่ 3.10 ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในแบบจำลองสำนักงาน
ที่มา : โปรแกรม DIALux4.8



ภาพที่ 3.11 แสดงการกระจายแสงในแบบจำลองสำนักงาน

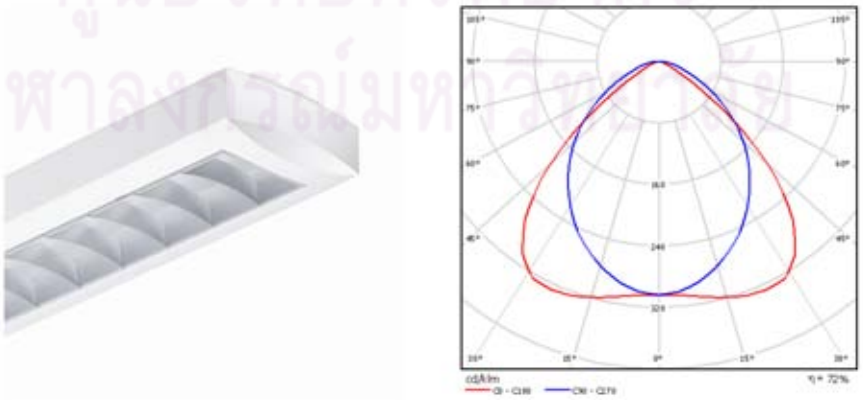
ที่มา : โปรแกรม DIALux4.8



ภาพที่ 3.12 แสดงลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม

ที่มา : โปรแกรม DIALux4.8

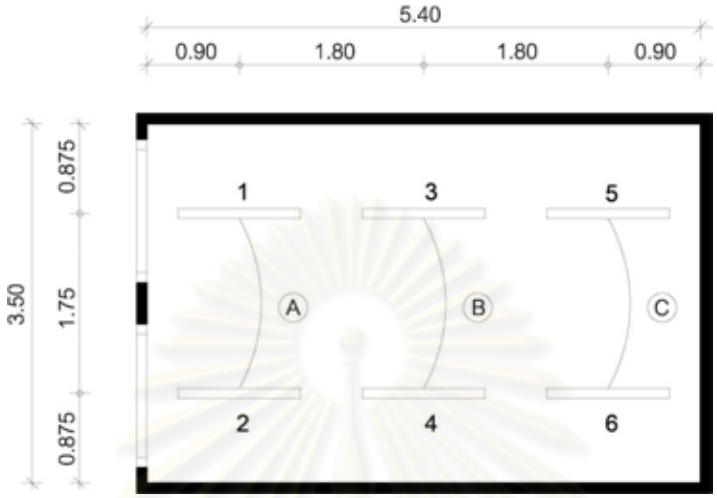
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.13 ดวงโคมที่เลือกใช้และกราฟการกระจายแสงของดวงโคม

ที่มา : โปรแกรม DIALux4.8

หลังจากจัดวางผังโคมไปในห้องสำนักงานมาตรฐานแล้ว จะจัดแบ่งการควบคุมความสว่างของดวงโคมออกเป็น 3 ชุด คือ ชุด A, B และ C ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีลักษณะการควบคุมที่แตกต่างกันดังนี้



ภาพที่ 3.14 ลำดับดวงโคมและการแบ่งชุดควบคุมดวงโคม

ชุด A : ควบคุมดวงโคม 1-2 ด้วยระบบเปิด-ปิดอัตโนมัติ

ชุด B : ควบคุมดวงโคม 3-4 ด้วยระบบปรับระดับความสว่างอัตโนมัติ

ชุด C : ควบคุมดวงโคม 5-6 ด้วยสวิตช์เปิด-ปิด

การจำลองสภาพแสงของดวงโคมในโปรแกรมจะจำแนกแบบการจำลองเพื่อศึกษาผลความสว่างของดวงโคมในระนาบทำงาน ตามตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 รูปแบบการจำลองความสว่างของดวงโคม

ลักษณะจำลอง	ชุด A	ชุด B	ชุด C
1	เปิด	เปิด (10V)	เปิด
2	ปิด	เปิด (9V)	เปิด
3	ปิด	เปิด (8V)	เปิด
4	ปิด	เปิด (7V)	เปิด
5	ปิด	เปิด (6V)	เปิด
6	ปิด	เปิด (5V)	เปิด
7	ปิด	เปิด (4V)	เปิด
8	ปิด	เปิด (3V)	เปิด
9	ปิด	เปิด (2V)	เปิด
10	ปิด	เปิด (1V)	เปิด
11	ปิด	ปิด	เปิด

ในการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ในสำนักงานมาตรฐาน จะทำการกำหนดตัวแปรควบคุมทางการทดลองไว้หลายหัวข้อเพื่อควบคุมผลการทดลองให้มีผลที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้แบบมีนัยสำคัญ เช่น ขนาด องค์ประกอบ และคุณลักษณะของสำนักงานจำลอง (ยกเว้นค่าการสะท้อนของพื้นผิว เป็นตัวแปรต้น) อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างพื้นฐาน ได้แก่ โคมไฟ ชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดเซนเซอร์ ชนิดบัลลาสต์

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของห้องสำนักงานจำลองที่มีอัตราค่าการสะท้อนในระดับต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ จึงกำหนดให้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเต็มที่ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากัน คือใช้หลอดไฟและอุปกรณ์เสริมเท่ากัน แต่ด้วยค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆภายในอาคารจะส่งผลต่อความสว่างที่ได้บนระดับพื้นที่ทำงาน แม้จะใช้กำลังไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากันความสว่างที่เซนเซอร์อ่านได้จะไม่เท่ากัน ดังนั้นการกำหนดค่าความสว่างเพื่อกำหนดชุดคำสั่งของเซนเซอร์จึงควรปรับตามอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวให้ได้ชุดคำสั่งที่มีความเหมาะสม

เพื่อหาค่าชุดคำสั่งที่เหมาะสม ผู้วิจัยจะทำการจำลองสภาพแสงที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่กำลังไฟฟ้าระดับต่างๆ ตามอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่กำหนด (ตั้งแต่ 0.10-0.90) อ้างอิงจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามตารางที่ 3.2 โดยจะวางแผนทำการจำลองดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รูปแบบการจำลองความสว่างของดวงโคมเพื่อหาชุดคำสั่งของเซนเซอร์

ลักษณะจำลอง	อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิว	ลักษณะจำลอง	อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิว
1	0.10-0.90	7	0.10-0.90
2	0.10-0.90	8	0.10-0.90
3	0.10-0.90	9	0.10-0.90
4	0.10-0.90	10	0.10-0.90
5	0.10-0.90	11	0.10-0.90
6	0.10-0.90		

3.1.3 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน ขนาด 36 วัตต์ ที่มีการปรับระดับความสว่างด้วยอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม

เพื่อทดสอบค่าการใช้พลังงานจริงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน (T8) เมื่อมีการใช้งานควบคู่กับอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมแบบปรับระดับความสว่างได้ (dimmer) ซึ่งจะให้ความสว่างต่างระดับกันเมื่อให้พลังงานต่างกันตามที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ โดยภาพที่ 3.15-3.19 แสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของหลอดไฟฟ้าเมื่อมีการปรับระดับความสว่างที่ระดับต่างๆ

ภาพที่ 3.15 แอมป์มิเตอร์

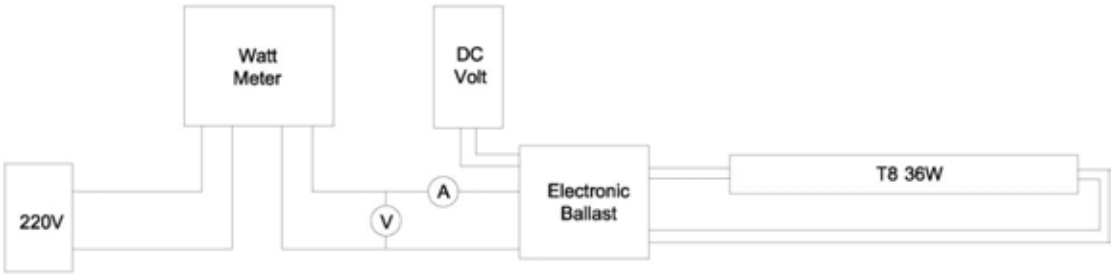
ภาพที่ 3.18 ลักซ์มิเตอร์

ภาพที่ 3.16 โวลท์มิเตอร์

ภาพที่ 3.19 เครื่องผลิต DC Volt

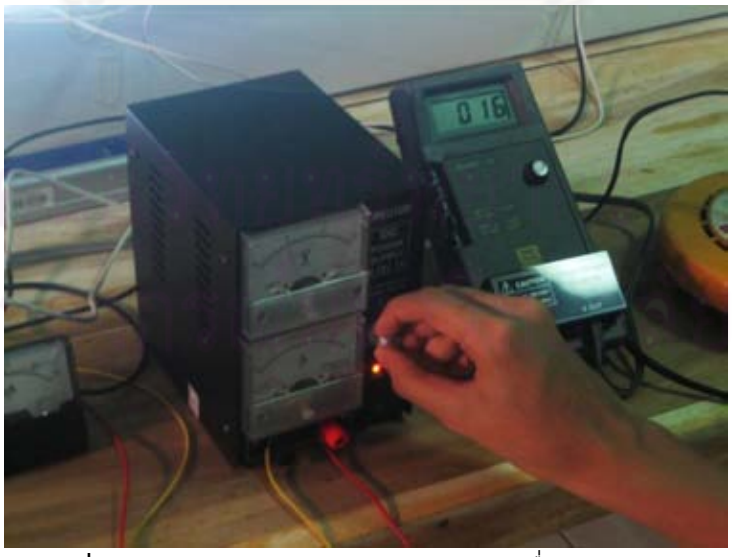
ภาพที่ 3.17 วัตต์มิเตอร์

ในการทดลองจะทำการต่ออุปกรณ์วัตต์มิเตอร์ที่ต้นชุดการทดลอง จากนั้นต่อโวลท์มิเตอร์แบบขนานเพื่อวัดศักย์ไฟฟ้า และต่อแอมป์มิเตอร์แบบอนุกรมก่อนชุดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต่อเชื่อมกับเครื่องผลิต DC Volt เพื่อกำหนดปริมาณการจ่ายไฟหรือปรับความสว่างดวงโคม (เปรียบเสมือน dimmer) แล้วจ่ายไฟจริงทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 8 หุน (T8) เมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างแบบปรับหรี่ได้ โดยจะทดลองปรับความสว่าง 11 ระดับ ได้แก่ 0-10 V โดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นครั้งละ 1 V แล้วบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์จากการให้แรงดันไฟฟ้าในระดับต่างๆ



ภาพที่ 3.20 แผนภูมิภาพแสดงลำดับการเชื่อมต่อวงจรชุดทดลอง

ภาพที่ 3.21 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาค่าการใช้พลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนท์ 36 วัตต์



ภาพที่ 3.22 แสดงการปรับระดับความสว่างด้วยเครื่องผลิต DC Volt

3.2 ขั้นตอนการศึกษาการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะต้องตอบสนองความต้องการพื้นฐานของผู้ใช้ ทั้งแง่ความงามและระดับความส่องสว่างมาตรฐาน นอกจากนี้เนื่องมาจากวิกฤติพลังงานที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ปัจจัยทางพลังงานซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายของอาคารจึงเป็นอีกปัจจัยที่ผู้ใช้ควรนำมาพิจารณา

ในการพิจารณาความเหมาะสมของการติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมอัตโนมัติจะพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของอุปกรณ์รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายทางพลังงานในระหว่างการดำเนินการใช้งาน จะพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์กับระบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ และเปรียบเทียบผลของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ในห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนในระดับต่างๆตั้งแต่ 0.10-0.90 โดยจะสามารถจำแนกค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายทางพลังงานของแต่ละระบบได้ ดังนี้

1. ระบบที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ

ปีที่ 0 : ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง
ปีที่ 1-4 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี
ปีที่ 5 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี และค่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 6 หลอด
ปีที่ 6-9 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี
ปีที่ 10 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี, ค่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 6 หลอด และค่าบัลลาสต์แกนเหล็ก

2. ระบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ

ปีที่ 0 : ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง
ปีที่ 1-4 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี
ปีที่ 5 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี, ค่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 6 หลอด และค่าบัลลาสต์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 2 ชุด
ปีที่ 6-9 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี
ปีที่ 10 : ค่าใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนตลอดปี, ค่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 6 หลอด, ค่าบัลลาสต์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 2 ชุด และค่าบัลลาสต์แกนเหล็ก 4 ชุด

ระหว่างการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั้ง 2 ระบบ จะมีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่แตกต่างกัน รวมทั้งการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างเดียวกันภายในห้องที่มีอัตราส่วนค่าการสะท้อนของพื้นผิวไม่เท่ากัน จะมีอัตราการใช้พลังงานไม่เท่ากัน ซึ่งปัจจัยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่นำมาพิจารณาถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าในการลงทุนของระบบไฟฟ้าที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมอัตโนมัติ เนื่องจากการใช้ระบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าระบบทั่วไป สิ่งที่ผู้ลงทุนนำมาพิจารณาถึงข้อดีคือ

ผลตอบแทนทางด้านค่าใช้จ่ายทางพลังงานที่ลดลง แม้ในปีแรกจะมีการลงทุนด้านอุปกรณ์ที่มากกว่าแต่เมื่อใช้งานแล้วจะมีค่าใช้จ่ายรวมของระบบน้อยลง

ในการคิดค่าใช้จ่ายทางพลังงานจะคิดเป็นค่าไฟฟ้าของสำนักงานจำลองที่ใช้ในแต่ละเดือน โดยกำหนดให้สำนักงานเปิดทำการเวลา 8.00-18.00 น. ใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน 11 ชั่วโมง วันจันทร์-ศุกร์หรือ 5 วันต่อสัปดาห์ โดยปริมาณพลังงานที่ใช้จะคิดเป็นราคาค่าใช้จ่าย กำหนดให้ 3 บาทต่อ 1 kWh

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบไฟฟ้าที่เลือกจะคำนวณได้ตามสมการที่ 3.2

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่เริ่มแรก}}{\text{ผลตอบแทนจากการลงทุนต่อปี}} \quad \text{.....(3.2)}$$

จากนั้นจะนำผลจากการคำนวณที่ได้มาวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมของการใช้งานระบบต่างๆ โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านต้นทุนและเวลาในการคืนทุน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของดวงโคมในห้องสำนักงานแบบจำลองที่มีค่าการสะท้อนพื้นผิวภายในที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาค่าความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติในระดับพื้นที่ทำงานของสำนักงานแบบจำลอง โดยจะจำลองสภาพความสว่างด้วยโปรแกรม DIALux 4.8 พื้นผิวภายในของแบบจำลองจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนตั้งแต่ 0.10-0.90 ในทุกๆพื้นผิวทั้งพื้น ผนัง และเพดาน

ส่วนที่ 2 ศึกษาค่าความสว่างที่เป็นตัวกำหนดค่าการทำงานของเซนเซอร์

ส่วนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนท์ขนาดเส่นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ ที่มีการปรับระดับความสว่างด้วยอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม โดยทำการวิจัยเชิงทดลอง

ส่วนที่ 4 ศึกษาการใช้พลังงานของโคมไฟเมื่อใช้ควบคู่กับอุปกรณ์ควบคุมความสว่าง โดยศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่ต่างกันระหว่างระบบดวงโคมที่มีกับไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ กับเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของสำนักงานจำลองที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมแต่ในทิศทางต่างกันและช่วงเวลาที่ต่างในตลอดทั้งปี

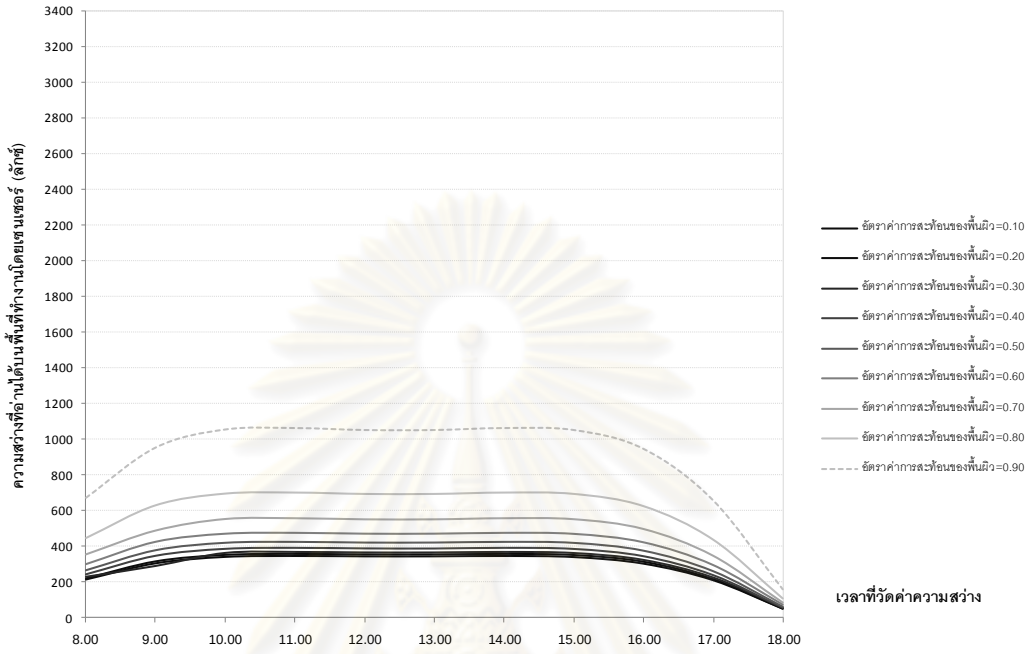
ส่วนที่ 5 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบค่าการลงทุนระหว่างระบบไฟฟ้าทั่วไปกับระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างด้วยแสงธรรมชาติ และผลตอบแทนทางการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับ เพื่อหาระยะคืนทุนของระบบดังกล่าวในการใช้งานในห้องสำนักงานที่มีค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่แตกต่างกัน

4.1 **การศึกษาค่าความสว่างที่ได้ระดับพื้นที่ทำงานในห้องสำนักงานด้วยการจำลองสภาพการให้แสงสว่างเสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์** (Computer Simulation)

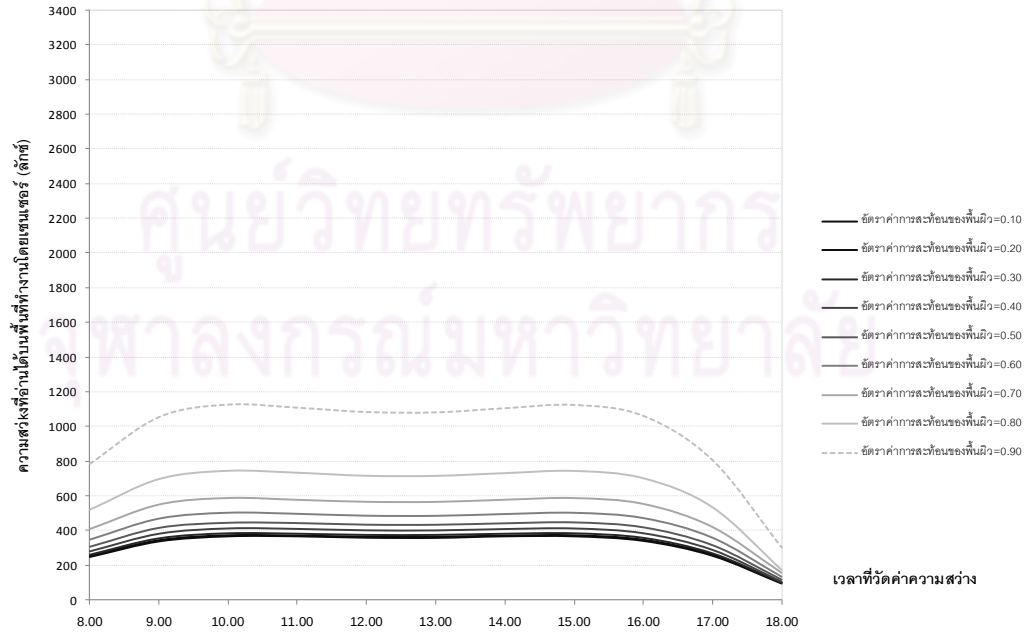
ผู้วิจัยจะแบ่งช่วงการจำลองการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกเป็น 4 ช่วงตามทิศทางของช่องเปิด แต่ละทิศของช่องเปิดจะสร้างห้องสำนักงานจำลองที่มีค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่ต่างกันทั้งพื้น ผนัง และเพดาน ซึ่งจะผ่านกระบวนการคำนวณหาอัตราส่วนค่าการสะท้อนรวมของพื้นผิวภายในแล้ว ให้ได้ค่าอัตราส่วนเพื่อสามารถทำเป็นข้อแนะนำในการใช้งานสำหรับผู้เกี่ยวข้องในระดับต่อไป

การจำลองสภาพการให้แสงสว่างเสมือนจริงด้วยโปรแกรม DIALux 4.8 จะจำลองห้องสำนักงานมาตรฐานตามที่ได้กล่าวไว้แล้วเบื้องต้น คือ ขนาดของสำนักงาน (W x L x H) = 3.50 x 5.40 x 2.70 เมตร มีความสูงจากพื้นถึงเพดาน (H) = 3.50 เมตร ระดับพื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.75 เมตร มีช่องหน้าต่างหนึ่งด้านทางด้านแคบของห้องจำนวน 2 บาน ขนาด 1.40 x 1.90 เมตร (รวมกรอบหน้าต่างแล้ว) โดยจะจำลองการค่าความสว่างตามเวลาทำการของสำนักงาน คือ 8.00-18.00 น. ของแบบจำลองที่อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในตั้งแต่ 0.10-0.90 ในทิศทางต่างๆกัน ในเดือนต่างๆตลอดปี ตั้งค่าท้องฟ้าในการจำลองเป็นแบบท้องฟ้าโปร่ง หรือ clear sky โดยจะทำการจำลองสภาพแสงธรรมชาติของวันที่ 21 มกราคม, 21 กุมภาพันธ์, 21 มีนาคม, 21 เมษายน, 21 พฤษภาคม, 21 มิถุนายนและ 21 ธันวาคม เป็นตัวแทนค่าความสว่างของทั้งปีที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง เพื่อนำค่าดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยรวมและการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องในส่วนต่อไป

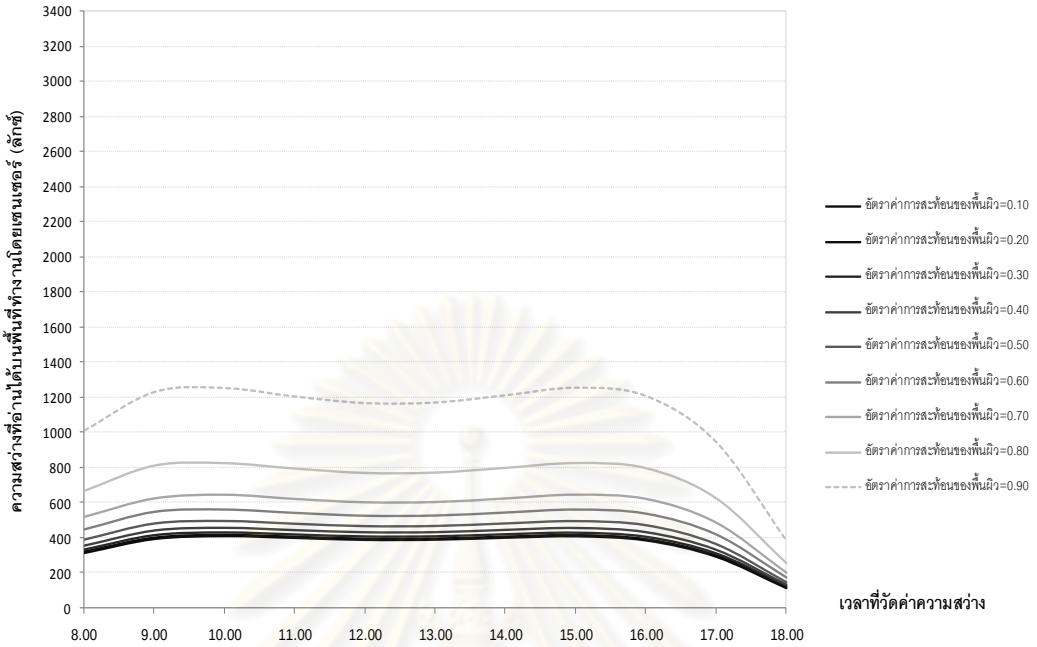
จากตารางผลการจำลองสภาพแสงธรรมชาติในวันและเวลาต่างๆของห้องสำนักงานมาตรฐานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ, ตะวันออก, ใต้ และตะวันตก (ในภาคผนวก ข) สามารถสรุปผลเป็นแผนภูมิได้ ดังนี้



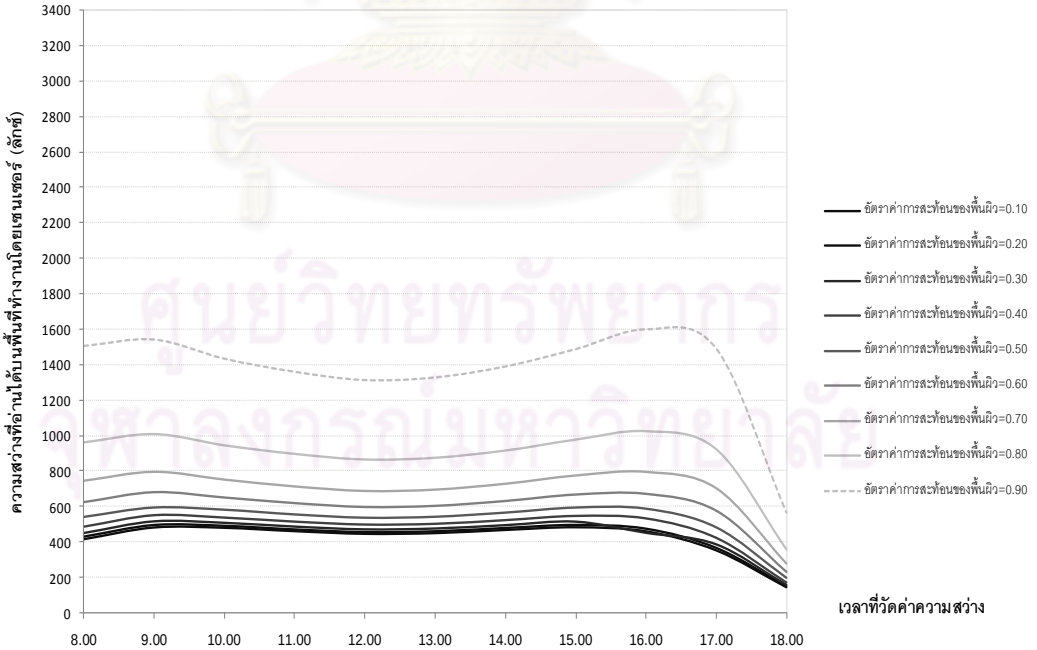
แผนภูมิที่4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ



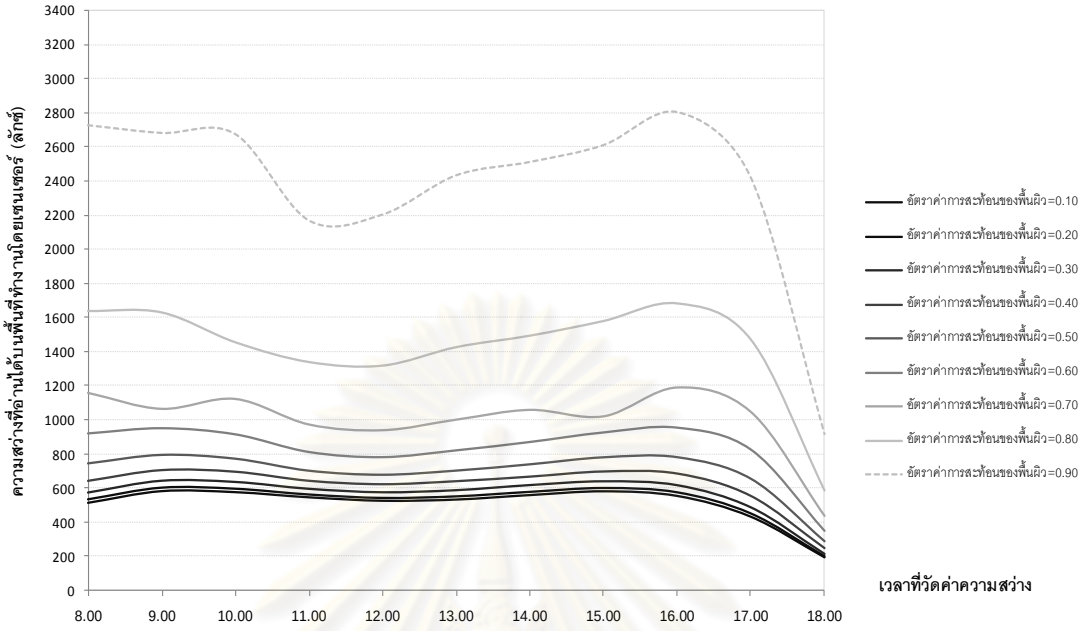
แผนภูมิที่4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ



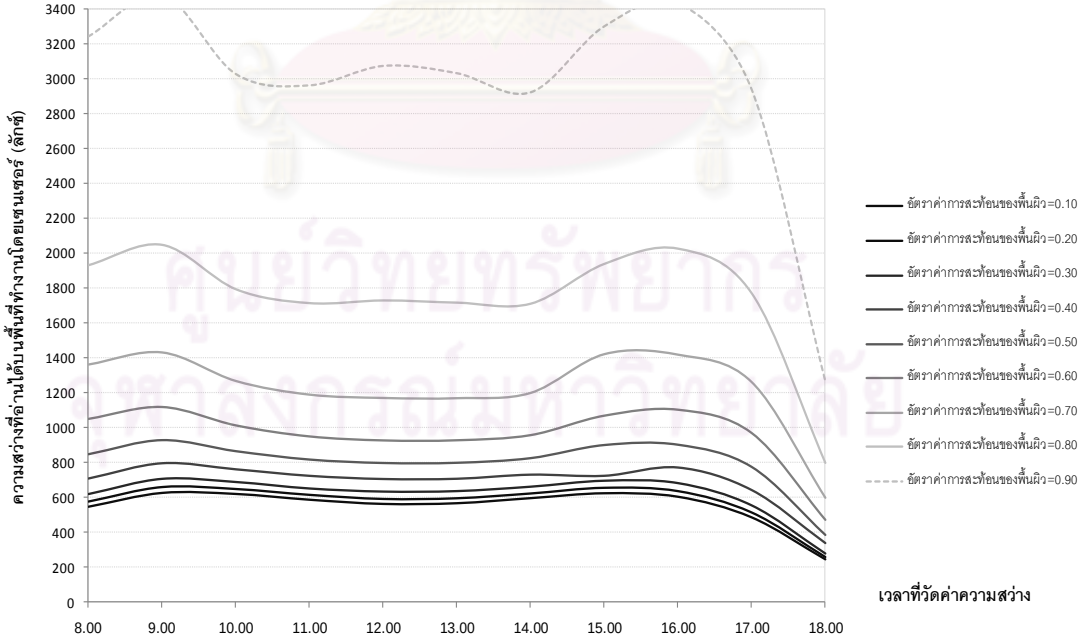
แผนภูมิที่4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ



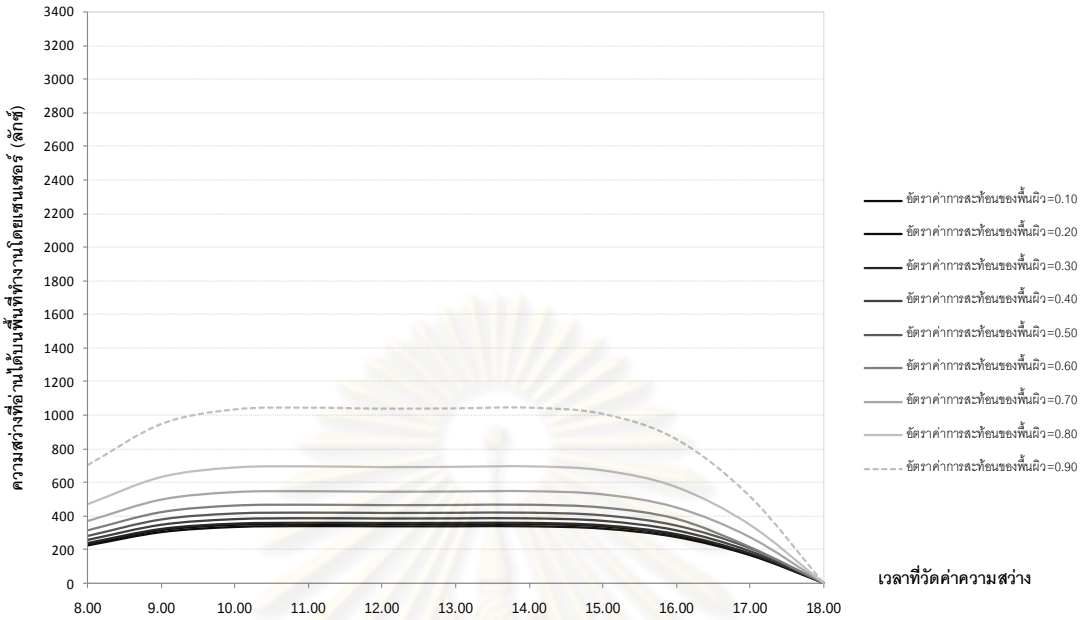
แผนภูมิที่4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ

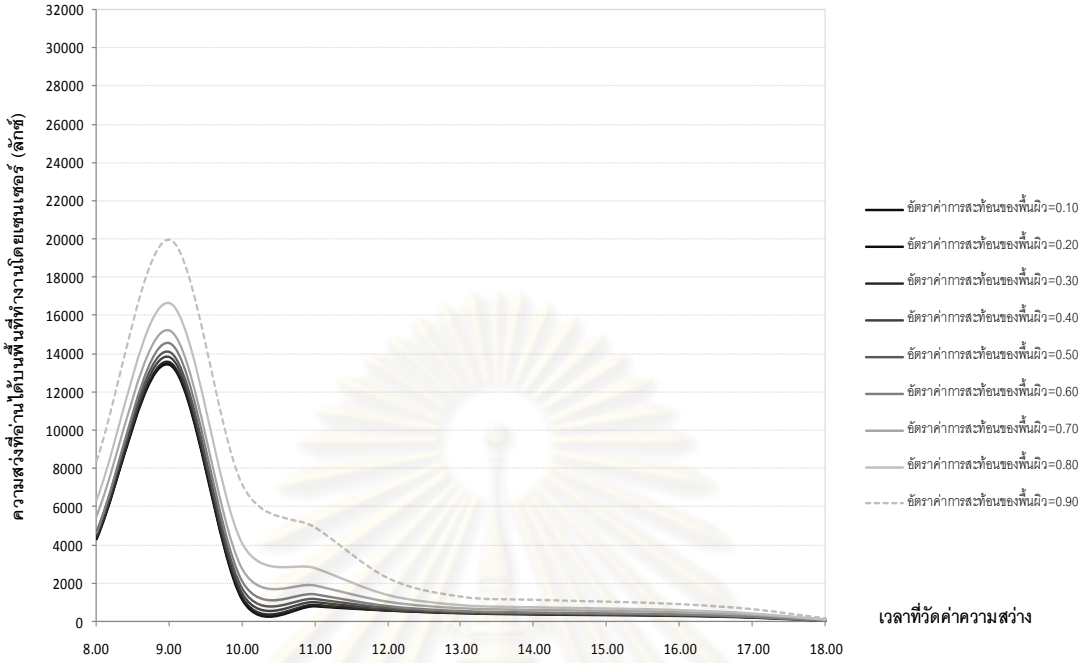


แผนภูมิที่4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ

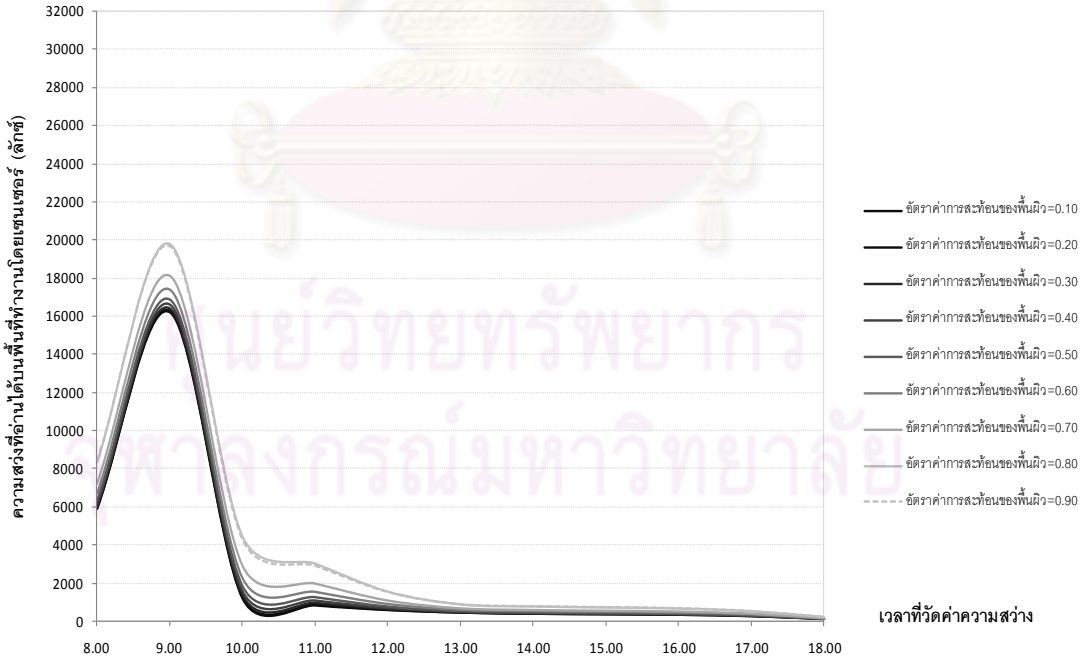
ค่าความสว่างที่อ่านได้จากเซนเซอร์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำการจำลองการทดลอง พบว่าแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารสำนักงานมาตรฐานที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ มีค่าความสว่างที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และธันวาคม ค่าความสว่างที่อ่านได้มีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากช่วง 8.00 น.จนถึงช่วง 9.00 น. ค่าความสว่างจะค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอจนถึงเวลา 17.00 น. ค่าความสว่างจะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าน้อยมาก แต่ในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมีค่าสูงกว่าเดือนอื่นๆ อาจเป็นผลมาจากลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่จะส่งผลต่อแสงที่เข้ามาทางหน้าต่างด้านทิศเหนือของสำนักงาน ทำให้ค่าความสว่างโดยเฉลี่ยสูงสุดในช่วงกลางวันของเดือนพฤษภาคม-มิถุนายนมีค่าสูงเป็นพิเศษประมาณ 3,400 ลักซ์ ในขณะที่ค่าความสว่างเฉลี่ยสูงสุดของเดือนมกราคม-เมษายนคือ 1,000-1,4000 ลักซ์

อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่ต่างกันมีผลต่อค่าความสว่างที่อ่านได้โดยเซนเซอร์ ห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในห้องมาก ค่าความสว่างที่อ่านได้โดยเซนเซอร์จะมีค่าสูง ถ้าเทียบกับอัตราค่าการสะท้อนของห้องทั่วไปที่ 0.50 ยกตัวอย่างถ้ามีช่องเปิดของสำนักงานทางทิศเหนือและวัดค่าความสว่างวันที่ 21 มกราคม เวลา 9.00 น. จะอ่านค่าความสว่างได้ที่ 376.3 ลักซ์ ห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อน 0.10 มีค่าความสว่างที่อ่านได้ 305 ลักซ์ น้อยกว่าห้องที่มีค่าสะท้อน 0.50 ร้อยละ 19 และห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิว 0.90 จะอ่านค่าความสว่างได้ 669 ลักซ์ มากกว่าร้อยละ 78

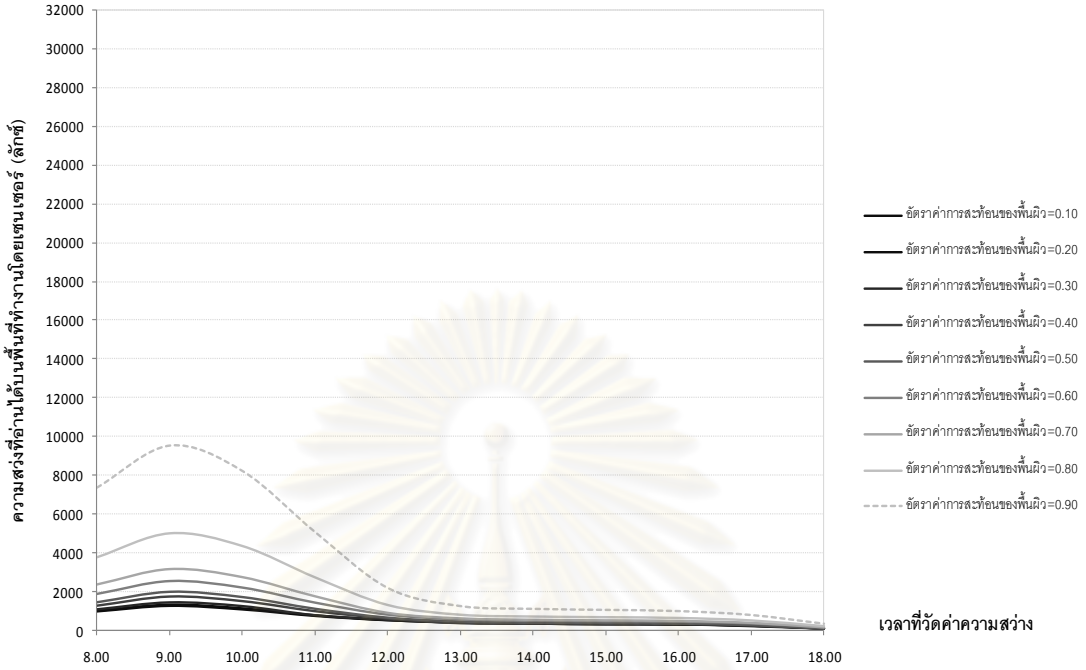
นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าในช่วงเวลา 18.00 น. ของแต่ละเดือนค่าความสว่างจะไม่เท่ากัน ช่วงเดือนธันวาคมและมกราคมจะมีค่าความสว่างน้อย ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่เหมาะสมในการทำงานมาก มีความจำเป็นต้องใช้แสงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มความสว่าง แต่ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายนมีค่าความสว่างเพียงพอ ซึ่งจะสามารถลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ลงได้



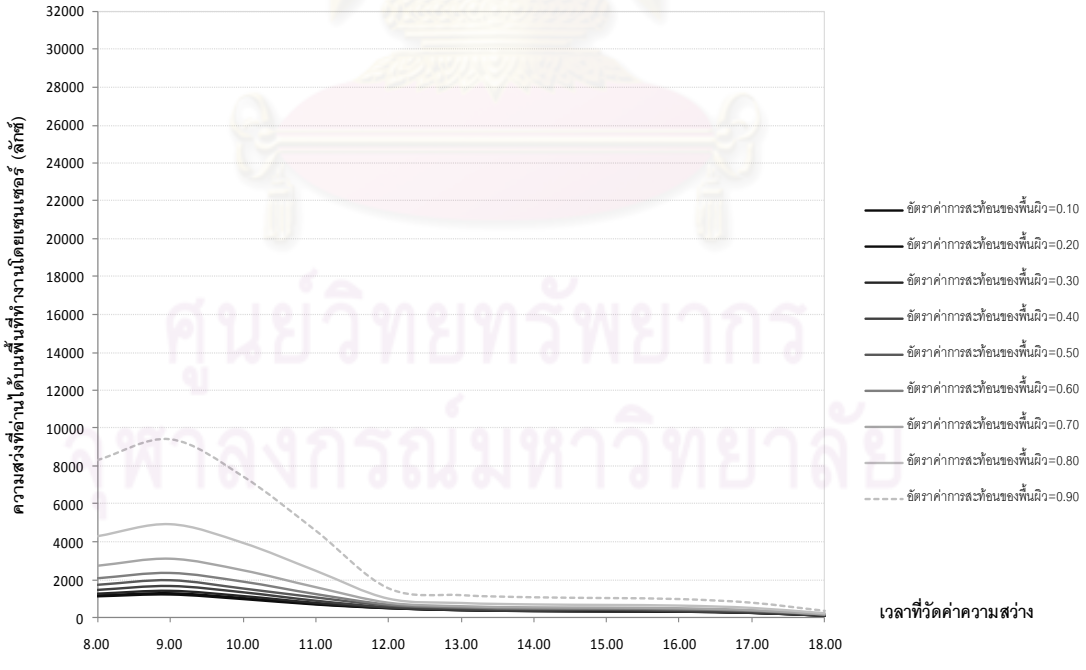
แผนภูมิที่4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก

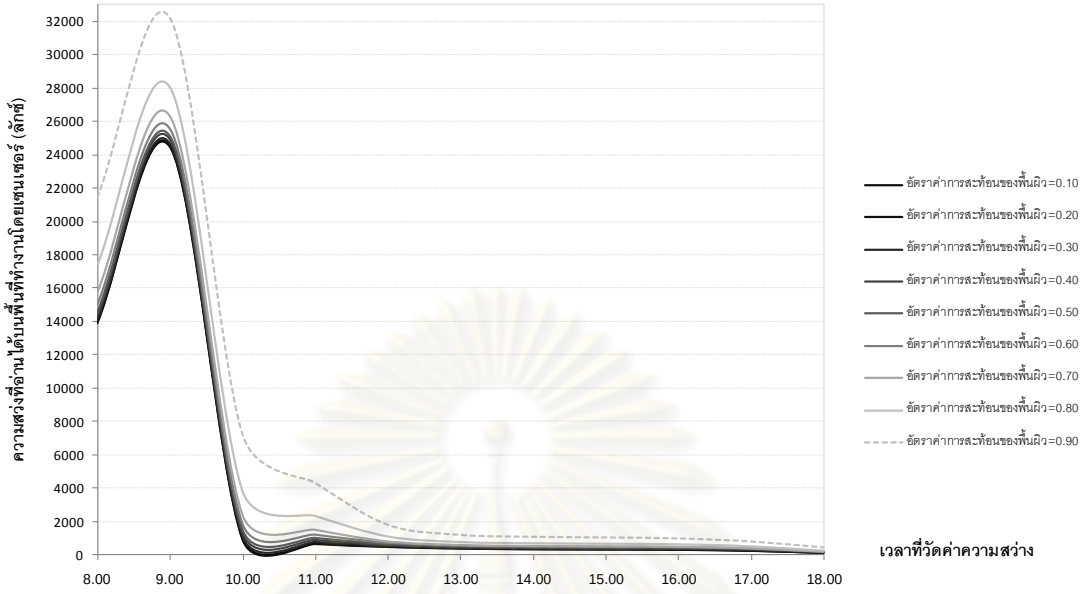


แผนภูมิที่4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก

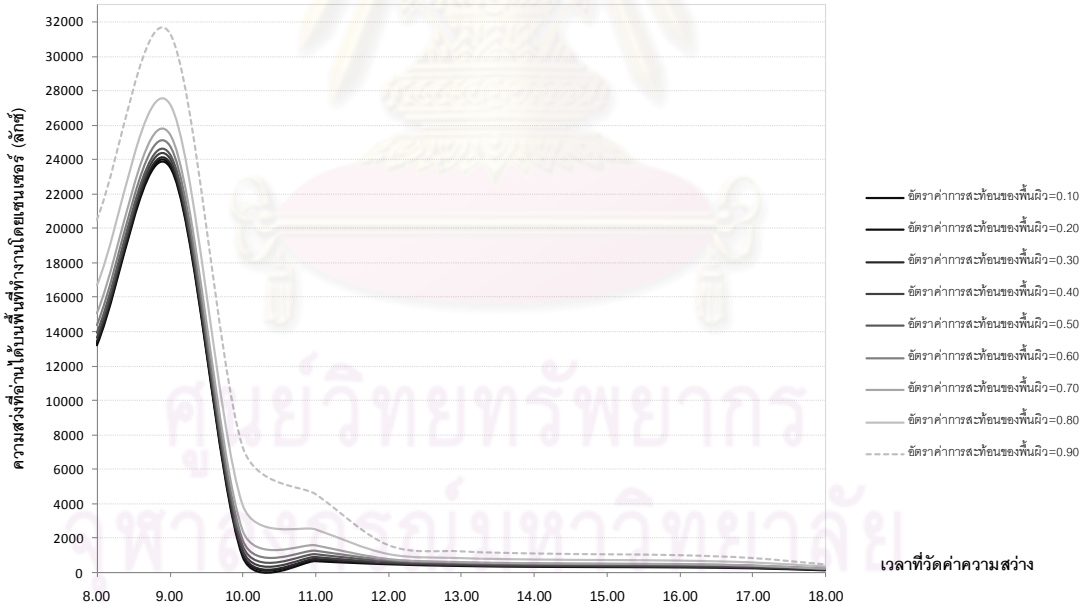


แผนภูมิที่4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก

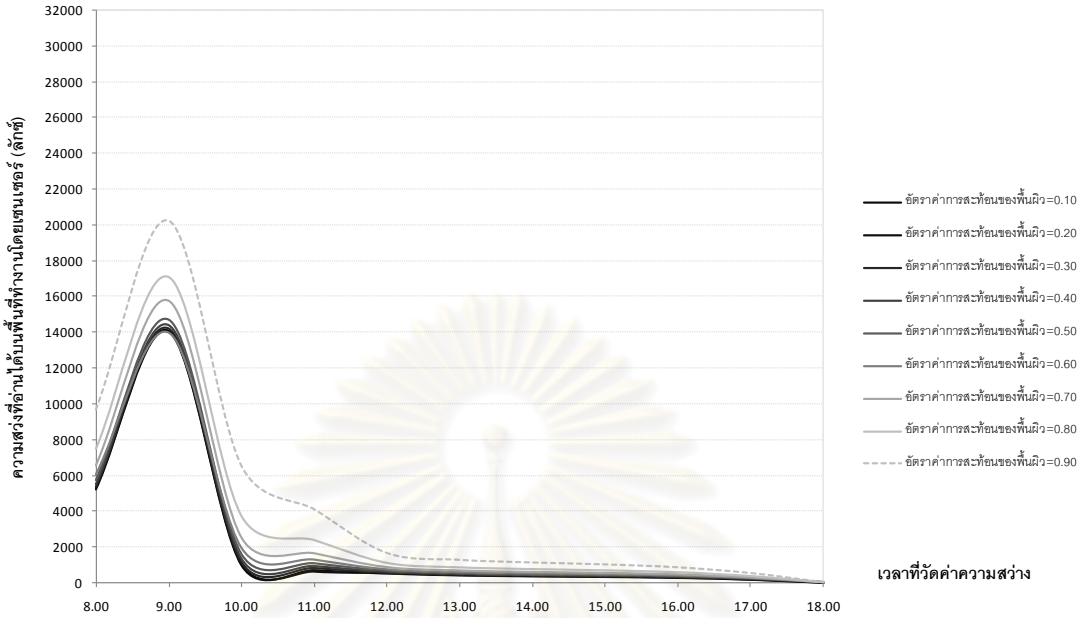
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก

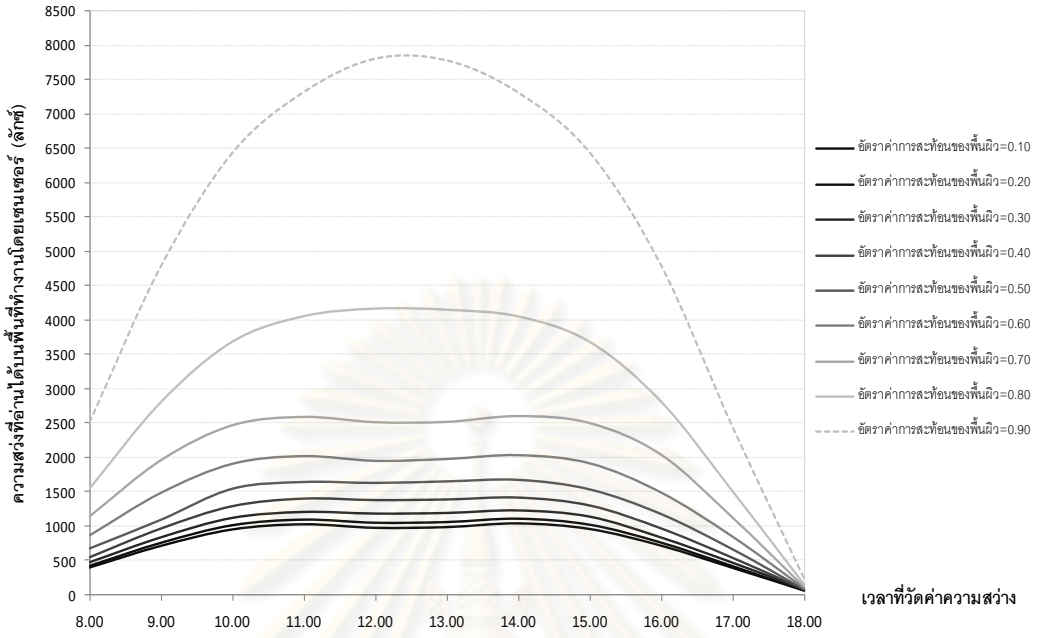


แผนภูมิที่4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก

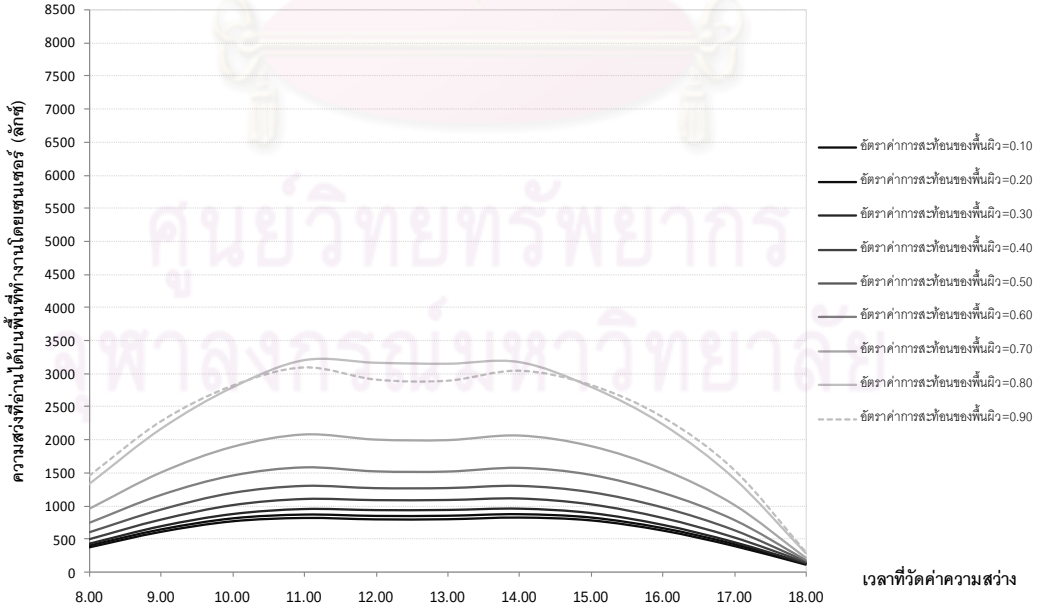
เมื่อนำค่าความสว่างที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่ห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกจะจัดกระทำข้อมูลในรูปแผนภูมิเส้น จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนจากผลการทดลองที่ได้จากห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ ค่าความสว่างที่อ่านได้ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออกจะมีค่าสูงมากในช่วงเช้าเวลา 8.00-10.00 น. เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ตกกระทบพื้นผิวห้องโดยตรง จากนั้นค่าความสว่างจะค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอจนถึงช่วง 18.00 น. ที่ค่าจะลดลงเหลือน้อยมาก

ช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน ค่าความสว่างที่อ่านได้โดยเซนเซอร์จะมีค่าน้อยกว่าเดือนอื่นๆ เนื่องจากลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ ทำให้แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารมรชีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับเดือนอื่นๆ

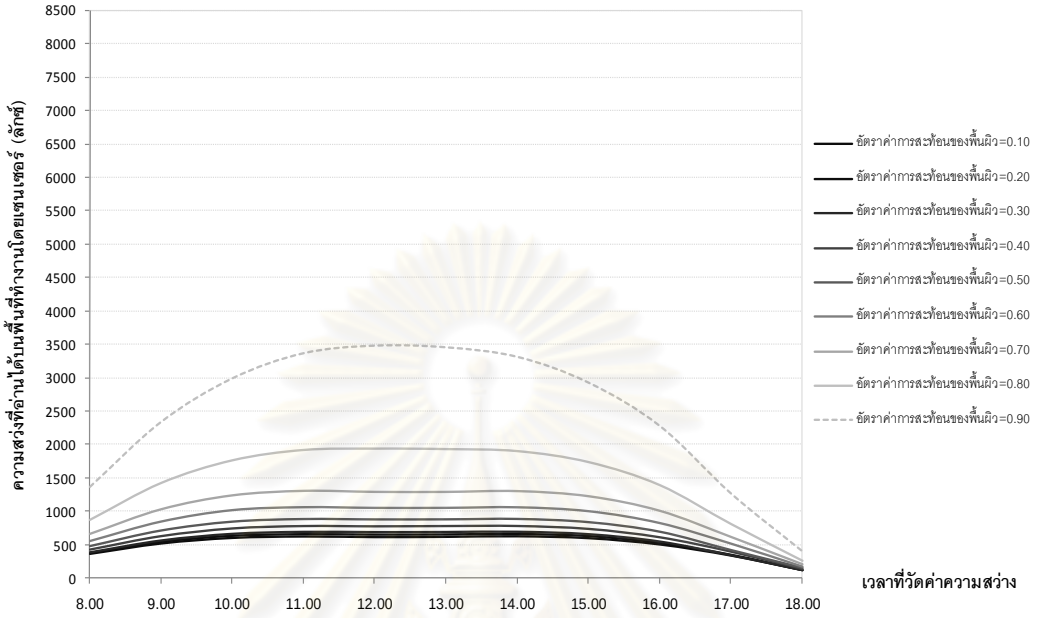
ค่าความสว่างที่อ่านได้จากเซนเซอร์ของห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวที่ต่างกันจะมีค่าแตกต่างกัน โดยห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนที่สูง ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมีค่าสูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสว่างจากแผนภูมิของทางทิศเหนือจะพบว่าความแตกต่างของค่าความสว่างที่อ่านได้จากห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวที่ต่างกันมีช่วงความแตกต่างที่มากกว่าห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก ดังนั้นอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารจะมีผลต่อค่าความสว่างของห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือมากกว่าห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก



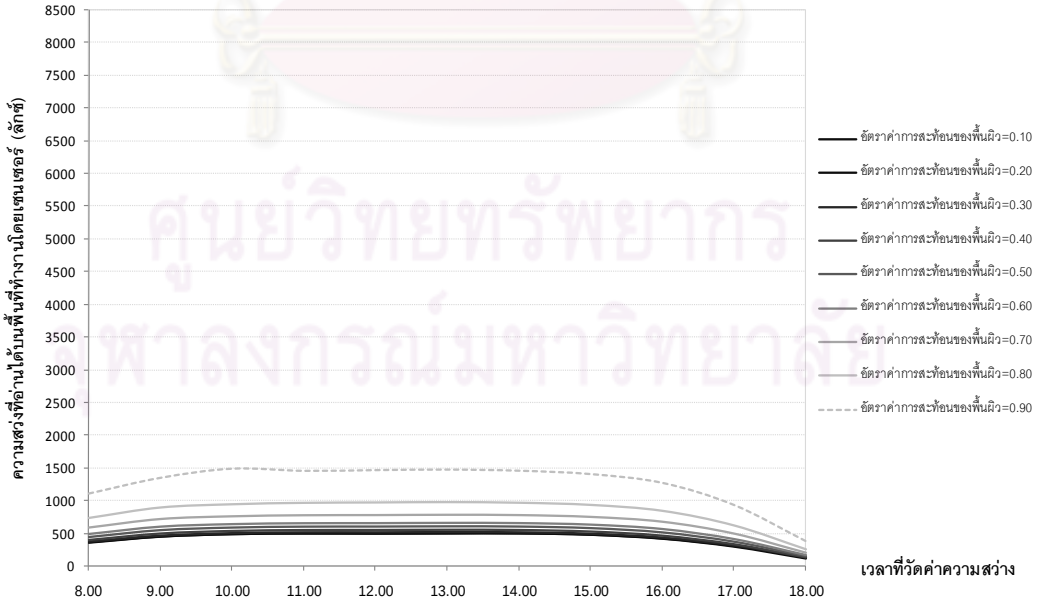
แผนภูมิที่4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้



แผนภูมิที่4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้

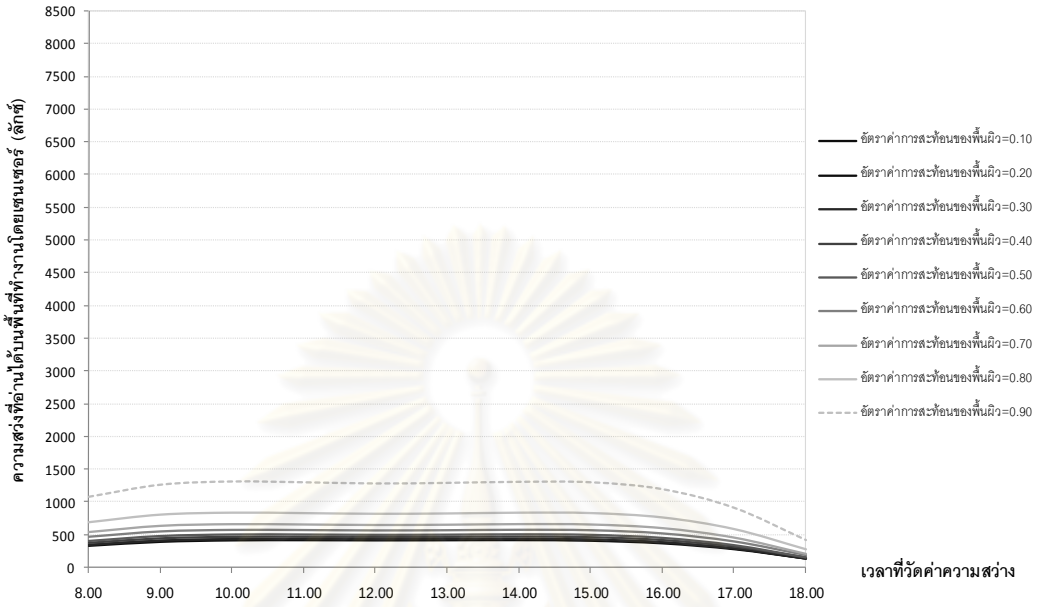


แผนภูมิที่4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้

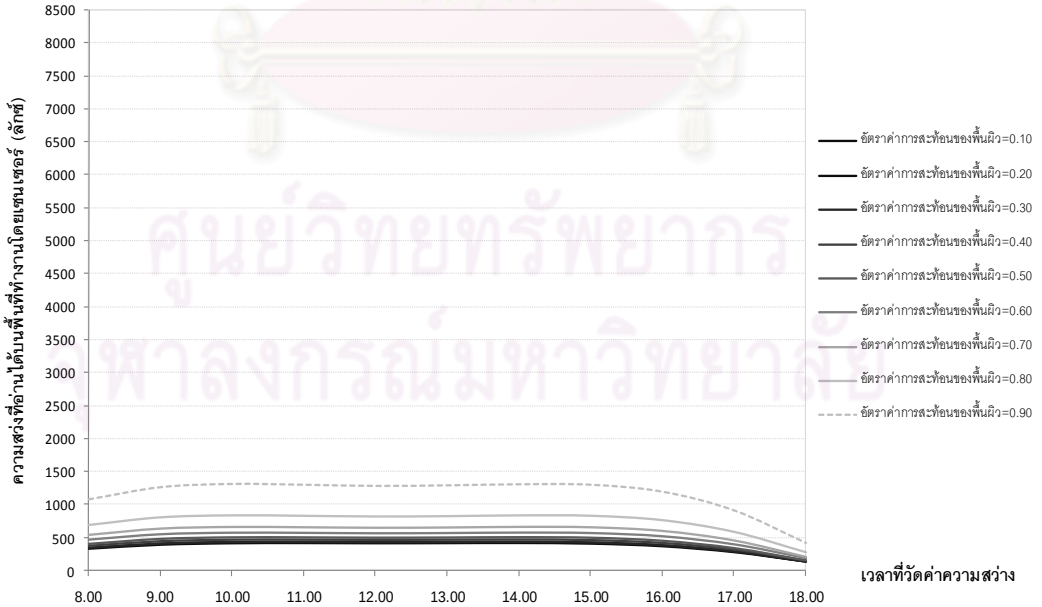


แผนภูมิที่4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้

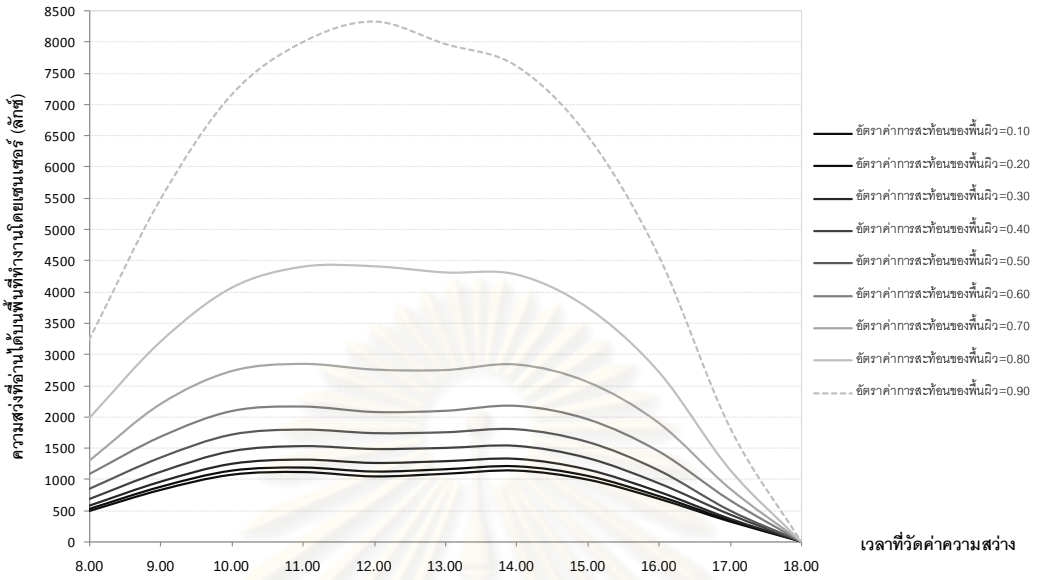
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้



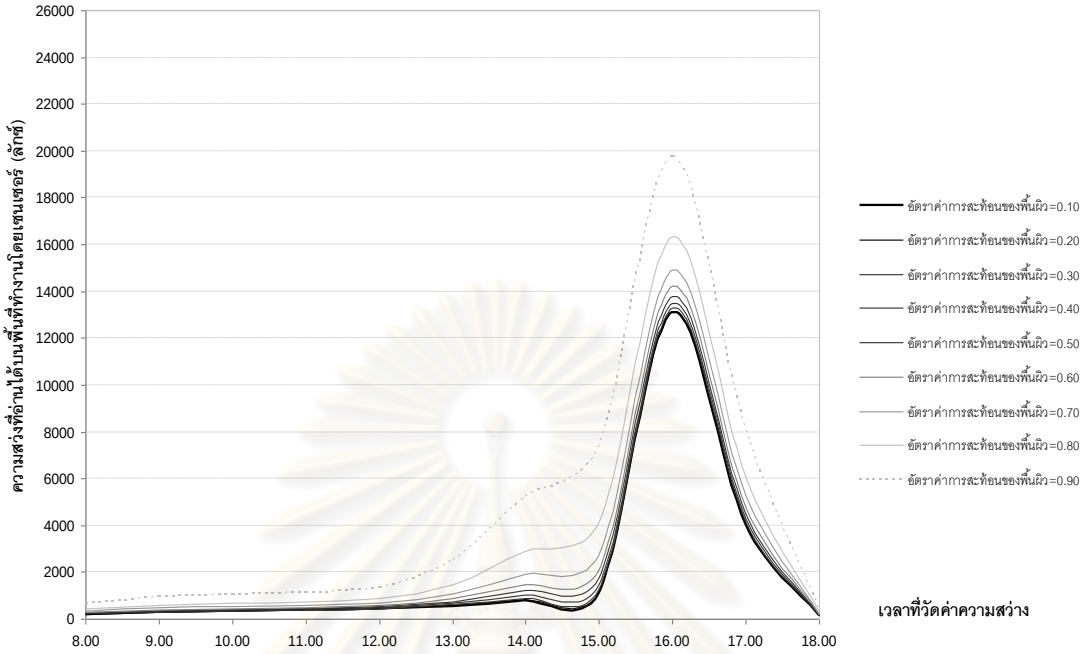
แผนภูมิที่4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้



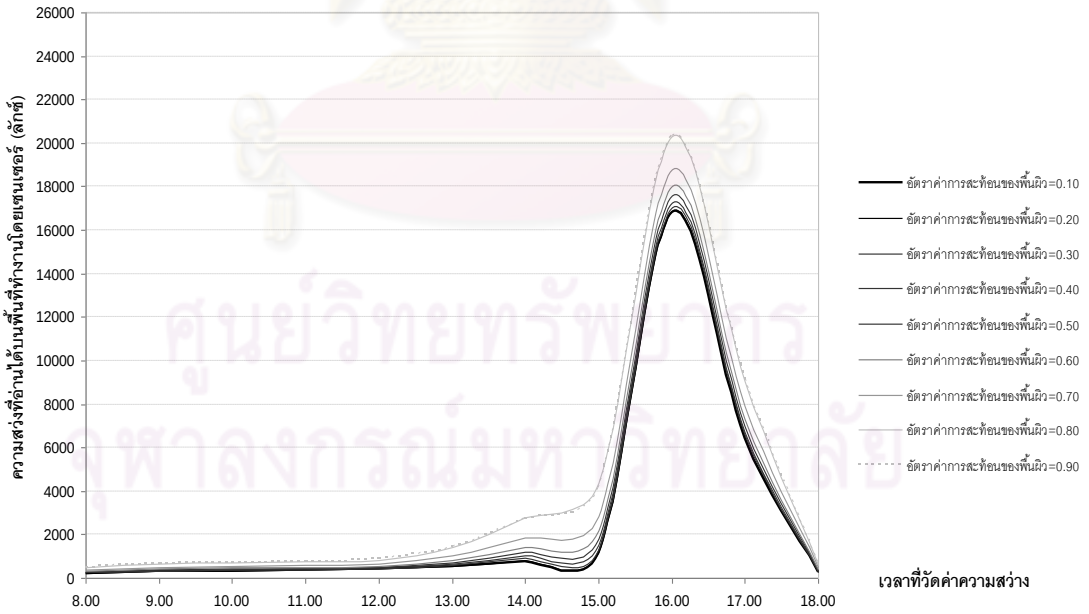
แผนภูมิที่4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับค่าความสว่างที่อ่านได้บนระดับพื้นที่ทำงานโดยเซนเซอร์ จะพบว่าลักษณะแผนภูมิคล้ายกับผลจากการทดลองของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ แต่ค่าความสว่างโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่า และความแตกต่างของความสว่างที่ได้จากห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนต่างกันมีค่าไม่มากเท่ากับทางทิศเหนือ คือมีค่าความสว่างค่อนข้างสม่ำเสมอ ค่าความสว่างที่อ่านได้จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากช่วง 8.00-10.00 น. จากนั้นจะค่อนข้างคงที่และความสว่างค่อยๆลดลงในเวลา 16.00-18.00 น.

ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายนค่าความสว่างเฉลี่ยจะมีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งวันและมีค่าไม่สูงมาก แต่แสงธรรมชาติในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์จะมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูง โดยมีค่าสว่างสูงสุดประมาณ 8,000 ลักซ์ และอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวมีผลต่อค่าความสว่างที่อ่านได้ในช่วงเดือนนี้มากกว่าช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายนซึ่งมีค่าความสว่างสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 1,400 ลักซ์

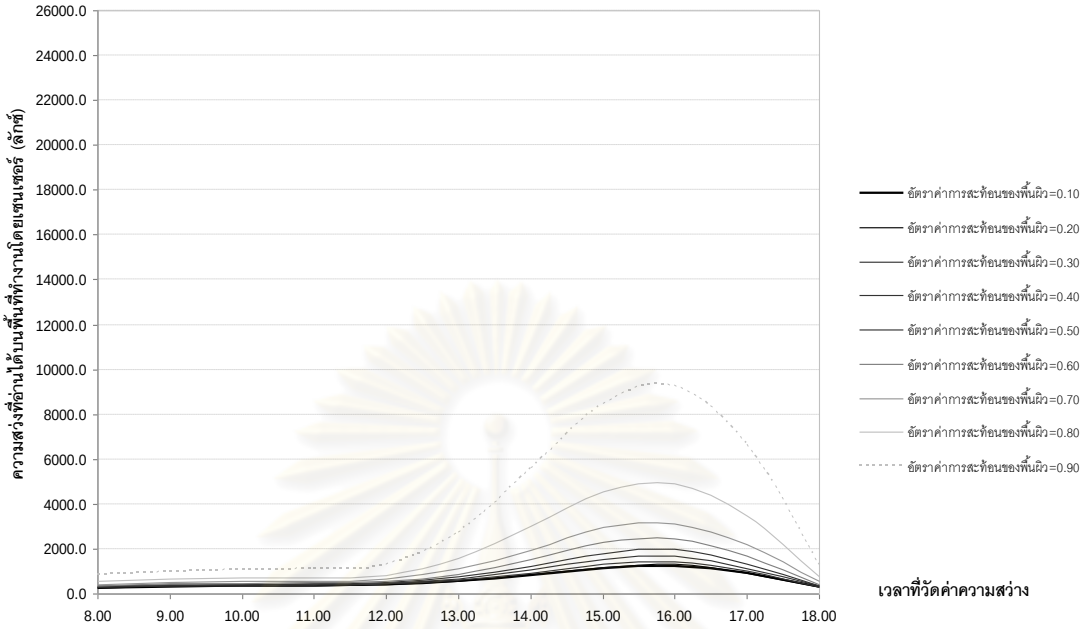


แผนภูมิที่4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มกราคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก

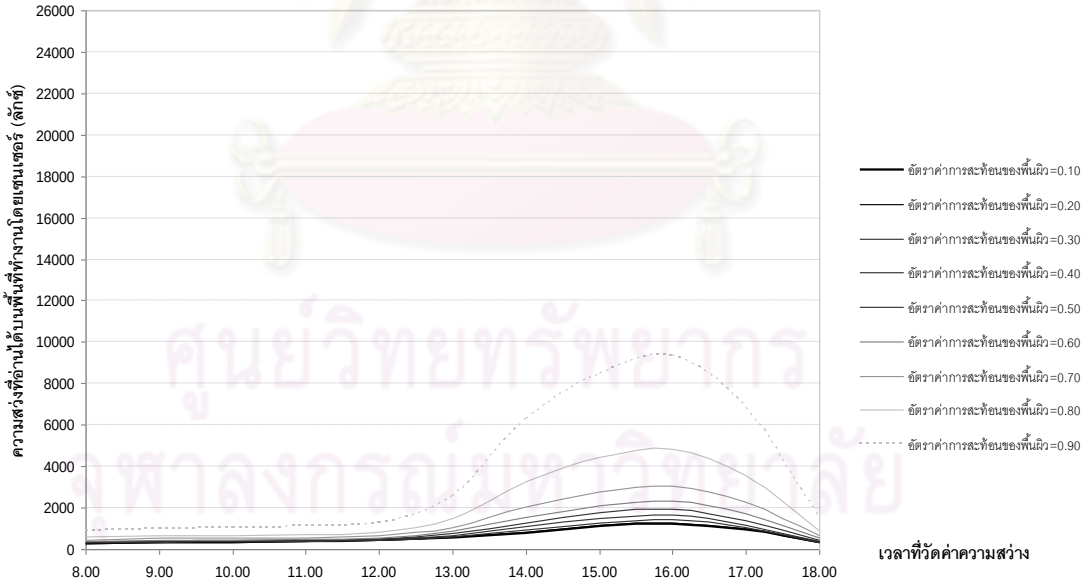


แผนภูมิที่4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก

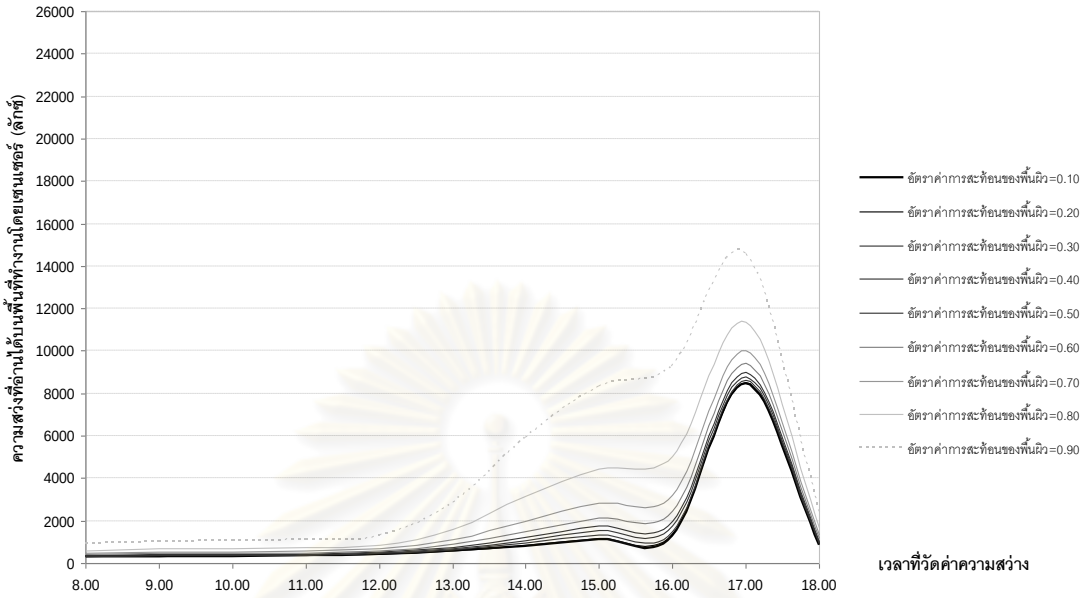
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



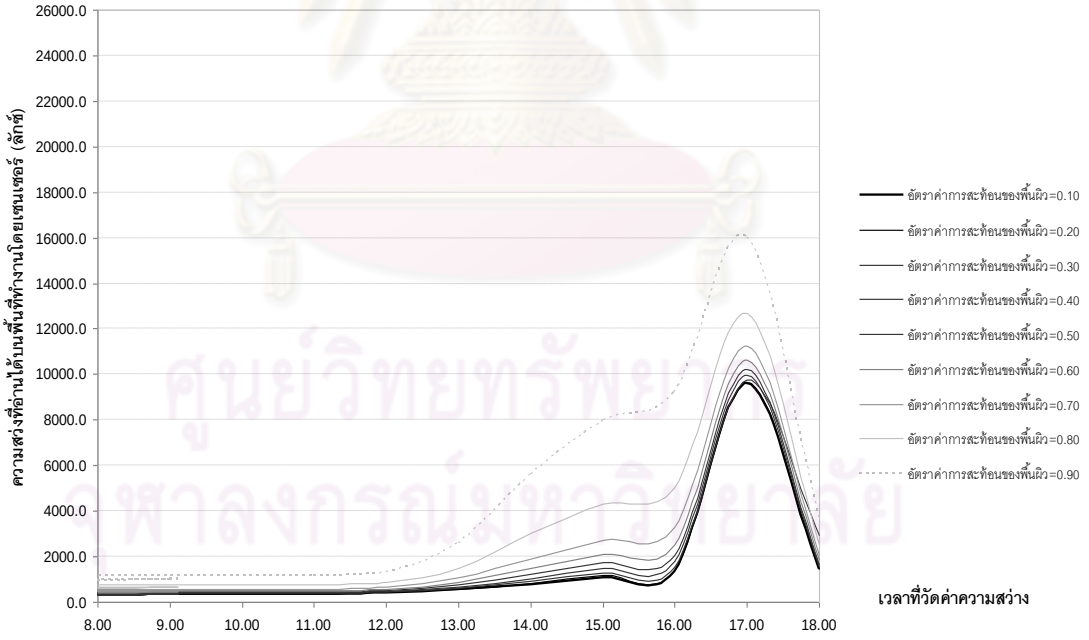
แผนภูมิที่4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก



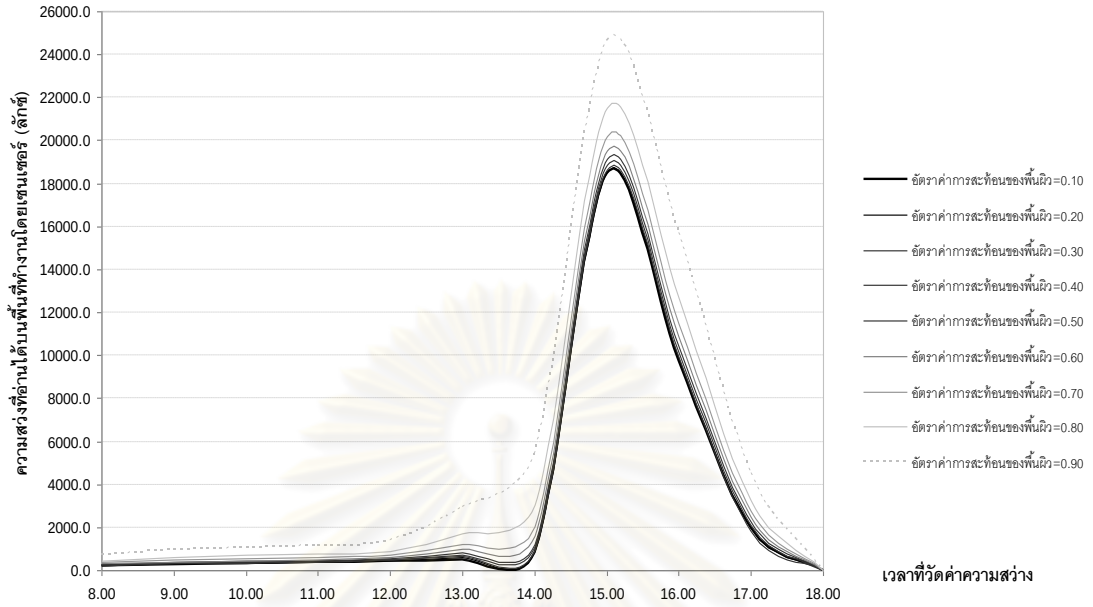
แผนภูมิที่4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 เมษายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก



แผนภูมิที่4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 พฤษภาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก



แผนภูมิที่4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 มิถุนายน ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก



แผนภูมิที่4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่อ่านได้ในวันที่ 21 ธันวาคม ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก

จากการประมวลผลการจำลองเป็นแผนภูมิจะพบว่าแผนภูมิค่าความสว่างที่อ่านได้ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตกจะมีลักษณะแผนภูมิคล้ายกับแผนภูมิของทางทิศตะวันออก คือ ช่วงเช้าหรือช่วง 8.00-14.00 ค่าความสว่างจะค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ในช่วงบ่ายหรือ 14.00 น.-17.00 น. ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมีค่าสูงมาก และค่าความสว่างจะค่อยๆลดลงจนน้อยมากในช่วง 18.00 น. และช่วงเดือนมีนาคม-เมษายนค่าความสว่างที่อ่านได้ในช่วงบ่ายจะไม่สูงมากเท่ากับเดือนอื่นๆ เนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์ ทำให้ปริมาณแสงที่เข้ามาในอาคารน้อยกว่าเดือนอื่นๆ

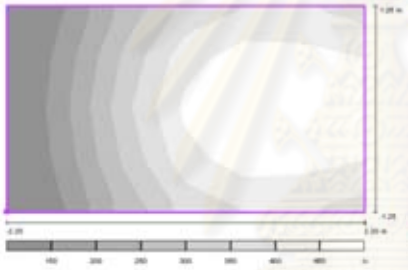
จากการวิเคราะห์ลักษณะแผนภูมิจะพบว่าความแตกต่างของอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวมีผลต่อค่าความสว่างในห้องสำนักงานน้อย เนื่องจากเส้นแผนภูมิของค่าความสว่างในห้องที่มีค่าอัตราการสะท้อนต่างๆมีความแตกตางกันน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากทิศอื่นๆจะพบว่า อัตราค่าการสะท้อนจะมีผลต่อค่าความสว่างในห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดในทิศเหนือมากที่สุด เนื่องจากเส้นแผนภูมิมีช่วงต่างกันมาก

ผลการจำลองแสงธรรมชาติทั้ง 4 ทิศทางเพื่อหาค่าความสว่างที่อ่านได้จากเซนเซอร์จะพบว่าห้องที่มีค่าอัตราค่าการสะท้อนมาก ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมากกว่าห้องที่มีค่าอัตราการสะท้อนของพื้นผิวภายในน้อย และช่วงความต่างของค่าความสว่างที่อ่านได้ในห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนต่างๆ ที่มีช่องเปิดทิศทางต่างๆจะต่างกัน โดยห้องที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือจะมีช่วงความต่างที่อ่านได้จากเซนเซอร์มากที่สุด และห้องที่มีช่องเปิดทางทิศใต้มีช่วงความต่างค่าความสว่างที่อ่านได้น้อยที่สุด นอกจากนี้ค่าความสว่างที่อ่านได้ในแต่ละเดือนแต่ละทิศทางมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์

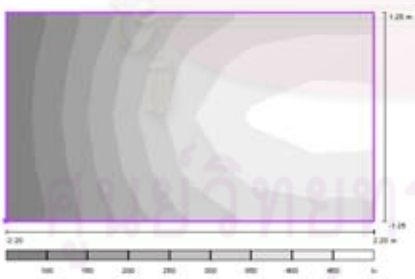
4.2 การศึกษาค่าความสว่างที่เป็นตัวกำหนดการทำงานของเซนเซอร์

แสงสว่างที่ได้จากดวงโคมที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างจะมีระดับต่างๆกันตามที่ได้ป้อนข้อมูลการทำงานไว้ในเซนเซอร์ เช่น ถ้าเซนเซอร์อ่านค่าความสว่างได้ 250 ลักซ์ เซนเซอร์จะประมวลข้อมูลตามเงื่อนไขที่ได้ป้อนชุดคำสั่งไว้ว่าให้ปิดดวงโคมชุด A และลดกำลังไฟฟ้าของดวงโคมชุด B เหลือที่ 2V และส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อให้ได้ความสว่างที่เหมาะสมบนพื้นที่ทำงานโดยที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ ตัวอย่างลักษณะการกระจายแสงของห้องที่ระดับพื้นที่ทำงานในเงื่อนไขการทำงานของดวงโคมแบบต่างๆมี ดังนี้

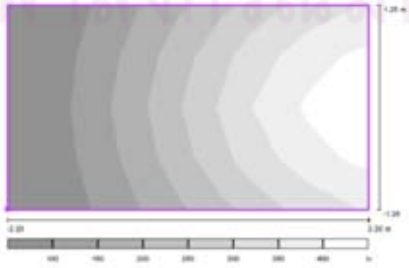
ภาพที่4.1 ชุด A, B, C เปิด



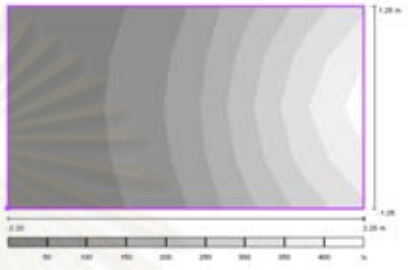
ภาพที่4.2 ชุด A ปิด ชุดB 8V ชุดC เปิด



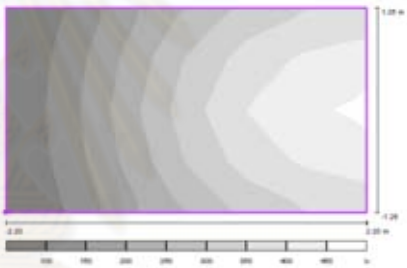
ภาพที่4.3 ชุด A ปิด ชุดB 6V ชุดC เปิด



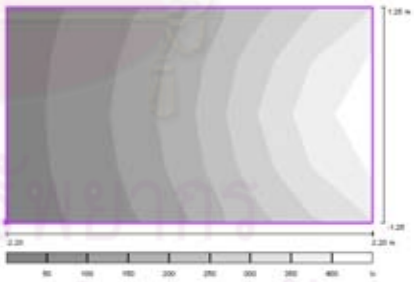
ภาพที่4.4 ชุด A ปิด ชุดB 4V ชุดC เปิด



ภาพที่4.5 ชุด A ปิด ชุดB 10V ชุดC เปิด



ภาพที่4.6 ชุด A ปิด ชุดB 2V ชุดC เปิด



ภาพที่4.7 ชุด A, B ปิด ชุดC เปิด

ภาพที่ 4.1-4.7 ตัวอย่างการจำลองสภาพแสงจากโคมที่เลือกในห้องสำนักงานด้วยโปรแกรม DIALux 4.8 (อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวมาตรฐาน = 0.53 / 70-50-20)

ในห้องสำนักงานจำลองที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่ต่างกัน ถ้าติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างแบบเดียวกันจะมีค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ทำงานไม่เท่ากัน ดังนั้นค่าความสว่างที่กำหนดใช้ในการป้อนข้อมูลอุปกรณ์เพื่อลดหรือเพิ่มค่าความสว่างของดวงโคมจะมีค่าแตกต่างกัน เพื่อให้ค่าความสว่างเฉลี่ยที่ได้จากดวงโคมและแสงธรรมมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าการสะท้อนของพื้นผิวมีผลกระทบต่อความสว่างรวมของห้องสำนักงาน โดยทำการจำลองสภาพค่าความสว่างในโปรแกรม DIALux4.8 ได้ผลการจำลอง ดังนี้

ตารางที่4.1 แสดงค่าความสว่างที่กำหนดเป็นชุดคำสั่งในการอ่านของเซนเซอร์ก่อนส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นๆ

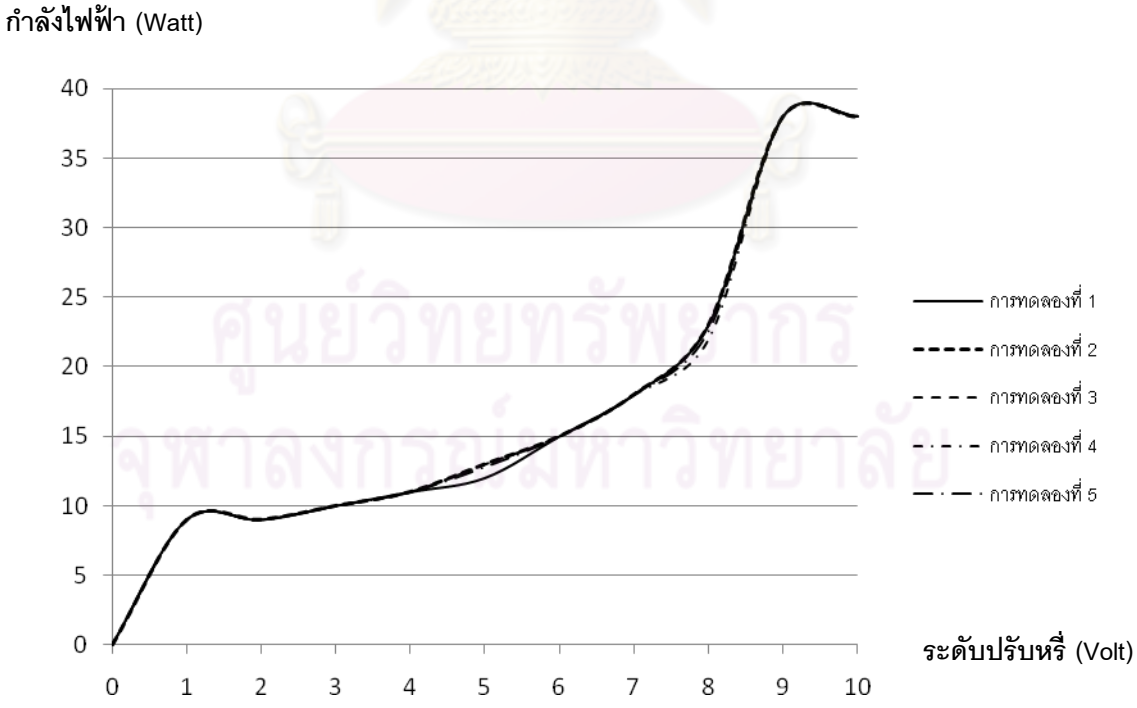
A (Auto on/off)	B (Dimmer)	C	E(lx) with room reflectance ratio								
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
OFF	0 Vdc	ON	496	500	519	533	567	604	679	806	1072
OFF	1 Vdc	ON	226	229	240	250	272	272	349	441	651
OFF	2 Vdc	ON	206	208	219	228	249	249	322	410	609
OFF	3 Vdc	ON	186	188	198	207	226	226	295	378	566
OFF	4 Vdc	ON	166	168	177	185	203	203	268	346	523
OFF	5 Vdc	ON	146	148	156	164	181	181	241	315	481
OFF	6 Vdc	ON	126	128	135	142	158	158	214	283	438
OFF	7 Vdc	ON	106	108	115	12	135	135	187	252	396
OFF	8 Vdc	ON	86	87	94	99	112	112	160	220	354
OFF	9 Vdc	ON	66	67	73	78	90	90	133	188	311
OFF	10 Vdc	ON	45	47	52	56	67	67	107	157	269
ON	10 Vdc	ON	25	26	31	36	45	45	83	133	251

4.3 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนท์ 36 วัตต์ ที่มีการปรับระดับความสว่างด้วยอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม

จากการทดสอบค่าการใช้พลังงานจริงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน (T8) เมื่อมีการใช้งานควบคู่กับอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมแบบปรับระดับความสว่างได้ (dimmer) ตามวิธีวิจัยที่ 3.2.3 โดยจะทดลองปรับความสว่างด้วยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นครั้งละ 1 V รวม 11 ระดับ ได้แก่ 0-10 V ด้วยเครื่องผลิต DC Volt แล้วบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์จากการให้แรงดันไฟฟ้าในระดับต่างๆ หลังจากทำการทดลองและบันทึกผล 5 ครั้ง จะสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดกำลังไฟฟ้าของโคมในการปรับหรี่ระดับต่างๆ

Vac	Vdc	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5		ค่าเฉลี่ย	
		Ac	W	Ac	W	Ac	W	Ac	W	Ac	W	Ac	W
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	1	40	9	41	9	40	9	40	9	40	9	40	9
220	2	40	9	41	9	40	9	40	9	40	9	40	9
220	3	50	10	49	10	49	10	48	10	48	10	49	10
220	4	55	11	52	11	52	11	52	11	52	11	53	11
220	5	60	12	59	13	59	13	59	13	59	13	59	13
220	6	70	15	69	15	69	15	69	15	69	15	69	15
220	7	82	18	80	18	80	18	80	18	80	18	80	18
220	8	109	23	99	23	100	23	99	22	98	22	101	23
220	9	170	38	170	38	170	38	170	38	170	38	170	38
220	10	170	38	170	38	170	38	170	38	170	38	170	38



แผนภูมิที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการปรับหรี่ดวงโคมในระดับต่างๆ

4.4 การศึกษาค่าการใช้พลังงานของดวงโคมในห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวระดับต่างๆ

เมื่อแสงธรรมชาติมีปริมาณเพียงพอต่อการใช้งานในอาคารสำนักงานตามมาตรฐานสากลแล้ว อุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติจะทำหน้าที่ปิดหรือหรี่ไฟลงเพื่อลดความสว่างที่ได้จากดวงโคม การลดการใช้ดวงโคมสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของสำนักงานได้ จากการจำลองสภาพแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรม DIALux4.8 จะพบว่ามีหลายช่วงเวลาที่ระดับพื้นที่ทำงานได้รับแสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งานซึ่งถ้าสำนักงานติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม จะสามารถลดพลังงานการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างได้เมื่อเทียบกับสำนักงานที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว โดยค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในการคำนวณมี ดังนี้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์	ใช้พลังงาน	36 วัตต์/หลอด
บัลลาสต์แกนเหล็ก	ใช้พลังงาน	10 วัตต์/ชุด
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	ใช้พลังงาน	2 วัตต์/ชุด

(เนื่องจากอุปกรณ์อื่นๆใช้พลังงานน้อย จะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณ)

เมื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าทั้งแบบที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติจะมีรายการคำนวณ ดังนี้

1.ระบบที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคม

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 6 หลอด	= 6 x 36 = 216 วัตต์
บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 6 ชุด	= 6 x 10 = 60 วัตต์
รวม	= 276 วัตต์

2.ระบบที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม

ชุด A เปิด ชุด B เปิด (10V) ชุด C เปิด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 6 หลอด	= 6 x 36 = 216 วัตต์
บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 4 ชุด	= 4 x 10 = 40 วัตต์
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 ชุด	= 2 x 2 = 4 วัตต์
รวม	= 260 วัตต์

ชุด A ปิด ชุด B เปิด (10V) ชุด C เปิด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 4 หลอด	= 4 x 36 = 144 วัตต์
บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 2 ชุด	= 2 x 10 = 20 วัตต์
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 ชุด	= 2 x 2 = 4 วัตต์
รวม	= 168 วัตต์

ชุด A ปิด ชุด B เปิด (8V) ชุด C เปิด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด	= 2 x 36 = 72 วัตต์
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ปรับ 8V จำนวน 2 หลอด	= 2 x 22 = 44 วัตต์
บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 2 ชุด	= 2 x 10 = 20 วัตต์
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 ชุด	= 2 x 2 = 4 วัตต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รวม = 140 วัตต์

ชุด A ปิด ชุด B เปิด (6V) ชุด C เปิด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด = 2 x 36 = 72 วัตต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ปรับ 6V จำนวน 2 หลอด = 2 x 15 = 30 วัตต์

บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 2 ชุด = 2 x 10 = 20 วัตต์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 ชุด = 2 x 2 = 4 วัตต์

รวม = 126 วัตต์

ชุด A ปิด ชุด B เปิด (4V) ชุด C เปิด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด = 2 x 36 = 72 วัตต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ปรับ 4V จำนวน 2 หลอด = 2 x 11 = 22 วัตต์

บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 2 ชุด = 2 x 10 = 20 วัตต์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 ชุด = 2 x 2 = 4 วัตต์

รวม = 118 วัตต์

ชุด A ปิด ชุด B เปิด (2V) ชุด C เปิด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด = 2 x 36 = 72 วัตต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ปรับ 2V จำนวน 2 หลอด = 2 x 9 = 18 วัตต์

บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 2 ชุด = 2 x 10 = 20 วัตต์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 ชุด = 2 x 2 = 4 วัตต์

รวม = 114 วัตต์

ชุด A ปิด ชุด B ปิด ชุด C เปิด

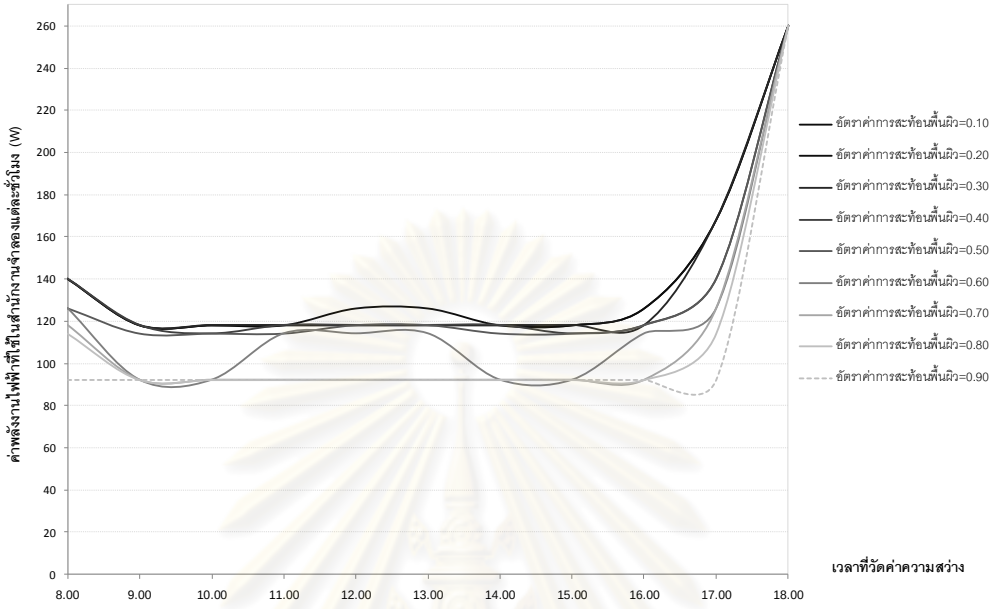
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8) ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด = 2 x 36 = 72 วัตต์

บัลลาสต์แกนเหล็ก จำนวน 2 ชุด = 2 x 10 = 20 วัตต์

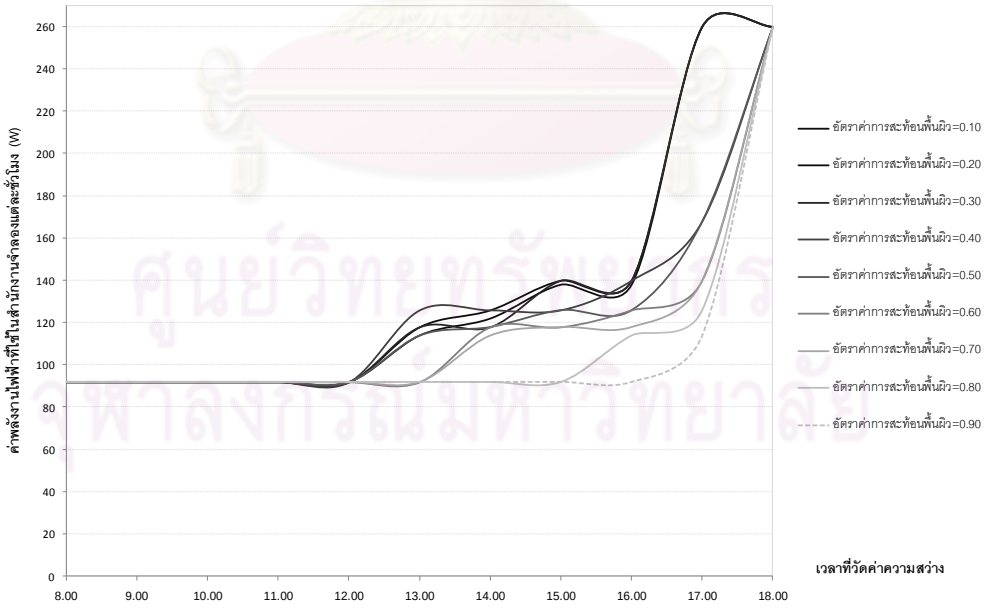
รวม = 92 วัตต์

ตัวอย่างค่าการใช้พลังงานแต่ละชั่วโมงของระบบไฟฟ้าในสำนักงานจำลองในเวลาทำการสามารถสรุปผลและเปรียบเทียบตามทิศทางของช่องเปิดได้ ดังแผนภูมิที่ 4.30-4.33

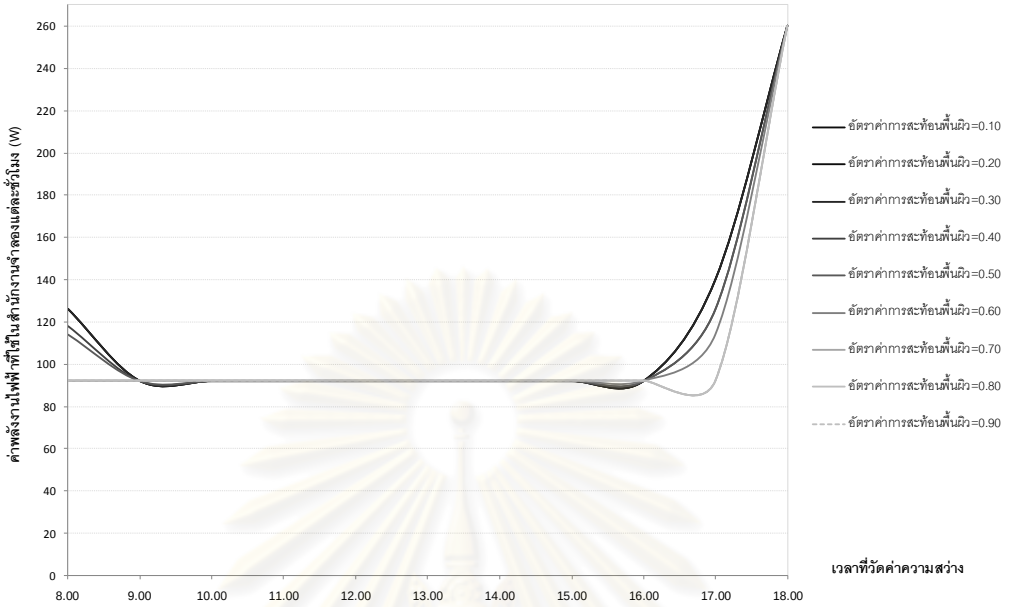
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



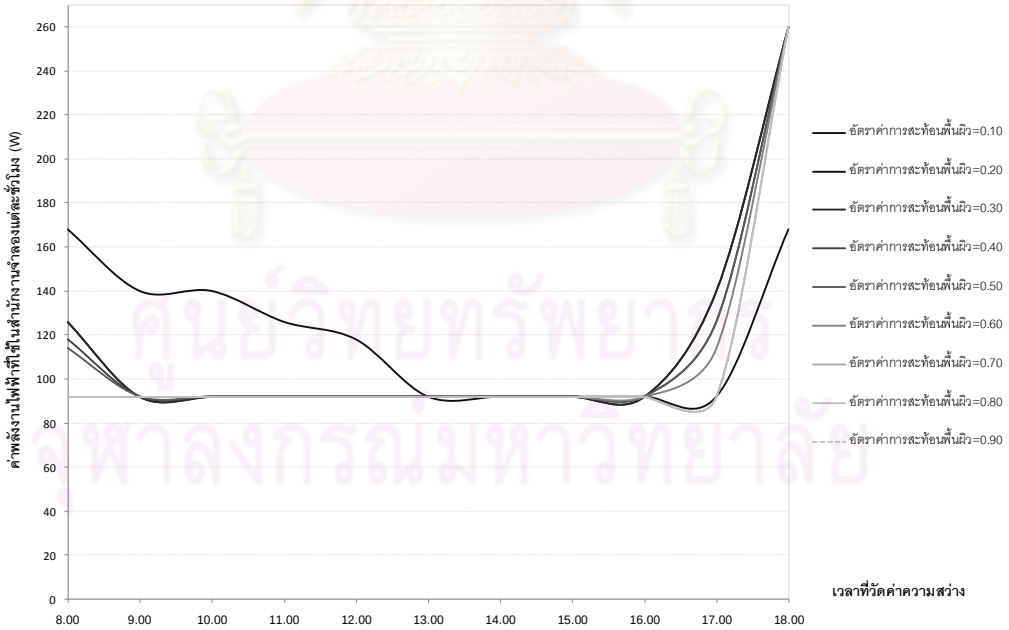
แผนภูมิที่4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ



แผนภูมิที่4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออก

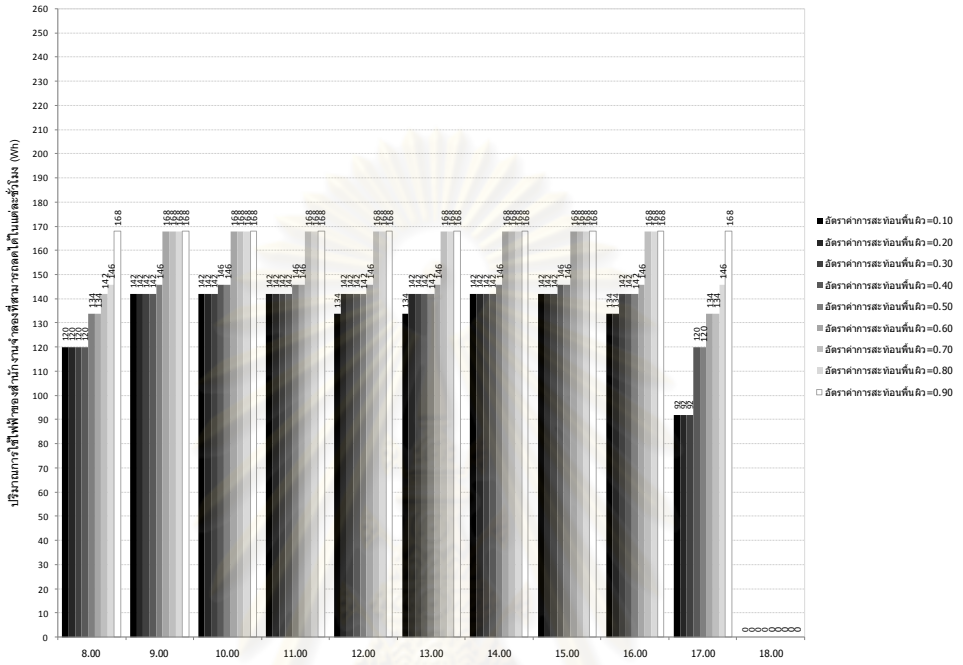


แผนภูมิที่4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้

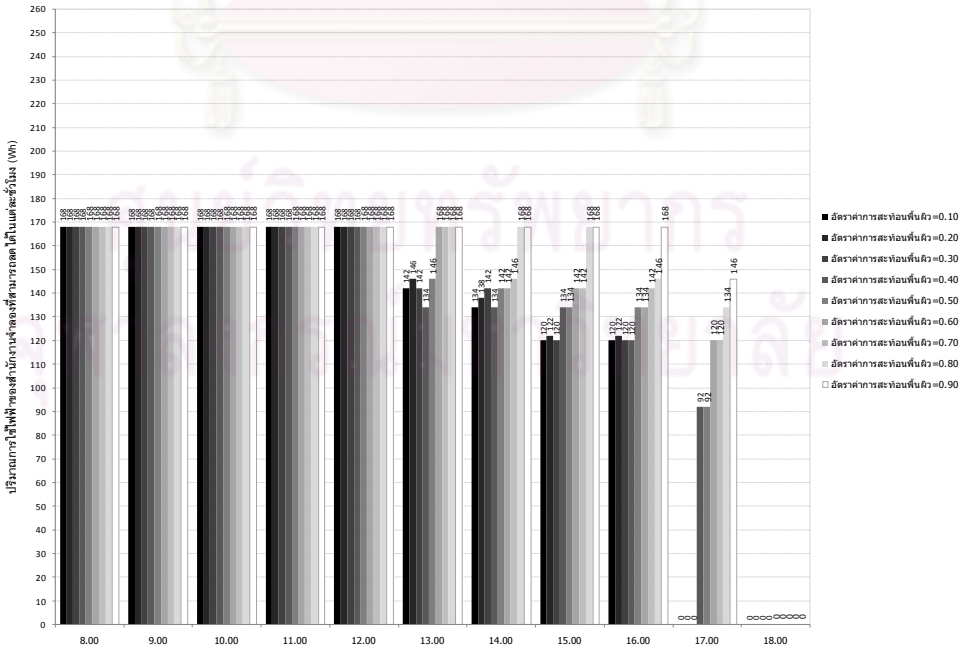


แผนภูมิที่4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตก

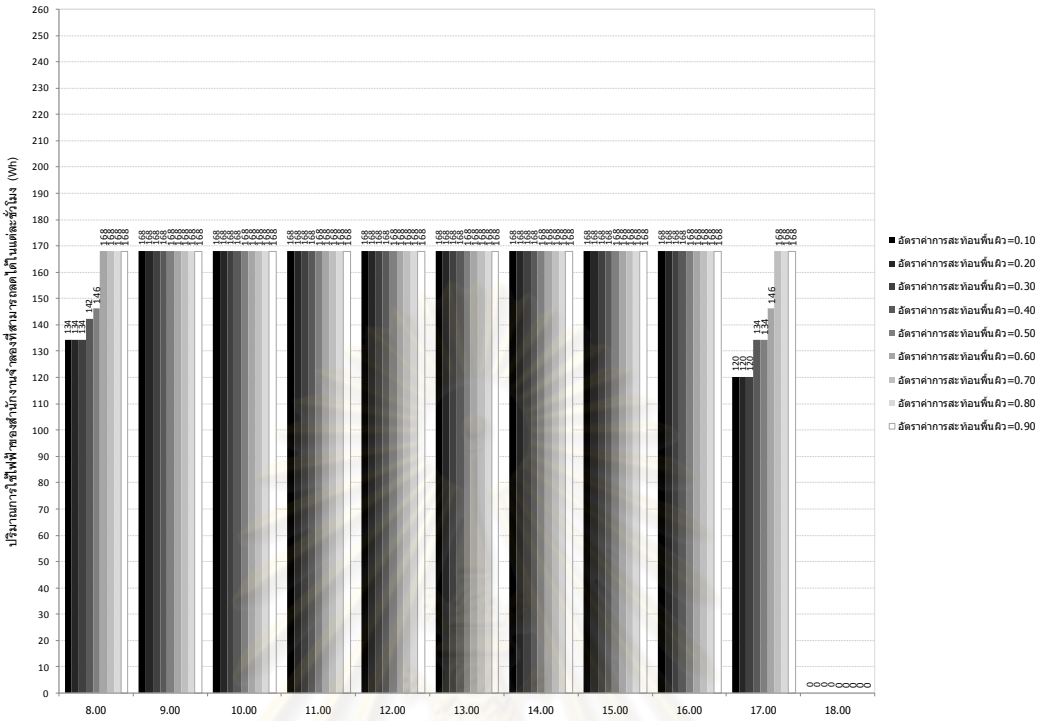
จากตัวอย่างผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะพบว่าช่วงกลางวันมีบางช่วงเวลาค่าความสว่างสูงเพียงพอ เมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างกับระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะสามารถลดช่วงการเปิดใช้หรือปรับระดับความสว่างเพื่อลดระดับการใช้พลังงานลงได้ดังแผนภูมิที่ 4.34-4.37



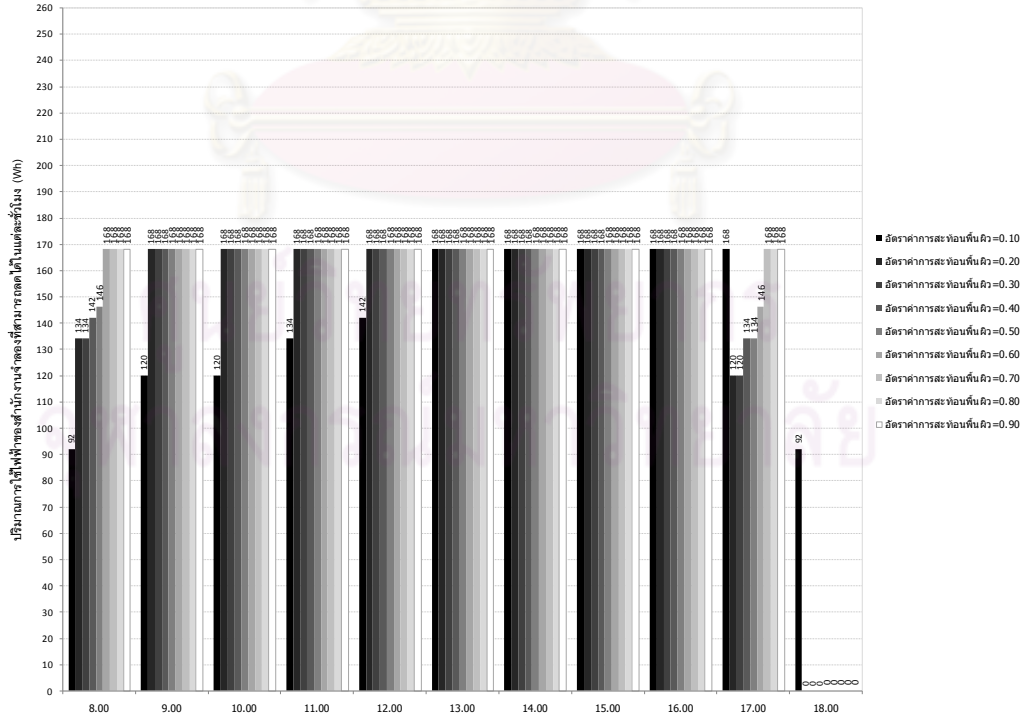
แผนภูมิที่4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ



แผนภูมิที่4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออก



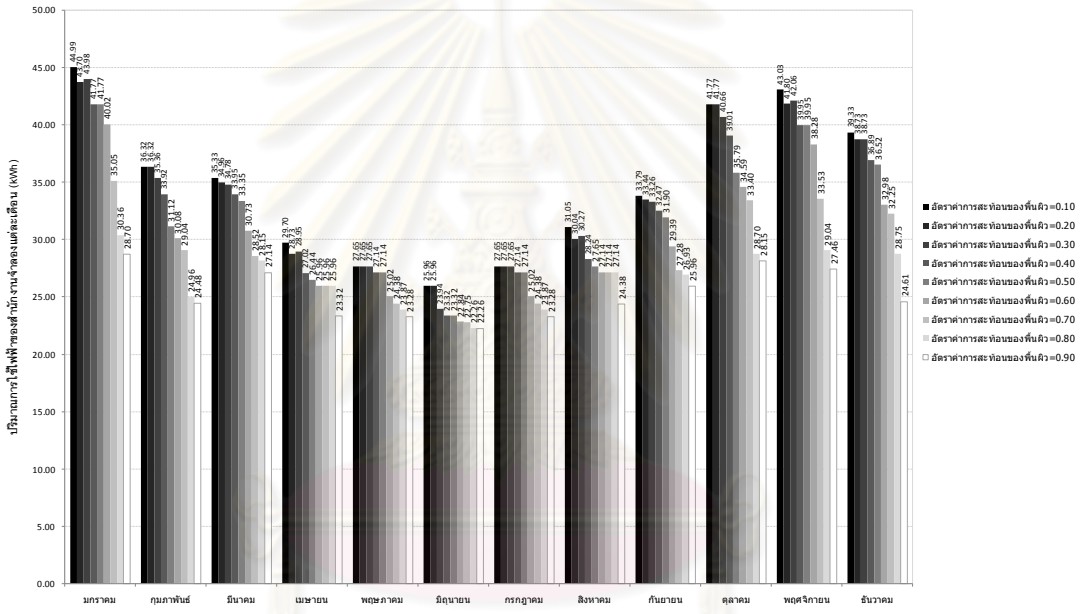
แผนภูมิที่4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้



แผนภูมิที่4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงแต่ละชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม ของสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตก

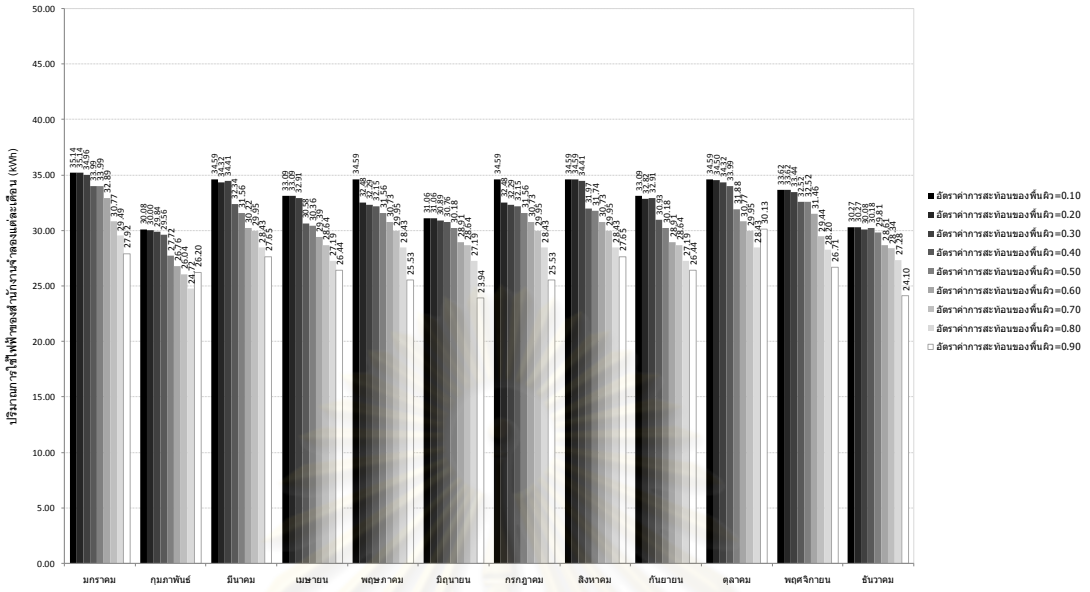
เมื่อนำผลการคำนวณที่ได้มาจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์จะพบว่าสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือจะมีอัตราการใช้พลังงานสูงในช่วงเช้า 8.00-10.00 น. และช่วงเย็น 16.00-18.00 น. ห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออกจะมีอัตราค่าการใช้พลังงานที่ค่อยๆสูงขึ้นในช่วงบ่าย 13.00-18.00 น. ห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้จะมีอัตราการใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับทิศอื่นๆ และห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตกจะมีอัตราการใช้พลังงานสูงในช่วงเช้า 8.00-13.00 น. เนื่องจากลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ทำให้ผลของการจำลองลักษณะดังกล่าว

เมื่อคำนวณการใช้พลังงานของสำนักงานจำลองที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวในระดับต่างๆและมีช่องเปิดทิศทางต่างๆ จะได้ผลการคำนวณดังแผนภูมิที่ 4.38-4.41

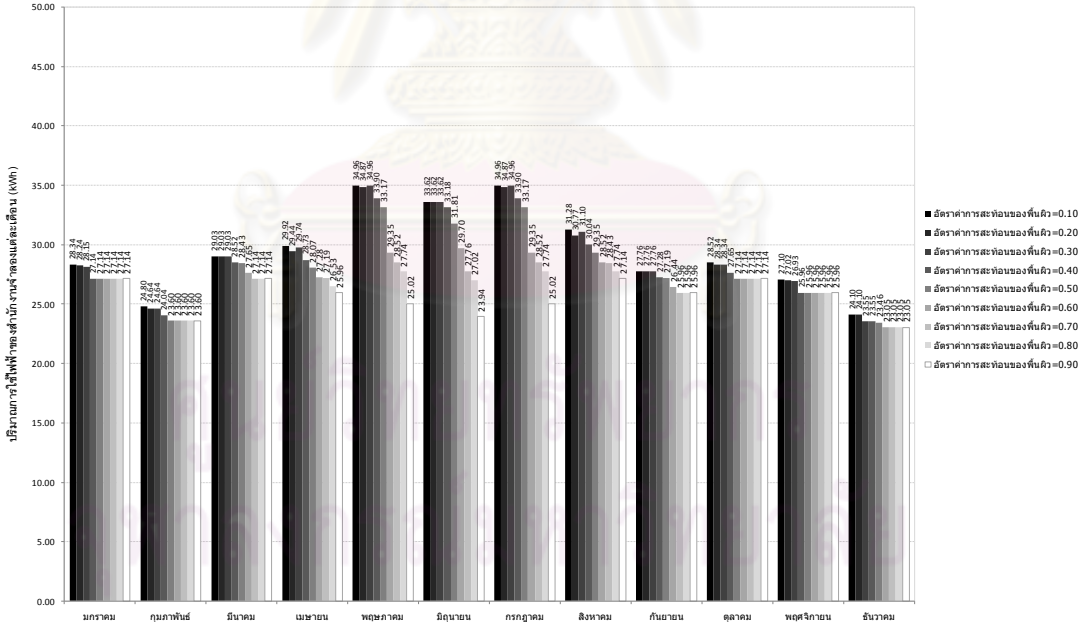


แผนภูมิที่4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ

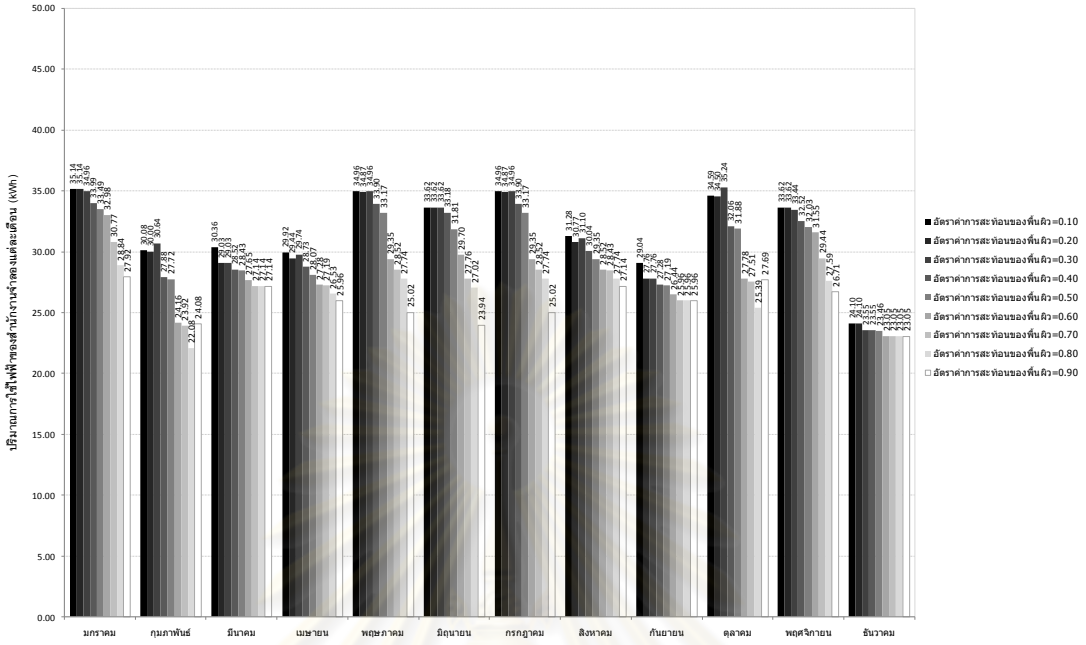
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออก



แผนภูมิที่4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้



แผนภูมิที่4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในกับค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตก

จากการจำลองการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว จะพบว่าค่าการใช้พลังงานของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศต่างๆและมีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆมีแนวโน้มไม่เหมือนกันในแต่ละเดือน เนื่องมาจากทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ส่งผลต่อค่าความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติ ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของแต่ละทิศมีแนวโน้มที่ต่างกันและส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดปีของสำนักงานอีกด้วยโดยสามารถสรุปได้ ดังนี้

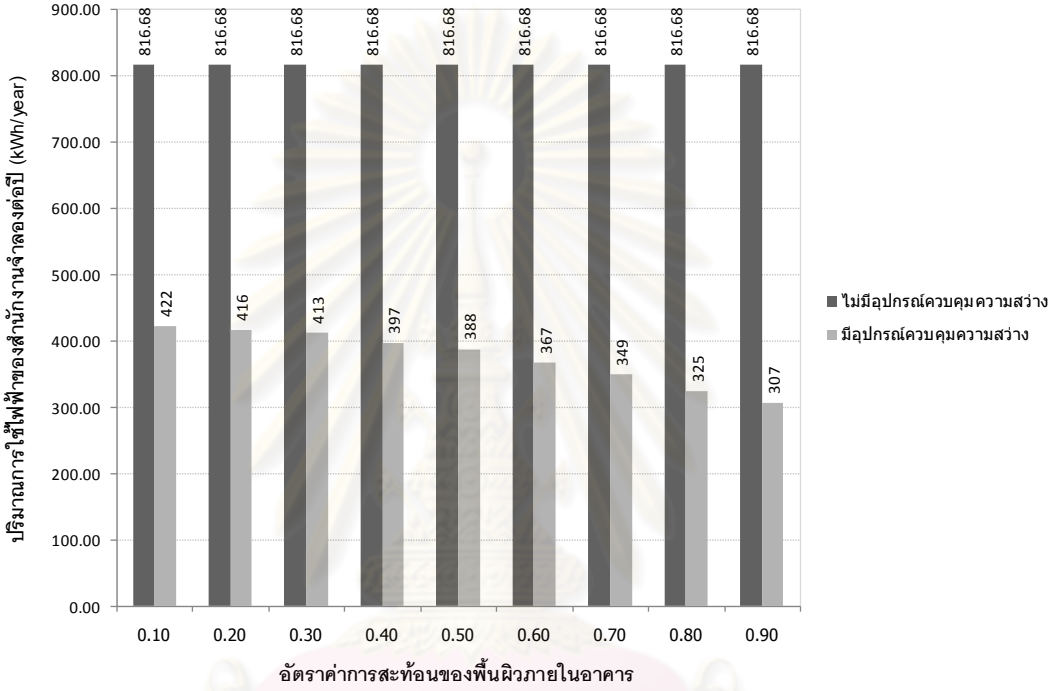
ทิศเหนือ : มีอัตราการใช้พลังงานสูงในช่วงเดือนตุลาคม-มีนาคมและค่อยๆลดลง ช่วงกลางปีจะมีอัตราการใช้พลังงานน้อย โดยในเดือนมิถุนายนจะมีอัตราการใช้พลังงานน้อยที่สุด

ทิศตะวันออก : อัตราการใช้พลังงานคล้ายคลึงกันตลอดปี ห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนมากกว่าจะมีค่าการใช้พลังงานน้อยกว่า และค่าการใช้พลังงานอยู่ในช่วงประมาณ 24-35 kWh ต่อเดือน

ทิศใต้ : มีอัตราการใช้พลีงานตรงข้ามกับห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ คือ มีอัตราการใช้พลังงานสูง ในช่วงกลางปีหรือช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม และจะค่อยๆลดลงในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์จะมีอัตราค่าการใช้พลังงานน้อย

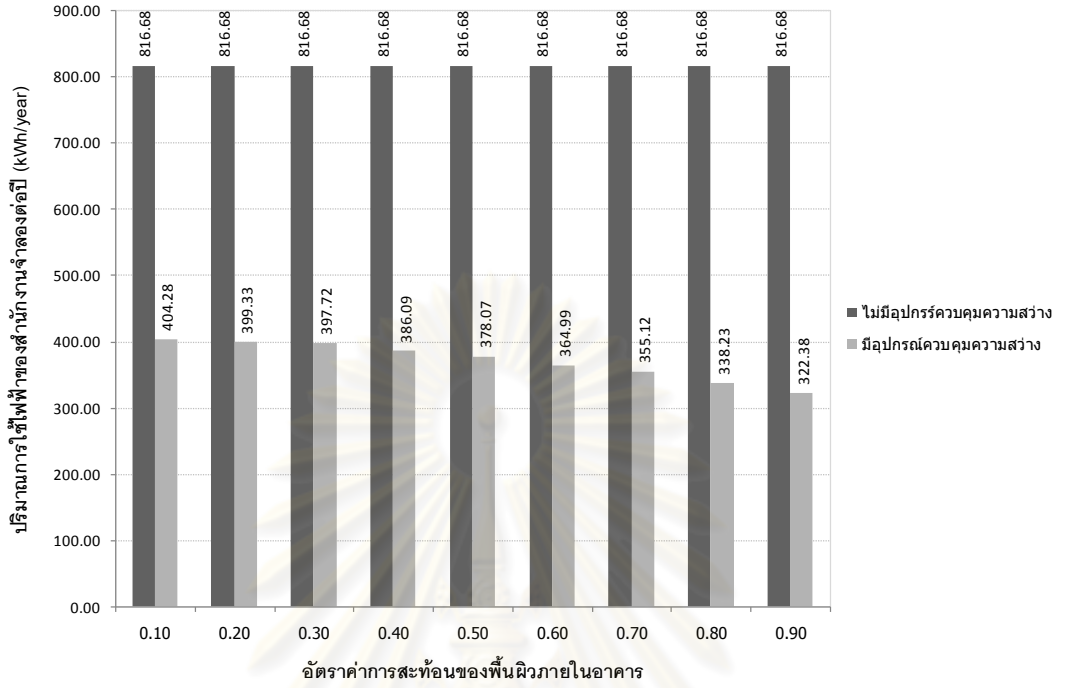
ทิศตะวันตก : อัตราการใช้พลังงานคล้ายคลึงกันตลอดปี แต่ช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม จะมีอัตราการใช้พลังงานที่สูงกว่าเดือนอื่น

เมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของห้องสำนักงานที่ไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติกับห้องที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะพบว่าห้องที่มีการติดตั้งอุปกรณ์มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าประมาณร้อยละ 48-62 ขึ้นกับอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารและทิศทางของช่องเปิดสำนักงานนั้นๆ สามารถแสดงแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของห้องที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์ได้ดังแผนภูมิที่ 4.42-4.46

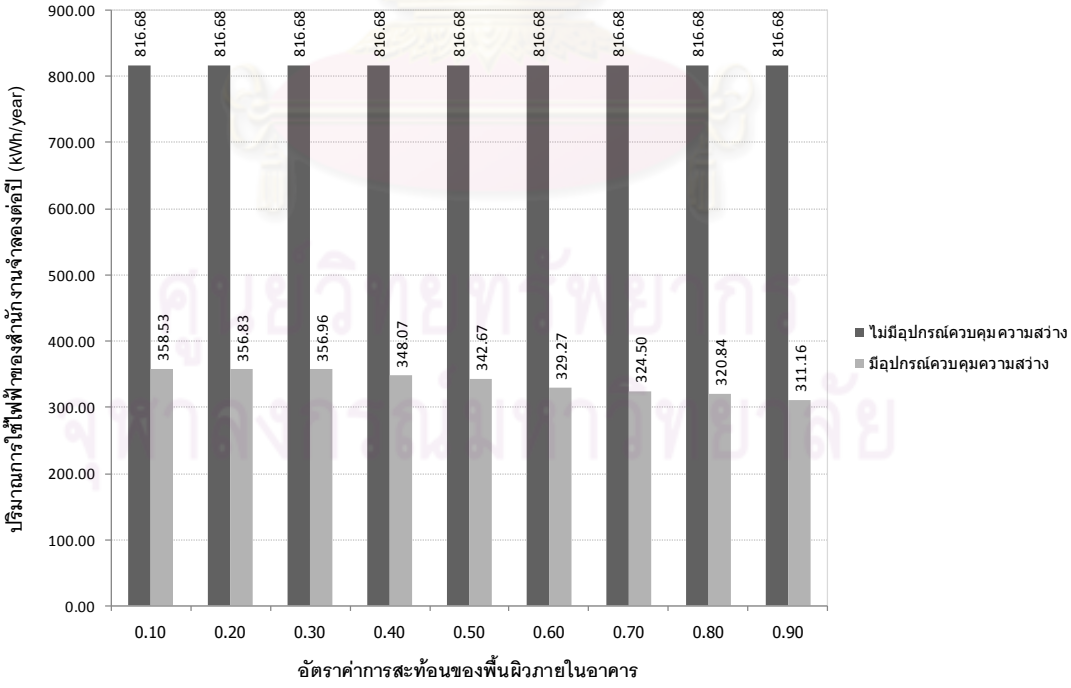


แผนภูมิที่4.42 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ

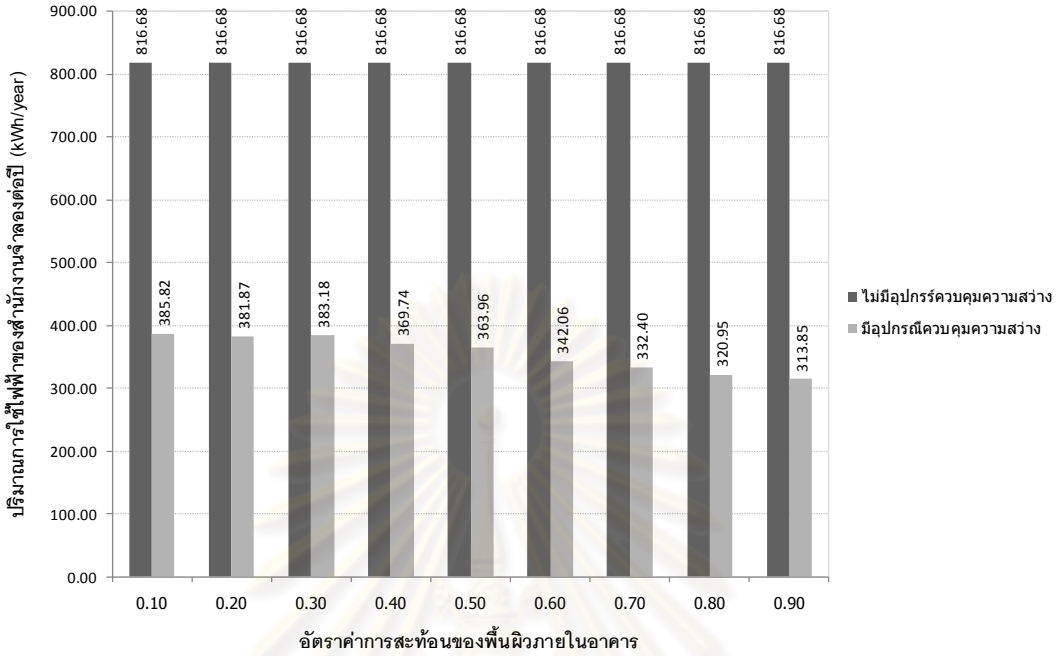
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



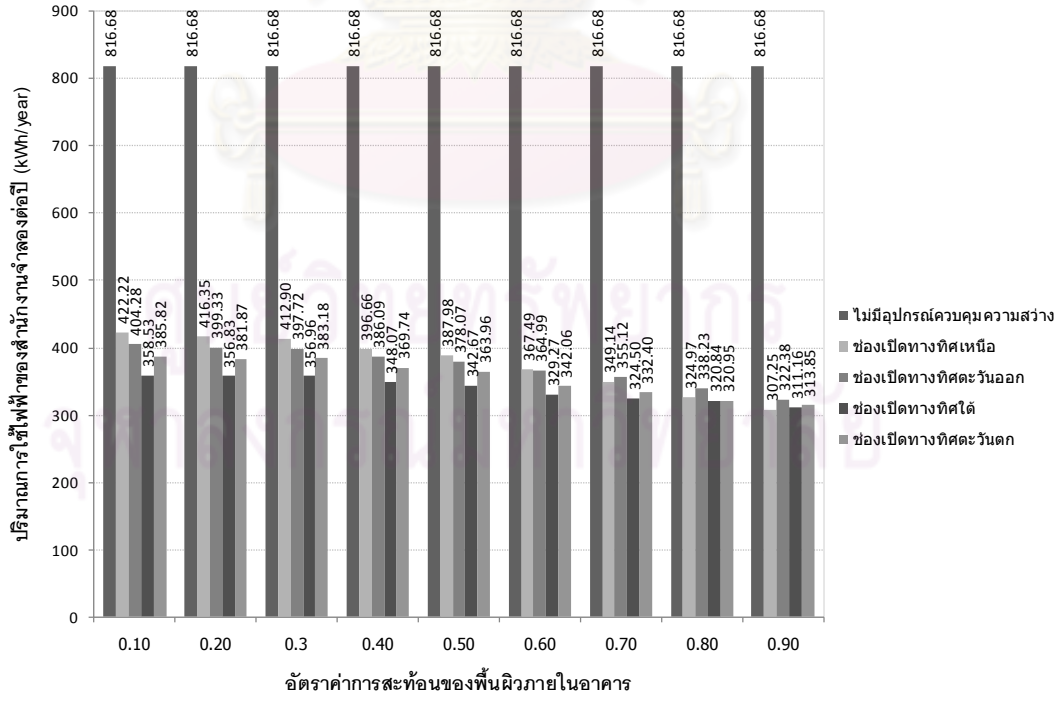
แผนภูมิที่4.43 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ



แผนภูมิที่4.44 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศใต้ของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ



แผนภูมิที่4.45 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานจำลองที่มีช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตกของห้องที่มี/ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ



แผนภูมิที่4.46 เปรียบทียบค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติกับที่มีการติดตั้งอุปกรณ์และมีทิศทางของช่องเปิดต่างกัน

จากการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของสำนักงานที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติกับห้องที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ จะพบว่าห้องที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สามารถลดค่าการใช้พลังงานลงได้กว่าครึ่งหนึ่ง และห้องที่มีอุปกรณ์และมีทิศทางช่องเปิดต่างกัน จะมีอัตราการใช้พลังงานที่ต่างกัน ดังนี้

ห้องที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ : ค่าการใช้พลังงาน = 307.25-422.22 kWh/ปี

ห้องที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก : ค่าการใช้พลังงาน = 322.38-404.28 kWh/ปี

ห้องที่มีช่องเปิดทางทิศใต้ : ค่าการใช้พลังงาน = 311.16-358.53 kWh/ปี

ห้องที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ : ค่าการใช้พลังงาน = 313.85-385.82 kWh/ปี

เมื่อพิจารณาแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องสำนักงานที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวในระดับต่างๆ และทิศทางของช่องเปิดต่างกัน จะพบว่าห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือจะมีอัตราการใช้พลังงานที่สัมพันธ์กับอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในชัดเจนที่สุด รองลงมาคือสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก และทางทิศตะวันตก ส่วนห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้จะมีความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานตลอดปีของระบบไฟฟ้าแสงสว่างกับอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวในระดับต่างๆกันน้อยที่สุด

4.5 การศึกษาและวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ

ในการเลือกใช้ระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปผู้ประกอบการมักจะเลือกโดยคำนึงถึงความต้องการในการใช้งานและเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะขึ้นกับปัจจัยของค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในขณะการใช้งาน ทั้งนี้ระบบควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติจะมีมูลค่าการลงทุนที่สูงกว่าระบบปกติ แต่ให้ผลที่คุ้มค่าทางด้านประหยัดพลังงาน การศึกษาโครงการว่าน่าลงทุนหรือไม่ขึ้นกับปัจจัยเวลาในการคืนทุนหรือจุดคุ้มทุนของระบบว่ายาวนานเพียงใด

การศึกษาความน่าลงทุนของระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างนี้ จะทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตั้งต้น ค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินงาน(ค่าไฟฟ้าและค่าอุปกรณ์ใหม่) และผลตอบแทนที่ได้รับซึ่งในที่นี้หมายถึงค่าใช้จ่ายทางพลังงานที่สามารถลดไปได้จากระบบปกติ ค่าใช้จ่ายตั้งต้นสามารถคำนวณได้จากราคาอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบเบื้องต้นและค่าติดตั้งอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินงานคือค่าไฟฟ้าและค่าอุปกรณ์ที่ต้องเปลี่ยนใหม่ระหว่างการใช้งาน โดยอายุของอุปกรณ์ในระบบที่นำมาพิจารณามีดังนี้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุน (T8)	อายุการใช้งาน	5 ปี
บัลลาสต์แกนเหล็ก	อายุการใช้งาน	10 ปี
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	อายุการใช้งาน	5 ปี

ค่าใช้จ่ายตอนต้นในการติดตั้งระบบทั้งระบบทั่วไปและระบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างสามารถคำนวณเปรียบเทียบได้ตามใบเสนอราคา ดังภาพที่ 4.8

ใบแสดงจำนวนวัสดุและแรงงาน

ที่	รายละเอียด	หน่วย	จำนวน	วัสดุ		แรงงาน		รวมเป็นเงิน
				ราคา/หน่วย	รวม	ราคา/หน่วย	รวม	
1	**ค่าใช้จ่ายการติดตั้งไฟแสงสว่างสำนักงาน**							
	สายป้อน2x2.5 sq.mm.VAF	m	3	16	48	10	30	78
	สายวงจรย่อย 2x1.5 sq.mm.VAF	m	30	10	300	8	240	540
	switch	ea	3	27	81	10	30	111
	Box switch	ea	1	7	7	5	5	12
	Plate 3 ช่อง	m	1	17	17	5	5	22
	โคมPhilips FL1x36w รุ่นTMS 012/136 IC	set	6	290	1740	30	180	1920
	หลอดPhilips FL 36 w	ea	6	36	216	10	60	276
	Ballast Philips ธรรมดา 36w	ea	6	68	408	10	60	468
	Starter Philips S10	ea	6	7	42	5	30	72
	acc	lot	1	50	50			50
	รวม				2909		640	3549
	ค่าดำเนินการ 5%							177.45
	กำไร+OH 10%							354.90
	รวม							4081.35
	VAT 7%							285.69
	รวมค่าใช้จ่ายระบบไฟฟ้าแบบที่1 (ทั่วไป)							**4367.04**
2	**ค่าใช้จ่ายการติดตั้งไฟแสงสว่างสำนักงาน เป็นระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ**							
	สายป้อน2x2.5 sq.mm.VAF	m	3	16	48	10	30	78
	สายวงจรย่อย 2x1.5 sq.mm.VAF	m	20	10	200	8	160	360
	switch	ea	2	27	54	10	20	74
	Box switch	ea	1	7	7	5	5	12
	Plate 2 ช่อง	m	1	17	17	5	5	22
	โคมPhilips FL1x36w รุ่นTMS 012/136 IC	set	6	290	1740	30	180	1920
	หลอดPhilips FL 36 w	ea	6	36	216	10	60	276
	Ballast Philips ธรรมดา 36w	ea	4	68	272	10	40	312
	Starter Philips S10	ea	4	7	28	5	20	48
	Electronic Ballast Econowatt Model Analog dimming T8/TC-L 1x36w	ea	2	750	1500	20	40	1540
	Photo Switch+Control	set	1	500	500	100	100	600
	acc	lot	1	50	50			
	รวม				4632		660	5292
	ค่าดำเนินการ 5%							264.6
	กำไร+OH 10%							529.20
	รวม							6085.8
	VAT 7%							426.01
	รวมค่าใช้จ่ายระบบไฟฟ้าแบบที่2							**6511.81**
3	ผลต่างค่าใช้จ่าย							**2144.76**

ภาพที่ 4.8 ใบเสนอราคาอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบแสงสว่างปกติและแบบมีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ

จากใบเสนอราคาอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบแสงสว่างสามารถสรุปค่าใช้จ่ายตั้งต้นได้ดังนี้

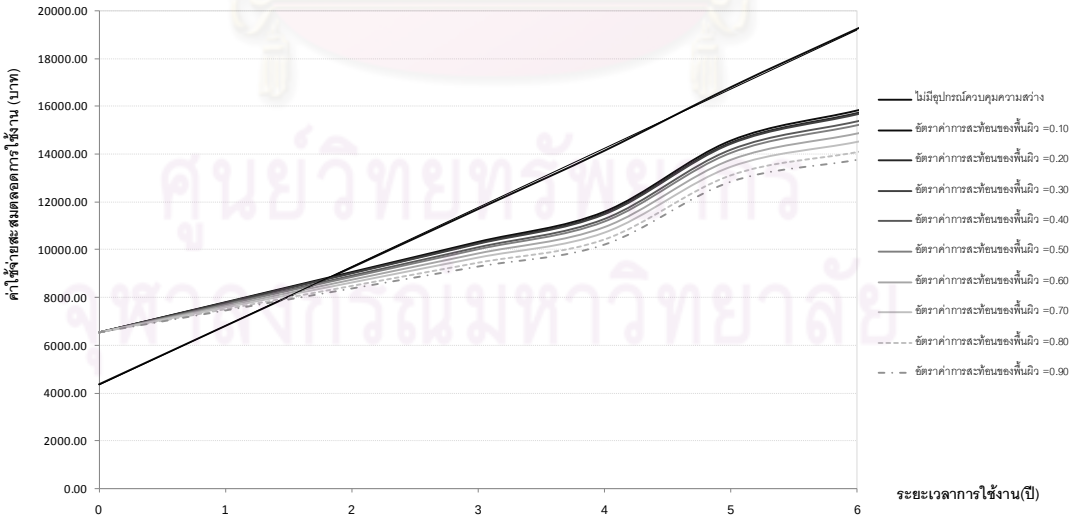
1. ระบบแสงสว่างปกติ

ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์	3,549.00	บาท
ค่าดำเนินการ 5%	177.45	บาท
กำไร+OH 10%	354.90	บาท
VAT 7%	285.69	บาท
รวม	4,367.04	บาท

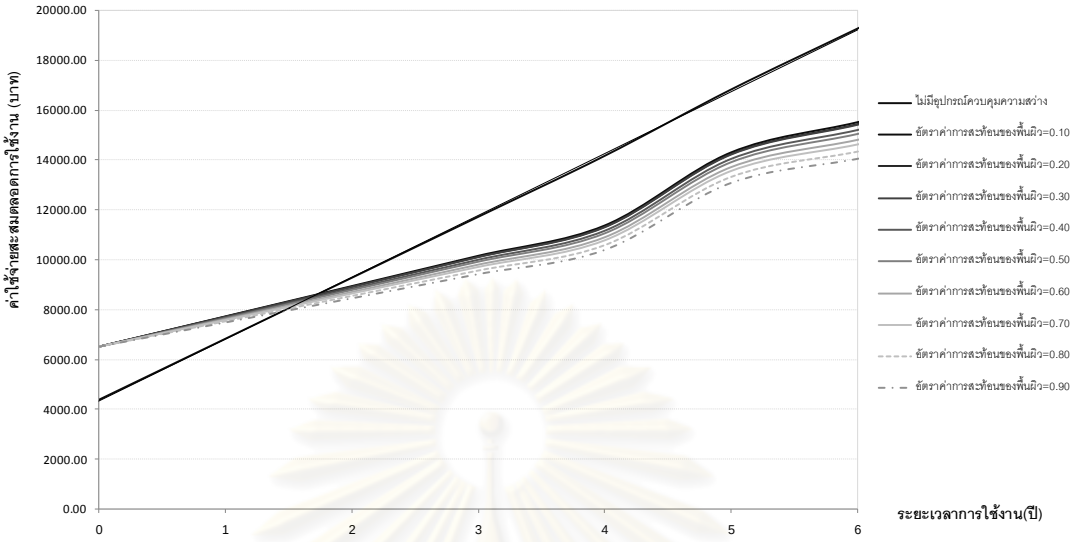
2. ระบบแสงสว่างที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติ

ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์	5,292.00	บาท
ค่าดำเนินการ 5%	264.60	บาท
กำไร+OH 10%	529.20	บาท
VAT 7%	426.01	บาท
รวม	6,511.81	บาท
ค่าใช้จ่ายตั้งต้นที่ต่างกันของทั้ง 2 ระบบ	2,144.76	บาท

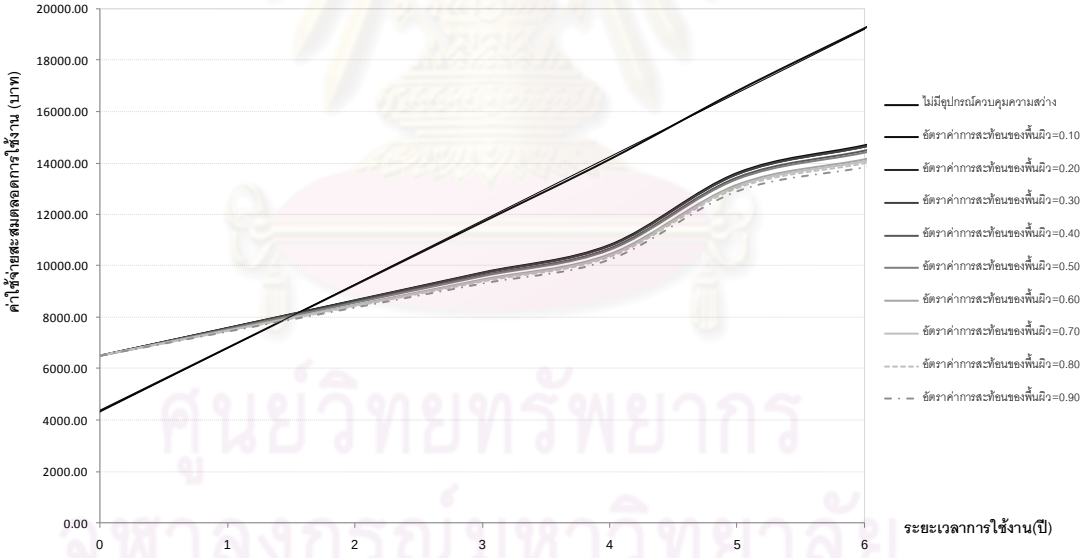
ในระหว่างการดำเนินการหรือการใช้งานของสำนักงาน กำหนดให้สำนักงานเปิดทำการตั้งแต่เวลา 8.00-18.00 น. ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานให้คิดหน่วยละ 3 บาท (1 หน่วย = 1 kWh) ค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินการจะรวมค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและค่าอุปกรณ์ที่ต้องเปลี่ยน ได้แก่ หลอดไฟ และบัลลาสต์ เมื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานของสำนักงานจำลองจะสามารถสรุปผลและเปรียบเทียบผลการคำนวณได้ ดังนี้



แผนภูมิที่4.47 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ

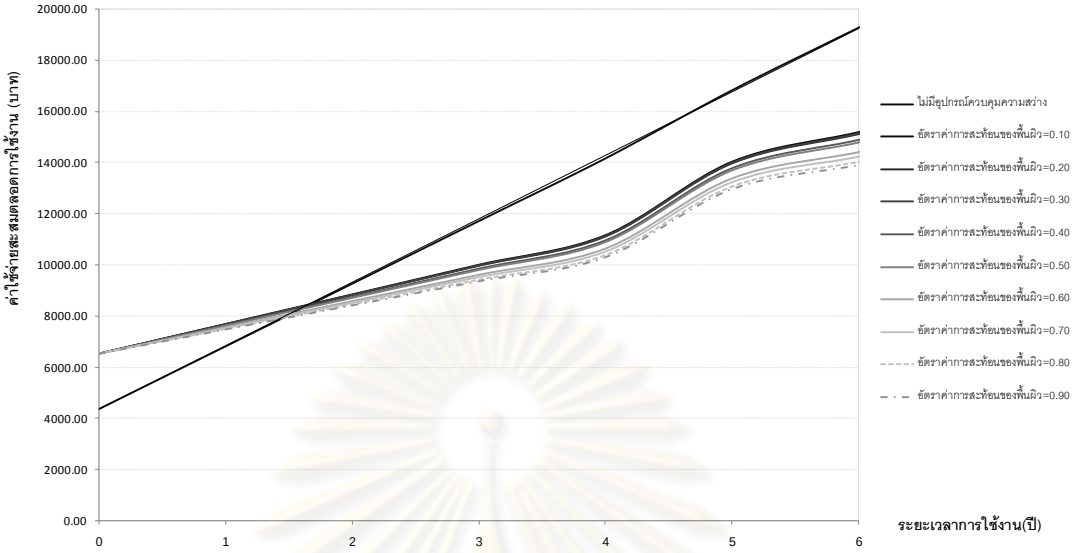


แผนภูมิที่4.48 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่4.49 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศใต้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่4.50 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจุดคุ้นทุนของระบบปรับความสว่างอัตโนมัติ (Break event point) ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก

จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายตั้งต้นของระบบที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติจะมากกว่าระบบที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ 2,144.76 บาท ซึ่งมากกว่าคิดเป็นร้อยละ 49 ของราคาระบบทั่วไป แต่เมื่อผ่านระยะการใช้งานแล้ว ระบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมจะให้ผลตอบแทนทางด้านค่าใช้จ่ายทางพลังงานที่ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับระบบปกติ และสามารถคืนทุนหรือมีจุดคุ้มทุนที่ระยะเวลา 1.4-1.8 ปี หรือ 16.8-21.6 เดือน

ในการศึกษานี้จะคิดระยะเวลาที่เหมาะสมในการลงทุนของระบบที่ระยะเวลา 18-20 เดือน เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานไม่นานมาก ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ที่ 15000 ชั่วโมง หรือ ประมาณ 5 ปี และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์มีอายุการใช้งาน 5 ปี เช่นกันซึ่งจะเพิ่มค่าใช้จ่ายให้กับระบบโดยรวมเมื่อมีการใช้งานนานกว่า 5 ปี

การคำนวณหาจุดคุ้มทุนหรือ break event point สามารถคำนวณได้จากค่าใช้จ่ายตั้งต้นที่ต่างกันของทั้งสองระบบ และผลตอบแทนทางการใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบที่ประหยัดพลังงานกว่า

$$\text{จุดคุ้มทุน (break event point)} = \frac{\text{ส่วนต่างของค่าใช้จ่ายตั้งต้น}}{\text{ผลตอบแทนทางค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน}}$$

ระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณสามารถสรุปผลและเปรียบเทียบได้ตามตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่4.3 แสดงจุดคุ้มทุน (Break event point) ของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ (Daylight-linked photo sensor) เทียบกับระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไป

อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายใน	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทิศต่างๆ			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
0.10	1.81	1.73	1.56	1.66
0.20	1.79	1.71	1.55	1.64
0.30	1.77	1.71	1.56	1.65
0.40	1.70	1.66	1.53	1.60
0.50	1.67	1.63	1.51	1.58
0.60	1.59	1.58	1.47	1.51
0.70	1.53	1.55	1.45	1.48
0.80	1.45	1.49	1.44	1.44
0.90	1.40	1.45	1.41	1.42

จากตารางสรุปผลการคำนวณหาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์จะพบว่าห้องสำนักงานจำลองที่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมจะมีอัตราค่าใช้พลังงานที่น้อยกว่าระบบไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้ไฟฟ้าของระบบที่มีอุปกรณ์น้อยลงไปด้วย เมื่อนำผลการใช้พลังงานรวมของทั้ง 2 ระบบมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนจะพบว่า ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติจะสามารถคืนทุนให้กับผู้ใช้ในระยะเวลา 1.40-1.81 ปี โดยขึ้นกับอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร แม้ต้นทุนแรกเริ่มของระบบจะสูงกว่าระบบปกติ แต่เนื่องจากระบบสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้เป็นจำนวนมากจึงสามารถคืนทุนให้กับผู้ใช้ได้ในระยะเวลาไม่นาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถสรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการคำนวณผลการใช้พลังงาน รวมถึงการคำนวณความคุ้มทุนของระบบเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถแบ่งระยะการสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 การสรุปผลการจำลองสภาพแสงธรรมชาติของสำนักงานจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux4.8

ส่วนที่ 2 การสรุปผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานของสำนักงานจำลองที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่ต่างกัน

ส่วนที่ 3 การสรุปผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมอัตโนมัติ

ส่วนที่ 4 การอภิปรายผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 การสรุปผลการจำลองสภาพแสงธรรมชาติของสำนักงานจำลอง

จากการจำลองสภาพแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux4.8 จะพบว่าแสงธรรมชาติในเวลาต่างๆตลอดวันมีค่าไม่เท่ากัน และความสว่างตลอดวันในแต่ละเดือนมีค่าต่างกันเนื่องจากลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ทำให้ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องสำนักงานจำลองมีปริมาณไม่เท่ากัน ซึ่งจากการจำลองจะสามารถสรุปได้ ดังนี้

5.1.1 ลักษณะแสงระหว่างวัน

ทิศเหนือ : แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารสำนักงานมาตรฐานที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ มีค่าความสว่างที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ค่าความสว่างที่อ่านได้มีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากช่วง 8.00 น.จนถึงช่วง 9.00 น. ค่าความสว่างจะค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอจนถึงเวลา 17.00 น. ค่าความสว่างจะค่อยๆลดลงจนมีค่าน้อยมาก โดยในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมีค่าสูงกว่าเดือนอื่นๆ ซึ่งมีค่าสูงเป็นพิเศษ ประมาณ 3,400 ลักซ์ ในขณะที่ค่าความสว่างเฉลี่ยสูงสุดของเดือนอื่นๆคือ 1,000-1,400 ลักซ์

ทิศตะวันออก : ค่าความสว่างที่อ่านได้ของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออกจะมีค่าสูงมากในช่วงเช้าเวลา 8.00-10.00 น.ประมาณ 14,000-32,000 ลักซ์ ขึ้นกับอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ตกกระทบพื้นผิวห้องโดยตรง จากนั้นค่าความสว่างจะค่อยๆลดลง ตั้งแต่ 12.00 น. ค่าความสว่างที่อ่านได้จะค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอประมาณ 400-1,500 ลักซ์ จนถึงช่วง 18.00 น. ที่ค่าจะลดลงเหลือน้อยมาก

ทิศใต้ : มีลักษณะแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดคล้ายกับผลที่เกิดทางทิศเหนือ แต่ปริมาณแสงมีมากกว่า คือ แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร มีค่าความสว่างที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ค่าความสว่างที่อ่านได้มีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากช่วง 8.00

น.จนถึงช่วง 9.00 น. ค่าความสว่างจะค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอจนถึงเวลา 17.00 น. ค่าความสว่างจะค่อยๆลดลงจนมีค่าน้อยมาก โดยในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมีค่าสูงกว่าเดือนอื่นๆ ซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณ 8,000 ลักซ์ ในขณะที่ค่าความสว่างสูงสุดของเดือนอื่นๆคือ 1,500-3,000 ลักซ์

ทิศตะวันตก : ลักษณะแสงธรรมชาติที่ผ่านทางช่องเปิดคล้ายกับผลที่ได้จากทางทิศตะวันออก คือ ช่วงเช้าหรือช่วง 8.00-14.00 ค่าความสว่างจะค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ในช่วงบ่าย หรือ 14.00 น.-17.00 น. ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมีค่าสูงมาก และค่าความสว่างจะค่อยๆลดลงจนน้อยมากในช่วง 18.00 น. และช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน และช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน ค่าความสว่างที่อ่านได้ในช่วงบ่ายจะไม่สูงมากเท่ากับเดือนอื่นๆ เนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์ ทำให้ปริมาณแสงที่เข้ามาในอาคารน้อยกว่าเดือนอื่นๆ และสามารถอ่านค่าความสว่างได้สูงสุดในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม โดยอ่านค่าสูงสุดได้ประมาณ 20,000-24,000 ลักซ์

5.1.2 ปริมาณแสงที่เข้ามาในห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในระดับต่างๆ

อัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารที่ต่างกันจะส่งผลให้ค่าความสว่างที่อ่านได้โดยเซนเซอร์มีค่าต่างกันออกไป ห้องสำนักงานที่มีอัตราค่าการสะท้อนสูง ค่าความสว่างที่อ่านได้จะมีค่ามากกว่าห้องสำนักงานที่มีอัตราค่าการสะท้อนต่ำกว่า นอกจากนี้ทิศทางของช่องเปิดก็มีอิทธิพลค่อ ค่าความสว่างที่เซนเซอร์อ่านได้เช่นกัน ดังนี้

ทิศเหนือ : ค่าความสว่างที่อ่านได้อยู่ในช่วง 0-3,400 ลักซ์

ทิศตะวันออก : ค่าความสว่างที่อ่านได้อยู่ในช่วง 0-32,000 ลักซ์

ทิศตะวันใต้ : ค่าความสว่างที่อ่านได้อยู่ในช่วง 0-8,300 ลักซ์

ทิศตะวันตก : ค่าความสว่างที่อ่านได้อยู่ในช่วง 0-24,000 ลักซ์

ค่าความสว่างที่อ่านได้ที่แตกต่างกันตามทิศทางช่องเปิดขึ้นกับลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ เช่น ห้องที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีค่าสูงสุดที่สูงมากเนื่องจากเป็นช่วงที่แสงอาทิตย์กระทบเข้าภายในห้องโดยตรง (direct sunlight)

5.2 การสรุปผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานของสำนักงานจำลองที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในที่ต่างกัน

การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารขึ้นกับจำนวนและกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ทำการเปิดใช้ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไปจะมีการใช้พลังงานเป็นอัตราคงที่ เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าหรือความสว่างของดวงโคมแบบอัตโนมัติ แต่ระบบไฟฟ้าธรรมดาสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ด้วยระบบการจัดการที่ดี ตัวอย่างเช่น การปิดไม่ใช้ไฟฟ้าในช่วงที่ไม่จำเป็นหรือไม่มีคนอยู่ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะศึกษาระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างอัตโนมัติเพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของสำนักงานจำลองภายใต้เงื่อนไขของห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวที่ต่างกัน

จากการจำลองการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว จะพบว่าค่าการใช้พลังงานของสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศต่างๆและมีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆมีแนวโน้มไม่เหมือนกันในแต่ละเดือน เนื่องมาจากทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ส่งผลต่อค่าความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติ ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของแต่ละทิศมีแนวโน้มที่ต่างกันและส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดปีของซึ่งสามารถสรุปผลการคำนวณพลังงานได้ ดังนี้

ทิศเหนือ : มีอัตราการใช้พลังงานสูงในช่วงเดือนตุลาคม-มีนาคมและค่อยๆลดลง ช่วงกลางปีจะมีอัตราการใช้พลังงานน้อย โดยเดือนมิถุนายนมีการใช้พลังงานน้อยสุด

ทิศตะวันออก : อัตราการใช้พลังงานคล้ายคลึงกันตลอดปี

ทิศใต้ : ตรงข้ามกับห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ คือ มีอัตราการใช้พลังงานสูงในช่วงกลางปีหรือช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม และจะค่อยๆลดลงในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์จะมีอัตราค่าการใช้พลังงานน้อย

ทิศตะวันตก : อัตราการใช้พลังงานคล้ายคลึงกันตลอดปี

เมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของห้องสำนักงานที่ไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติกับห้องที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะพบว่าห้องที่มีการติดตั้งอุปกรณ์มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าประมาณร้อยละ 48-62 ขึ้นกับอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารและทิศทางของช่องเปิดสำนักงานนั้นๆ

5.3 การสรุปผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติ

จากตารางสรุปผลการคำนวณหาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์จะพบว่าห้องสำนักงานจำลองที่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมจะมีอัตราค่าใช้พลังงานที่น้อยกว่าระบบไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้ไฟฟ้าของระบบที่มีอุปกรณ์น้อยลงไปด้วย เมื่อนำผลการใช้พลังงานรวมของทั้ง 2 ระบบมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนจะพบว่า ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติจะสามารถคืนทุนให้กับผู้ใช้ในระยะเวลา 1.40-1.81 ปี โดยขึ้นกับอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆกัน จะพบว่าอัตราค่าการสะท้อนมีอิทธิพลต่อความสว่างภายในห้องที่อ่านได้โดยเซนเซอร์ของห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือมาก เนื่องจากตารางที่ 4.2 จะเห็นช่วงความต่างของระยะเวลาคืนทุนของห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือค่อนข้างมาก เช่น ห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อน 0.10 ถ้าใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่าง จะสามารถคืนทุนด้านการใช้พลังงานได้ภายใน 1.81 ปี ในขณะที่ห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อน 0.90 จะสามารถคืนทุนทางพลังงานได้ใน 1.40 ปี ต่างกัน 0.41 ปี หรือประมาณ 5 เดือน ซึ่งปัจจัยเวลาถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเรื่องความคุ้มค่าในการลงทุน ตรงกันข้ามกับผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบที่ติดตั้งภายในห้องที่มีช่องเปิดทางทิศใต้ ระยะเวลาคืนทุนของทิศใต้เมื่อคำนวณจะได้ว่าห้องที่มีช่องเปิดทางทิศใต้ที่อัตราค่าการสะท้อนใดๆ จะมีระยะเวลาคืนทุนระบบที่ 1.41-1.56 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาคืนทุนที่เร็วและไม่

แตกต่างกันมาก สามารถสรุปได้ว่าอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติมากเมื่ออาคารสำนักงานมีช่องเปิดทางด้านเหนือ และมีความสัมพันธ์น้อยมากเมื่ออาคารมีช่องเปิดทางทิศใต้

จากการวิจัยพบว่าการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติในห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดในทิศต่างๆจะมีระยะคืนทุนของระบบภายใน 2 ปี สำหรับทุกๆอัตราค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคาร (ตั้งแต่ 0.10-0.90) อย่างไรก็ตามอัตราค่าการสะท้อนที่ต่างกันส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุนของระบบ โดยห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนมากที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความสว่างจะมีระยะเวลาในการคืนทุนของระบบที่สั้นกว่าห้องที่มีอัตราค่าการสะท้อนน้อย

5.4 การอภิปรายผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในอาคารกับประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติเป็นการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ไม่ใช่การสร้างห้องจำลองงานวิจัยจริง ซึ่งจะให้ผลแตกต่างกันในการใช้งานจริงหรือปัจจัยของผู้ใช้งาน เช่น ห้องที่มีค่าการสะท้อนของพื้นผิวมากอาจก่อภาวะไม่สบายตาแก่ผู้ใช้อาคาร หรืออาคารทางทิศใต้ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่ใช้แบบสำนักงานมาตรฐานเป็นห้องสำนักงานขนาดเล็กที่มีช่องเปิดเป็นหน้าต่าง 2 บาน ไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด โดยในการใช้งานจริงอาคารที่มีช่องเปิดทางทิศใต้มักจะมีการติดตั้งแผงกันแดดเพื่อลดแสงและความร้อนที่เข้ามาสู่อาคาร ดังนั้นผลที่ได้จากการจำลองในคอมพิวเตอร์อาจไม่ใช่ผลที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริง

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิจัยนี้สามารถบอกทิศทางและแนวโน้มความสัมพันธ์ของการใช้อุปกรณ์ควบคุมดวงโคมด้วยแสงธรรมชาติกับค่าการสะท้อนของพื้นผิวภายในได้ เช่น ทิศทางที่ค่าการสะท้อนของพื้นผิวมีผลมากคือทิศเหนือ จึงควรออกแบบพื้นผิวให้สว่างเป็นพิเศษ ในขณะที่ห้องที่มีช่องเปิดทางทิศใต้ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยค่าการสะท้อนมากนัก

งานวิจัยนี้สามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมเพื่อสร้างองค์ความรู้ที่น่าสนใจได้หลายประเด็น เช่น อิทธิผลของการวางผังอาคารในลักษณะเปิด-ปิด (opened plan & closed plan) จะมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์หรือไม่อย่างไร การเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ใช้งานจริงในห้องสำนักงานที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ และมีค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆกัน และการศึกษาอิทธิพลของค่าการสะท้อนโดยแยกแต่ละพื้นผิว (พื้น-ผนัง-เพดาน) ซึ่งจากการอภิปรายข้างต้นจึงเห็นว่าควรทำงานศึกษาต่อด้วยการสำรวจหรือสร้างแบบจำลองจริงเพื่อเก็บข้อมูล ซึ่งคาดว่าผลการวิจัยที่ได้จะมีประโยชน์และนำไปปรับใช้กับอาคารต่างๆได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

คมกริช ชูเกียรติมั่น, **การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540)

ชำนาญ ห่อเกียรติ. **เทคนิคการส่องสว่าง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์, 2550.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. **การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการ ประหยัดพลังงาน**: Design of Energy-Efficient Buildings. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539.

พรรณชลัท สุริโยธิน. **วัสดุและการก่อสร้าง**: **หลอดไฟฟ้า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2538.

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทย. TIEA – GD 003 (2003): 11 – 25.

ภาษาอังกฤษ

An-Seop Choi, Kyoo-Dong Song, Yong-Shik Kim. **The Characteristics of photosensers and electric dimming ballasts in daylight responsive dimming systems**. Building and Environment 40 (2005) 39-50

B.Roisin, M.Bodart, A. Deneyer, P.D'Herdt. **Lighting energy saving in office using control systems and their real consumption.** Energy and Building 40 (2008) 514-523

Boyce, P. R., and others. Occupant Use of Switching and Dimming Controls in Offices. **Lighting Res. Technol.** 38, 4 (2006): 358 – 378.

Brown, G. Z., and Dekay, M. **Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies**, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.

Claude L. Robbins. **Daylighting : design and analysis,** New York : Van Nostrand Reinhold, 1986

Danny H.W. Li, Tony N.T. Lam, S.L. Wong. **Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls.** Energy conversion and management 47 (2006) 1133-1145

Danny H.W. Li, Joseph C. Lam. **Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls**. Energy conversion and management 33 (2001) 793-803

Esther Hargenlocher. **Colorfulness and Reflectivity in Daylit spaces.** 26th Conference on Passive and

Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009

Evans, B. H. **Daylight in Architecture**. New York: McGraw – Hill, 1981.

Flynn, J. E., and Segil, A. W. **Architectural Interior Systems**. New York: VAN NOSTRAND REINHOLD, 1970.

International Organization for Standardization (ISO). **Lighting of indoor work places**, 2nd ed. (Geneva: ISO, 2002c)

Karlen, M., and Benya, J. R. **Lighting Design Basics**. New York: John Wiley & Sons, 2004.

Kwang-Wook Park, Andreas K. Athienitis. **Workplane illuminance prediction method for daylighting control systems**. Solar Energy 75 (2003) 277-284

Lechner, N. **Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

Levy, A. W., and Wotton, E. **An Appraisal of Task – Ambient Lighting Systems**. Energy and Buildings 2 (1979): 259 – 270.

Lighting Research Center. **Technical Guide for Effective, Energy – Efficient Lighting**. New York: NYSERDA, (n.d.)

Loe, D. **Task and Building Lighting: The Link between Lighting Quality and Energy Efficiency**. Right Light 4, 1 (1997): 11 – 15.

L&E Lighting & Equipment Public Company Limited. **User Guide 2006 – 2008**, 2nd ed. (Bangkok: L&E Lighting & Equipment Public Company Limited, 2006c)

Manav, B. **An Experimental Study on the Appraisal of the Visual Environment at Offices in Relation to Colour Temperature and Illuminance**. Building and Environment. 42 (2007): 970 – 983.

M. David Egan, **Concepts in architectural lighting** (USA: McGraw-Hill, Inc., 1983c)

Newsham, G., Veitch, J., Arsenault, C., and Duval, C. **Lighting for VDT Workstations 2: Effect of Control and Lighting Design on Task Performance, and Chosen Photometric Conditions**. IRC Research Report RR – 166 (2004): 1 – 62.

Newsham, G. R., and Sander, D. M. The Effects of Office Design on Workstation Lighting: Simulation Results. **IRC – RR – 143** (2003): 1 – 72.

Society of Light and Lighting. **Code for Lighting**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

S. Samant , S. Sharples. **Surface Reflectance Distributions and Their Effect on Average Daylight Factor Values in Atrium Buildings**. Architectural Science Review, Vol. 47, 2004

Steffy, G. R. **Lighting the Electronic Office**. New York: VAN NOSTRAND REINHOLD, 1995.

Steven V. Szokolay, S. V. **Introduction to architectural science: The basis of sustainable design**. Amsterdam: Elsevier, 2005.

The Lighting Industry Federation. **Interior Lighting Design Handbook**. (London: The Lighting Industry Federation, 1967c)

Werner K. E. Osterhaus, **Office Lighting: A Review of 80 years of Standards and Recommendations**, Energy and Environment Division. Lawrence Berkeley Laboratory (1993): pp. 1 – 14.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

คำศัพท์และคำนิยามเกี่ยวกับแสง

1. **ปริมาณแสง** (Luminous Flux, Φ)

คือ รังสีหรือกำลังของแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ใน 1 หน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงานหรือกำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงในรูปแบบของเส้นแรงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด หรืออาจเปรียบเทียบได้ว่าเป็นอัตราการไหล (Rate of Flow) ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แสดงออกมาในรูปของกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt, W) แต่สำหรับแสงสว่างจะหมายถึงค่าที่วัดออกมาเป็นปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen, lm) โดยปริมาณแสง 680 ลูเมน ที่เกิดจากลำของรังสีหนึ่งๆ ที่ความยาวคลื่น 0.555 ไมครอน จะมีพลังงาน 1 วัตต์ เป็นค่าที่มากที่สุดสำหรับตาของมนุษย์ในการมองเห็น

เทียน ให้ปริมาณแสง 12.57 ลูเมน

หลอดไส้ 100 วัตต์ ให้ปริมาณแสง 1,360 ลูเมน

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ให้ปริมาณแสง 2,500 ลูเมน

2. **ประสิทธิผลของแสง** (Luminous Efficacy, η)

คือ อัตราส่วนของปริมาณแสง (Φ) ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดต่อพลังงานที่ใช้ เพื่อให้ได้แสงปริมาณนั้นออกมา มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (Lumen/Watt, lm/W) หลอดไส้เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิผลของแสงต่ำเพราะกำลังไฟฟ้าที่ให้กับหลอดไฟ ส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นความร้อน แต่ให้ปริมาณแสงออกมาน้อย

หลอดไส้ 100 วัตต์ มีประสิทธิผลของแสง 13.6 ลูเมนต่อวัตต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ มีประสิทธิผลของแสง 70 ลูเมนต่อวัตต์

โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ดังสมการ

$$\eta = \Phi / W$$

3. Solid Angle (ω) **หรือ** (Ω)

คือ การวัดสัดส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลมที่ครอบคลุมด้วยพื้นที่สมมติรูปทรงกรวยที่มีส่วนที่แหลมที่สุดของกรวยอยู่ที่ จุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้นๆ หรือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลม (A) ต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆยกกำลังสอง (r^2) มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian, sr)

$$\omega = A/r^2$$

4. **ความเข้มแสง** (Luminous Intensity, I)

คือ ค่าที่ใช้บอกความมากน้อยของปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังนั้น ความเข้มแสง (I) หรือในอดีตเรียกว่า “แรงเทียน” (Candlepower) ก็คือ ปริมาณแสง (ϕ) ในหน่วยลูเมน (Lumen, lm) จากแหล่งกำเนิดแสงที่วัดได้ใน Solid Angle ใดๆ (ω) มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อสเตอเรเดียน (lm/sr) หรือ แคนเดลา (Candela, cd)

$$I = \Phi / \omega$$

ในการพิจารณาลักษณะนี้ใช้สำหรับการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมากจนถือว่าแหล่งกำเนิดแสงนั้นเป็นจุด (Point Source) หากพิจารณาโดยการนำแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมากจนเสมือนจุดและมีค่าความเข้มแห่งการว่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุก ๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน และเนื่องจากพื้นที่ผิวของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน

5. **ความส่องสว่าง** (Illuminance, E)

คือ ปริมาณแสง (Φ) ที่ตกกระทบลงบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ (A) จะได้ความส่องสว่าง (E) มีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Lumen per Unit Area) เมื่อวัดค่าความส่องสว่างบนระนาบที่ห่างจากเทียนออกมา 1 เมตร จะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์

บนโต๊ะทำงานในสำนักงานธรรมดาทั่วไป เท่ากับ 500 ลักซ์

บนพื้นดินในที่โล่งเมื่อท้องฟ้าหลัว เท่ากับ 10,000 ลักซ์

บนพื้นดินในที่โล่งเมื่อท้องฟ้าสดใส เท่ากับ 100,000 ลักซ์

$$E = \Phi / A$$

หากพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด (Point Source) ในทรงกลม เมื่อทรงกลมสมมติมีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่ตกกระทบพื้นผิวทรงกลมในพื้นที่ 1 ตารางฟุต ความส่องสว่างจะมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางฟุต (lm/ft^2) หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (Footcandle, fc) ในทำนองเดียวกันหากทรงกลมมีรัศมี 1 เมตร ปริมาณ แสง 1 ลูเมน ที่ตกกระทบพื้นผิวทรงกลมในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ความส่องสว่างจะมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m^2) หรือ 1 ลักซ์ (lux, lx) โดยที่1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10.76 ลักซ์

ถ้าแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กมากจนถือได้ว่ามีลักษณะเป็นจุด ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวนั้นจะขึ้นอยู่กับ ระยะห่างและมุมของแสงที่ตกกระทบ จึงเกิดเป็นสมการหาค่าความส่องสว่างอีกสมการหนึ่ง เมื่อ

พิจารณาความเข้มแสง (I) ในทิศทางใดๆจากแหล่งกำเนิดแสง แสงที่เดินทางเป็นระยะทาง (d) มาตกกระทบพื้นผิวที่มุมใดๆ (Θ) คือ มุมระหว่างทิศทางของแสงที่ตกกระทบและเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น)

$$E = I\cos\Theta/d^2$$

ความสัมพันธ์นี้ เรียกว่า “กฎกำลังสองผกผัน” (Inverse Square Law) ซึ่งกล่าวว่า “ค่าความส่องสว่างจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและพื้นที่รับแสง” และ “กฎของแลมเบิร์ต” (Lambert’s Law) ซึ่งกล่าวว่า “ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิววัตถุจะแปรผันตามค่า Cos ของมุมตกกระทบ”

6. **ความสว่าง** (Luminance, L)

คือ การที่แสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตาทำให้มองเห็นวัตถุนั้นได้ มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือ ฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert, FL)

เมื่อวัตถุที่แสงตกกระทบมีพื้นผิวที่ช่วยกระจายแสง (Diffuse) ค่าความสว่างจะแปรผันตรงกับค่าความส่องสว่าง (E) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสง (τ)

$$L = I \times \rho/A = E(lx) \times \rho/\pi \quad \text{หน่วย } cd/m^2$$
$$L = I \times \tau/A = E(lx) \times \tau/\pi \quad \text{หน่วย } cd/m^2$$
$$L = E(fc) \times \rho \quad \text{หน่วย FL}$$
$$L = E(fc) \times \tau \quad \text{หน่วย FL}$$

ค่าความสว่างขึ้นอยู่กับความเข้มแสง (I) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสง (τ) ของวัตถุ และพื้นที่ของวัตถุที่มองเห็น หรือค่าความส่องสว่าง (E) กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) หรือค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสง (τ) ของวัตถุ

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง ความสว่าง (L) พื้นที่ผิวของวัตถุที่เห็น (A) และความเข้มแสง (I)

$$I = L \times A \cos \Phi$$

7. **ความจ้า** (Brightness)

คือ การตอบสนองทางด้านความคิด (Subjective Response) ต่อความสว่าง (Luminance) ในพื้นภาพที่มองเห็น (Field of View) ซึ่งขึ้นอยู่กับการปรับสภาพของดวงตาของแต่ละบุคคล และบุคคลจะรับรู้ความจ้าของพื้นผิวได้ ก็ต่อเมื่อมีการเปรียบเทียบพื้นผิวข้างเคียงที่มืดกว่าหรือสว่างกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. **ความเปรียบต่าง** (Contrast)

คือ ความสว่างของวัตถุที่ต้องการมองเทียบกับความสว่างรอบข้าง เช่น วัตถุสีขาววางบนพื้นสีดำจะมองเห็นได้ง่ายกว่าวัตถุสีดำวางบนพื้นสีดำ โดยค่าความเปรียบต่างหาได้จาก อัตราส่วนความแตกต่างของความสว่าง (Contrast Ratio) ระหว่างความสว่างของวัตถุที่พิจารณา (Target, L_t) กับความสว่างของพื้นหลังหรือสภาพแวดล้อม (Background, L_b) โดยเมื่อมีความเปรียบต่างมากจะทำให้มองเห็นวัตถุได้ง่าย แต่ถ้ามากเกินไปอาจทำให้สายตาล้าได้

$$\text{Contrast Ratio} = |(L_t - L_b)/ L_b|$$

9. **การดูดกลืนของแสง** (Absorption)

คือ ปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางและเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน เช่น การฉายแสงขาวลงบนผนังสีแดง แสงสีอื่นๆจะถูกดูดกลืนหายเข้าไปในกำแพง ยกเว้นแสงสีแดงเท่านั้นที่สะท้อนออกมาสู่ดวงตา เราจึงเห็นผนังสีแดงและเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแสงเข้าไปในวัตถุใดๆ จะเกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน

10. **สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของวัสดุ** (Absorptance, α)

คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ดูดกลืนผ่านพื้นผิวเข้าไปในวัตถุต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้นๆ หรือ ความส่องสว่างที่ดูดกลืนผ่านพื้นผิวเข้าไปในวัตถุต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 หรืออาจเทียบเป็นค่าระหว่าง 0 – 100 % ก็ได้

11. **การสะท้อน** (Reflection)

คือ พฤติกรรมของแสงที่กระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อนกลับออกมา โดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนไป ซึ่งแบ่งตามลักษณะการสะท้อน ได้เป็น

การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque Material) มีลักษณะผิวเรียบมันวาว (Polished Surface) การสะท้อนจะมีมุมของแสงที่ตกกระทบ (Angle of Incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน (Angle of Reflection)

การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่มีผิวหยาบ แสงจะสะท้อนออกไปในหลายๆทิศทาง ซึ่งส่วนมากมุมของแสงสะท้อนที่กระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบ หากผิววัสดุมีลักษณะหยาบอย่างสมบูรณ์ คือ หยาบทั่วกันทั้งพื้นผิว (Perfectly Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการกระจายแสงสมบูรณ์ (Perfectly Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่าๆกันในทุกมุมสะท้อน แต่ถ้าหากผิววัตถุไม่เรียบอย่างสม่ำเสมอ (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (Semi Diffuse Reflection) โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุมักจะมีลักษณะผสมผสานกันระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาและการสะท้อนแบบกระจาย

12. **สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ** (Reflectance, ρ)

คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิววัตถุต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้นๆ หรือ ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 หรืออาจเทียบเป็นค่าระหว่าง 0 – 100 % ก็ได้

13. **การส่องผ่าน** (Transmission)

คือ พฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลาง แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติหรือลักษณะของตัวกลางที่แสงผ่านแล้ว มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่าน และแสงที่ผ่านออกมาจะยังมีปริมาณคงเดิม ซึ่งแบ่งตามลักษณะของตัวกลาง ได้เป็น

ตัวกลางโปร่งใส (Transparent Medium) แสงจะเกิดการหักเห (Refraction) หรือเปลี่ยนทิศทาง (Bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกใส เป็นต้น

ตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) แสงที่ส่องผ่านจะเกิดการกระจาย (Diffuse Transmission) โดยไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกฝ้า เป็นต้น

เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่แสงส่องผ่านได้ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและส่วนที่เหลือจะทะลุผ่านตัวกลาง หมายความว่า ปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนและปริมาณแสงที่สะท้อนกลับ รวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน

$$\text{Absorptance} + \text{Reflectance} + \text{Transmittance} = 1$$

14. **สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงของวัสดุ** (Transmittance, **T**)

คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านพื้นผิววัตถุต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผัววัตถุนั้นๆ หรือ ความส่องสว่างที่ทะลุผ่านวัตถุออกมาต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 หรืออาจเทียบเป็นค่าระหว่าง 0 – 100 % ก็ได้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1แสงธรรมชาติทางทิศเหนือที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มกราคม ในเวลา 8.00-18.00 น.

	Reflectance	ceiling	wall	floor	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มกราคม (ลักซ์)										
	Ratio	reflectance	reflectance	reflectance	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ทิศเหนือ	0.10	10	10	10	214	305	341	346	344	344	346	340	303	210	50
	0.20	10	10	50	215	307	343	348	346	346	348	342	305	211	51
		30	10	30	217	310	346	351	349	349	351	345	308	213	51
		50	10	10	217	310	345	351	348	348	351	345	308	213	51
		10	30	10	226	323	359	364	361	361	364	358	321	222	53
				Eav	219	313	348	354	351	351	354	348	311	215	52
	0.30	10	10	90	216	309	345	351	348	348	351	345	307	212	51
		30	10	70	220	315	351	357	354	354	357	350	312	216	52
		50	10	50	222	317	354	360	357	357	360	353	315	218	52
		70	10	30	222	317	354	359	357	357	359	353	315	218	52
		90	10	10	220	314	350	356	353	353	356	350	312	216	52
		10	30	50	229	326	364	369	366	366	369	363	324	225	54
		30	30	30	233	331	369	374	371	371	374	368	329	228	55
		50	30	10	234	333	370	375	372	372	375	369	331	229	55
		10	50	10	241	343	381	386	383	383	386	381	341	237	57
				Eav	226	323	360	365	362	362	365	359	321	222	53
	0.40	50	10	90	228	325	363	369	367	367	369	362	323	223	54
		70	10	70	230	328	366	372	370	370	372	366	326	225	54
		90	10	50	229	328	366	372	369	362	372	365	325	225	54
		10	30	90	232	331	368	374	371	371	374	368	329	228	55
		30	30	70	238	340	378	384	381	381	384	377	337	234	56
		50	30	50	242	345	384	389	386	386	389	383	343	237	57
		70	30	30	243	346	385	390	387	387	390	384	344	239	57
		90	30	10	242	344	382	387	384	384	387	381	341	237	57
		10	50	50	246	350	386	394	391	391	394	389	348	242	58
		30	50	30	252	359	398	403	399	399	403	397	356	248	60
		50	50	10	255	362	402	406	402	402	406	401	360	250	60
		10	70	10	260	369	409	413	409	409	413	408	366	255	61
				Eav	241	344	382	388	385	384	388	382	342	237	57
	0.50	90	10	90	240	343	383	390	388	388	390	383	341	235	56
		50	30	90	252	359	399	405	402	402	405	399	356	247	59
		70	30	70	256	364	405	411	408	408	411	405	362	251	60
		90	30	50	257	365	407	412	409	409	412	406	363	252	61
		10	50	90	252	359	398	404	400	400	404	398	356	247	59
		30	50	70	262	373	414	419	415	415	419	413	370	257	62
		50	50	50	269	382	424	429	425	425	429	423	379	264	63
		70	50	30	271	385	427	432	428	429	432	428	383	266	64
		90	50	10	270	383	424	429	424	425	429	423	380	265	64
		10	70	50	269	382	423	427	423	423	427	422	379	264	63
		30	70	30	278	394	437	441	437	437	441	436	392	273	66
		50	70	10	283	401	443	447	442	442	447	442	398	278	67
		10	90	10	284	402	444	448	443	443	448	443	399	278	67
				Eav	265	376	418	423	419	419	423	417	374	260	62
	0.60	90	30	90	275	392	436	443	440	440	443	436	389	270	65
		50	50	90	286	406	451	457	453	453	457	450	403	280	67
		70	50	70	293	416	462	467	463	463	467	461	413	287	69
		90	50	50	296	419	465	471	466	466	471	464	417	290	70
		10	70	90	279	397	440	445	441	441	445	439	394	274	66
		30	70	70	296	420	465	470	465	465	470	464	417	290	70
		50	70	50	306	434	480	485	480	480	485	479	431	300	72
		70	70	30	311	441	487	491	486	486	491	486	438	305	74
		90	70	10	310	438	483	487	481	482	487	483	435	304	73
		10	90	50	300	424	469	474	469	469	474	468	422	294	71
		30	90	30	304	444	490	494	489	489	494	489	441	308	74
		50	90	10	321	454	500	503	497	497	503	499	451	315	76
				Eav	298	424	469	474	469	469	474	468	421	293	71
	0.70	90	50	90	351	498	551	557	551	551	557	550	494	344	83
		50	70	90	338	479	531	536	531	531	536	530	475	331	80
		70	70	70	351	498	551	557	551	551	557	550	494	344	83
		90	70	50	356	504	557	561	555	555	561	556	500	349	84
		10	90	90	321	355	503	508	503	503	508	502	452	315	76
		30	90	70	349	490	542	546	540	540	546	540	486	340	82
		50	90	50	365	515	568	572	566	566	572	567	511	357	86
		70	90	30	372	525	578	581	574	574	581	577	521	364	88
		90	90	10	370	521	573	576	568	568	576	572	518	362	88
				Eav	353	486	550	555	549	549	555	549	495	345	83
	0.80	90	70	90	428	607	672	679	672	672	679	671	603	420	101
		50	90	90	434	614	679	685	678	678	685	677	609	425	102
		70	90	70	457	645	712	717	709	709	717	710	641	447	108
		90	90	50	466	657	724	729	720	720	729	722	652	457	110
				Eav	446	631	697	703	695	695	703	695	626	437	105
	0.90	90	90	90	669	950	1051	1059	1048	1048	1059	1048	943	655	157

ตารางที่ 2 แสงธรรมชาติทางทิศเหนือที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 กุมภาพันธ์ เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศเหนือ	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 กุมภาพันธ์ (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	247	336	365	365	357	356	365	365	339	254	95
	0.20	10	10	50	248	339	367	366	359	358	366	367	341	256	95
		30	10	30	250	341	370	369	362	362	369	370	344	258	96
		50	10	10	250	341	370	368	362	362	368	370	344	258	96
		10	30	10	262	356	384	382	374	374	382	384	358	270	101
				Eav	253	344	373	371	364	364	371	373	347	261	97
	0.30	10	10	90	250	341	370	368	362	362	368	370	344	257	96
		30	10	70	254	347	376	375	368	368	375	376	350	262	97
		50	10	50	256	350	379	378	371	371	378	379	353	264	98
		70	10	30	256	349	379	377	371	371	377	379	352	264	98
		90	10	10	254	346	375	373	367	367	373	375	349	262	97
		10	30	50	265	360	389	387	379	379	387	389	363	273	102
		30	30	30	269	366	395	392	385	386	392	395	368	277	103
		50	30	10	270	367	396	393	385	385	392	396	370	279	104
		10	50	10	280	379	408	404	396	396	404	408	381	288	108
				Eav	262	356	385	383	376	376	383	385	359	270	100
	0.40	50	10	90	263	359	390	389	382	382	389	390	362	271	101
		70	10	70	265	362	393	392	385	385	392	393	365	273	102
		90	10	50	265	361	392	391	384	384	391	392	364	273	102
		10	30	90	268	365	394	392	385	384	392	394	368	276	103
		30	30	70	276	375	405	403	395	394	402	405	378	284	106
		50	30	50	280	381	411	408	401	400	408	411	384	289	108
		70	30	30	281	382	412	409	401	401	408	412	385	290	108
		90	30	10	280	379	409	406	397	397	405	409	382	288	108
		10	50	50	285	387	417	413	405	404	412	416	389	294	110
		30	50	30	293	396	426	422	413	413	421	426	399	301	113
		50	50	10	296	400	429	425	416	415	424	429	402	305	114
		10	70	10	302	407	437	432	422	422	430	436	410	311	116
				Eav	280	380	410	407	399	398	406	409	382	288	108
	0.50	90	10	90	277	379	411	412	404	404	410	412	382	286	106
		50	30	90	291	396	428	426	418	418	425	428	399	300	112
		70	30	70	296	402	435	432	424	424	431	435	405	305	114
		90	30	50	297	404	436	433	425	424	432	436	407	306	115
		10	50	90	292	396	427	423	415	414	422	426	399	301	112
		30	50	70	304	412	443	439	430	430	438	443	415	313	117
		50	50	50	312	422	422	449	440	440	448	453	425	321	120
		70	50	30	315	425	457	453	443	442	451	457	428	324	122
		90	50	10	314	423	454	448	438	438	447	453	426	323	121
		10	70	50	312	421	452	447	437	437	446	452	424	321	120
		30	70	30	323	436	467	461	451	450	460	466	439	333	125
		50	70	10	329	442	473	467	456	455	465	473	445	338	127
		10	90	10	330	443	474	467	456	456	466	473	447	340	128
				Eav	307	415	445	443	434	433	442	447	419	316	118
	0.60	90	30	90	319	434	469	466	458	457	465	469	437	329	123
		50	50	90	331	449	483	479	470	469	478	483	452	341	128
		70	50	70	340	460	495	490	480	480	489	495	463	350	131
		90	50	50	344	464	498	493	483	482	492	498	467	354	133
		10	70	90	325	438	471	466	456	455	465	470	441	334	125
		30	70	70	344	464	497	491	481	480	490	497	467	354	133
		50	70	50	356	479	514	507	496	495	506	513	483	367	138
		70	70	30	362	487	520	513	501	500	512	520	490	373	140
		90	70	10	361	484	516	508	496	495	506	515	487	371	140
		10	90	50	349	469	502	495	483	483	493	501	472	369	135
		30	90	30	366	490	524	516	503	503	514	523	494	376	142
		50	90	10	374	501	534	524	511	511	523	533	504	385	145
				Eav	348	468	502	496	485	484	494	501	471	359	134
	0.70	90	50	90	383	519	558	533	542	542	552	558	522	395	148
		50	70	90	394	531	569	563	551	550	562	569	534	405	152
		70	70	70	409	550	589	582	569	568	580	588	554	421	158
		90	70	50	415	558	596	588	574	574	586	596	562	427	161
		10	90	90	373	502	538	531	519	518	529	537	506	384	144
		30	90	70	404	543	580	572	558	558	570	580	546	416	156
		50	90	50	425	569	606	597	582	582	595	606	573	436	164
		70	90	30	434	580	617	606	591	590	605	616	584	446	168
		90	90	10	432	576	611	599	583	582	597	610	580	444	168
				Eav	408	548	585	575	563	563	575	584	551	419	158
	0.80	90	70	90	501	674	722	714	698	698	712	722	678	515	193
		50	90	90	505	677	724	713	697	696	711	723	682	519	195
		70	90	70	535	716	764	751	733	733	749	763	721	550	100
		90	90	50	544	725	772	759	739	738	756	771	730	559	210
				Eav	521	698	746	734	717	716	732	745	703	536	175
	0.90	90	90	90	783	1053	1125	1107	1082	1080	1104	1123	1060	805	301

ตารางที่ 3 แสงธรรมชาติทางทิศเหนือที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มีนาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศเหนือ	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มีนาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	313	391	407	397	386	387	398	406	383	292	117
	0.20	10	10	50	315	394	410	400	389	390	401	409	385	293	118
		30	10	30	318	397	413	403	392	393	404	412	388	296	119
		50	10	10	318	397	413	402	392	392	403	411	388	296	119
		10	30	10	332	413	428	416	404	405	417	427	404	310	125
				Eav	321	400	416	405	394	395	406	415	391	299	120
	0.30	10	10	90	317	397	413	403	392	393	404	411	388	295	119
		30	10	70	323	404	420	410	400	400	411	419	395	301	121
		50	10	50	325	407	424	414	403	404	415	423	396	303	122
		70	10	30	325	407	423	413	402	403	414	422	398	303	122
		90	10	10	322	403	419	408	397	398	409	417	394	301	121
		10	30	50	336	419	434	422	410	411	423	432	409	314	127
		30	30	30	342	425	440	427	416	417	429	439	416	319	129
		50	30	10	344	427	441	428	416	417	430	440	417	321	130
		10	50	10	356	440	453	439	426	427	441	452	431	332	135
				Eav	332	414	430	418	407	408	420	428	405	310	125
	0.40	50	10	90	334	419	436	426	415	416	427	435	409	311	125
		70	10	70	337	422	440	429	419	419	431	438	412	314	126
		90	10	50	337	422	439	429	418	418	430	438	412	314	126
		10	30	90	341	424	440	428	416	417	429	439	415	318	128
		30	30	70	351	436	452	439	428	428	441	451	427	327	132
		50	30	50	356	443	458	446	434	434	447	457	433	332	135
		70	30	30	358	445	460	446	434	435	448	459	435	334	135
		90	30	10	356	441	455	441	429	430	443	454	431	332	135
		10	50	50	363	449	463	449	436	437	451	462	440	339	138
		30	50	30	372	460	473	459	445	446	460	473	450	348	141
		50	50	10	377	464	477	461	448	448	463	476	455	352	143
		10	70	10	384	472	484	468	453	454	469	484	463	359	147
				Eav	356	441	456	443	431	432	445	456	432	332	134
	0.50	90	10	90	353	443	462	452	441	442	453	461	433	329	132
		50	30	90	371	462	478	466	454	454	467	477	451	346	140
		70	30	70	377	469	486	472	460	461	474	485	459	352	142
		90	30	50	379	470	486	473	460	461	474	485	460	353	143
		10	50	90	372	460	475	461	448	449	462	474	450	347	141
		30	50	70	387	479	493	478	465	466	480	493	469	362	147
		50	50	50	397	490	505	489	475	476	491	504	480	371	151
		70	50	30	402	494	508	491	477	478	493	507	485	375	153
		90	50	10	400	491	503	486	471	472	488	503	481	374	153
		10	70	50	398	489	502	485	471	472	487	501	479	372	152
		30	70	30	412	506	517	499	484	485	502	517	496	385	157
		50	70	10	420	513	524	504	488	490	507	524	503	392	161
		10	90	10	421	514	525	505	489	490	507	524	505	394	161
				Eav	391	483	497	482	468	469	483	497	473	366	149
	0.60	90	30	90	407	506	525	511	498	499	513	524	495	379	154
		50	50	90	490	605	623	605	588	590	607	623	593	458	186
		70	50	70	434	536	551	534	519	520	536	550	525	406	165
		90	50	50	439	540	554	536	521	522	538	554	529	410	167
		10	70	90	414	509	523	506	491	492	508	523	499	387	157
		30	70	70	439	539	552	534	518	519	536	552	528	410	167
		50	70	50	455	557	570	550	533	534	552	570	546	425	174
		70	70	30	462	565	576	555	537	539	557	576	554	433	177
		90	70	10	461	561	570	548	530	531	550	571	551	431	177
		10	90	50	445	544	555	535	518	519	537	555	534	416	171
		30	90	30	467	569	579	557	539	540	559	579	558	437	179
		50	90	10	478	580	589	564	546	547	568	589	570	448	184
				Eav	449	551	564	545	528	529	547	564	540	420	172
	0.70	90	50	90	490	605	623	604	588	589	606	622	593	458	186
		50	70	90	503	617	633	612	594	595	614	633	606	470	192
		70	70	70	523	640	654	631	612	614	634	654	628	489	200
		90	70	50	531	648	661	636	617	619	640	661	636	496	204
		10	90	90	477	503	596	575	557	558	577	596	572	446	182
		30	90	70	517	630	642	618	599	601	621	643	618	484	198
		50	90	50	543	660	670	644	623	625	647	671	648	509	209
		70	90	30	555	672	681	652	631	632	656	682	661	520	215
		90	90	10	552	667	672	642	620	621	646	673	655	517	214
				Eav	521	627	648	624	605	606	627	648	624	488	200
	0.80	90	70	90	641	785	802	776	753	755	779	802	769	599	245
		50	90	90	647	787	801	772	748	750	775	802	773	605	248
		70	90	70	685	831	844	811	786	788	816	845	817	642	263
		90	90	50	697	841	851	816	788	791	821	852	826	653	268
				Eav	668	811	825	794	769	771	798	825	796	625	256
	0.90	90	90	90	1010	1229	1251	1203	1166	1169	1210	1253	1206	945	386

ตารางที่ 4 แสงธรรมชาติทางทิศเหนือที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21เมษายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศเหนือ	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 เมษายน (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	416	482	480	461	446	450	468	483	460	353	145
	0.20	10	10	50	419	485	484	464	450	454	472	487	464	355	146
		30	10	30	426	492	488	468	453	458	476	493	471	361	147
		50	10	10	428	495	487	467	452	457	475	494	474	363	148
		10	30	10	446	509	503	481	465	470	490	508	488	385	159
				Eav	430	495	491	470	455	460	478	496	474	366	150
	0.30	10	10	90	422	489	487	468	453	458	475	490	467	358	147
		30	10	70	433	501	497	477	462	467	485	501	480	367	150
		50	10	50	440	508	501	481	466	471	489	507	488	373	151
		70	10	30	442	510	500	480	465	470	488	508	91	375	152
		90	10	10	440	507	494	474	459	463	481	504	487	374	151
		10	30	50	452	516	510	488	472	477	497	515	496	390	161
		30	30	30	463	527	517	495	479	484	503	524	507	401	165
		50	30	10	468	532	518	495	479	484	504	527	512	407	167
		10	50	10	481	541	531	506	489	494	516	538	522	423	176
				Eav	449	515	506	485	469	474	493	513	450	385	158
	0.40	50	10	90	453	523	516	497	482	486	504	522	504	383	155
		70	10	70	460	530	520	501	486	490	508	529	512	390	157
		90	10	50	463	532	519	500	484	489	507	529	514	392	157
		10	30	90	458	523	518	496	480	485	504	522	503	396	163
		30	30	70	476	541	532	510	493	498	518	539	523	412	169
		50	30	50	488	553	539	517	500	505	525	549	535	424	173
		70	30	30	493	557	540	517	500	505	526	552	540	430	175
		90	30	10	492	555	534	512	493	498	519	548	538	431	175
		10	50	50	493	554	543	519	501	506	528	550	535	434	180
		30	50	30	510	570	554	529	521	516	539	564	553	452	186
		50	50	10	519	578	557	531	512	518	541	570	561	463	190
		10	70	10	525	582	565	537	518	524	548	575	565	473	196
				Eav	486	550	536	514	498	502	522	546	532	423	173
	0.50	90	10	90	488	560	548	529	513	518	536	558	545	412	165
		50	30	90	510	577	564	541	526	530	550	573	562	433	180
		70	30	70	523	589	572	549	532	537	558	584	575	456	184
		90	30	50	528	594	572	549	531	536	558	586	580	462	186
		10	50	90	506	568	557	532	515	520	542	564	551	446	184
		30	50	70	533	594	579	553	535	540	563	589	580	473	194
		50	50	50	551	612	591	564	545	551	574	604	598	493	201
		70	50	30	561	520	594	566	546	552	577	609	607	504	205
		90	50	10	562	619	587	558	538	544	569	605	605	507	206
		10	70	50	546	603	586	558	539	544	569	596	588	493	203
		30	70	30	571	627	604	573	553	559	585	617	613	521	214
		50	70	10	586	640	609	578	556	563	590	626	626	539	220
		10	90	10	583	634	609	577	556	562	590	622	619	539	223
				Eav	542	595	582	556	537	543	566	595	588	483	197
	0.60	90	30	90	572	640	619	596	578	583	605	634	631	499	199
		50	50	90	590	653	632	605	585	591	615	645	642	528	213
		70	50	70	612	674	647	618	598	604	629	663	666	551	221
		90	50	50	621	682	649	619	598	604	630	668	673	563	226
		10	70	90	571	629	612	583	563	569	594	622	616	517	212
		30	70	70	611	669	645	614	592	599	625	658	658	599	227
		50	70	50	641	696	664	632	610	616	645	682	688	591	239
		70	70	30	656	708	670	635	612	619	649	691	700	610	246
		90	70	10	657	708	662	626	602	609	640	686	699	615	249
		10	90	50	620	671	645	613	590	597	625	659	660	576	236
		30	90	30	658	706	671	636	612	619	650	689	698	619	252
		50	90	10	679	723	681	643	618	625	657	702	715	645	262
				Eav	624	680	650	618	597	603	630	667	671	576	232
	0.70	90	50	90	702	766	732	701	679	685	713	753	766	637	252
		50	70	90	715	772	738	704	680	687	717	757	770	662	264
		70	70	70	750	805	764	727	702	709	741	786	806	701	278
		90	70	50	766	818	768	729	703	711	744	795	818	721	286
		10	90	90	670	722	695	661	637	644	674	709	717	626	253
		30	90	70	734	783	745	707	682	689	722	764	782	695	279
		50	90	50	781	825	778	736	709	718	753	802	827	748	298
		70	90	30	803	844	787	742	714	722	760	815	845	776	309
		90	90	10	803	840	774	728	699	708	746	807	840	782	312
				Eav	747	797	753	715	689	697	730	776	797	705	281
	0.80	90	70	90	937	992	934	890	860	870	907	965	1008	866	344
		50	90	90	942	989	933	886	856	865	905	961	1006	911	355
		70	90	70	940	987	931	884	853	862	902	959	1002	909	354
		90	90	50	1030	1067	984	930	895	906	951	1025	1084	1011	393
				Eav	962	1009	946	898	866	876	916	978	1025	924	362
	0.90	90	90	90	1508	1544	1436	1362	1315	1330	1392	1490	1602	1494	566

ตารางที่ 5 แสงธรรมชาติทางทิศเหนือที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 พฤษภาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศเหนือ	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 พฤษภาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	512	580	574	544	524	531	557	579	552	431	195
	0.20	10	10	50	518	588	585	553	533	542	567	588	560	435	196
		30	10	30	529	601	600	566	548	558	582	601	573	443	199
		50	10	10	531	603	599	569	549	558	583	602	574	447	200
		10	30	10	567	625	608	569	547	556	587	618	601	489	222
				Eav	536	604	598	564	544	554	580	602	577	454	204
	0.30	10	10	90	525	597	596	562	542	553	578	597	569	438	197
		30	10	70	545	623	626	587	571	586	629	624	594	453	202
		50	10	50	557	636	642	605	586	602	624	638	607	462	205
		70	10	30	558	637	641	604	588	601	624	639	607	465	206
		90	10	10	551	626	626	594	575	585	609	627	596	463	205
		10	30	50	578	642	628	585	565	576	606	636	618	497	225
		30	30	30	600	661	647	604	582	594	624	654	638	516	232
		50	30	10	608	666	648	605	583	593	625	657	643	527	236
		10	50	10	632	679	650	601	576	586	623	666	663	561	255
				Eav	573	641	634	594	574	586	616	638	615	487	218
	0.40	50	10	90	584	672	687	638	627	651	669	676	642	477	210
		70	10	70	596	686	704	660	642	667	685	691	656	487	213
		90	10	50	597	687	703	654	644	666	684	691	656	490	214
		10	30	90	593	660	650	605	583	599	627	653	636	506	228
		30	30	70	626	696	690	636	619	639	666	690	673	534	238
		50	30	50	647	716	710	658	637	657	685	710	694	553	245
		70	30	30	655	710	721	656	637	655	681	731	699	564	249
		90	30	10	651	709	690	643	621	633	633	665	687	566	250
		10	50	50	656	708	684	627	605	621	656	696	693	578	260
		30	50	30	688	736	709	651	625	641	679	722	723	610	272
		50	50	10	704	745	710	652	626	639	680	729	733	630	281
		10	70	10	719	750	703	640	612	624	669	726	740	653	294
				Eav	643	706	697	643	623	641	668	698	686	554	246
	0.50	90	10	90	649	755	789	723	720	758	770	764	724	520	224
		50	30	90	694	774	780	718	698	731	754	771	752	583	255
		70	30	70	655	720	710	656	637	655	685	713	669	564	249
		90	30	50	724	800	801	738	717	748	773	795	779	616	267
		10	50	90	684	741	723	658	629	661	694	730	727	597	267
		30	50	70	736	793	776	707	683	710	744	781	781	644	283
		50	50	50	771	824	804	724	706	733	770	810	814	678	296
		70	50	30	787	831	803	731	703	727	768	815	823	699	305
		90	50	10	783	818	778	708	682	697	742	799	811	707	309
		10	70	50	763	796	760	687	659	680	723	776	791	686	304
		30	70	30	812	836	793	711	684	705	753	814	835	736	324
		50	70	10	837	853	795	715	683	699	752	823	852	769	337
		10	90	10	835	840	775	691	658	673	731	805	846	752	343
				Eav	748	799	776	705	681	706	743	784	785	658	289
	0.60	90	30	90	813	909	935	853	835	887	904	909	889	675	286
		50	50	90	854	919	918	814	805	850	880	909	911	737	316
		70	50	70	893	953	947	853	828	874	907	941	948	776	330
		90	50	50	908	961	946	840	826	868	905	946	958	798	339
		10	70	90	817	856	830	745	718	749	789	837	853	726	317
		30	70	70	899	932	903	795	717	815	858	910	934	810	345
		50	70	50	953	977	939	834	804	841	890	951	984	858	367
		70	70	30	979	991	939	827	800	832	888	961	1001	893	381
		90	70	10	976	975	903	803	776	787	870	937	984	905	388
		10	90	50	916	926	870	763	737	765	821	891	936	839	364
		30	90	30	988	983	913	802	764	793	858	942	1000	915	393
		50	90	10	1027	1004	916	800	761	783	857	957	1026	965	414
				Eav	919	949	913	811	781	820	869	924	952	825	353
	0.70	90	50	90	1074	1151	1169	1040	1018	1094	1120	1140	1151	918	379
		50	70	90	1111	1149	1137	979	973	1041	1080	1126	1162	978	406
		70	70	70	1176	1203	1180	1033	1002	1069	1117	1175	1221	1044	432
		90	70	50	1203	1215	1175	1013	995	1054	1110	183	1237	1082	447
		10	90	90	1022	108	998	874	843	891	942	1004	1054	922	391
		30	90	70	1153	1155	1106	945	925	981	1040	1115	1181	1046	436
		50	90	50	1152	1154	1104	957	922	978	1038	1114	1180	1045	436
		70	90	30	1281	1245	1155	983	947	993	1077	1190	1285	1191	494
		90	90	10	1272	1216	1097	943	839	923	1018	1151	1257	1205	504
				Eav	1160	1066	1125	974	940	1003	1060	1022	1192	1048	436
	0.80	90	70	90	1553	1592	1063	1347	1360	1481	1521	1564	1628	1357	540
		50	90	90	1578	1575	1544	1317	1282	1392	1452	1528	1626	1410	562
		70	90	70	1696	1672	1619	1344	1334	1442	1517	1615	1733	1532	609
		90	90	50	1731	1685	1598	1352	1300	1395	1489	1616	1749	1587	634
				Eav	1640	1631	1456	1340	1319	1428	1495	1581	1684	1472	586
	0.90	90	90	90	2727	2682	2675	2169	2204	2434	2512	2611	2804	2419	918

ตารางที่ 6 แสงธรรมชาติทางทิศเหนือที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มิถุนายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศเหนือ	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความส่วางจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มิถุนายน (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	548	627	621	588	564	568	597	625	605	487	247
	0.20	10	10	50	555	641	634	603	581	585	610	639	617	492	248
		30	10	30	568	657	650	621	601	604	627	656	632	502	252
		50	10	10	570	656	649	618	595	599	625	654	631	506	254
		10	30	10	615	685	661	619	590	595	630	673	666	558	286
				Eav	577	660	649	615	592	596	623	656	637	515	260
	0.30	10	10	90	563	654	647	618	600	602	624	653	629	497	250
		30	10	70	587	690	682	658	645	646	661	690	660	515	256
		50	10	50	599	707	699	676	665	665	679	707	676	526	260
		70	10	30	601	704	697	643	659	660	676	705	675	529	262
		90	10	10	592	683	678	648	627	631	655	648	658	525	261
		10	30	50	630	711	685	646	622	625	655	699	688	569	290
		30	30	30	654	735	706	667	643	646	675	721	712	591	299
		50	30	10	664	736	706	662	633	638	673	721	716	604	306
		10	50	10	699	754	710	657	622	628	670	732	739	647	333
				Eav	621	708	690	653	635	638	663	697	684	556	280
	0.40	50	10	90	631	762	752	739	741	737	736	764	724	547	266
		70	10	70	645	780	770	758	762	758	754	783	740	588	270
		90	10	50	647	777	768	754	754	751	751	780	739	562	272
		10	30	90	647	736	710	675	657	659	682	726	712	581	294
		30	30	70	688	786	756	723	710	710	728	775	759	615	307
		50	30	50	713	813	779	745	732	732	750	800	785	639	317
		70	30	30	723	813	777	739	721	722	746	798	788	651	324
		90	30	10	717	790	753	708	679	684	719	73	770	653	326
		10	50	50	729	798	750	701	674	678	712	776	778	669	340
		30	50	30	768	833	778	726	697	701	738	807	815	708	538
		50	50	10	788	837	779	719	681	687	734	808	824	731	369
		10	70	10	809	842	773	705	662	669	723	804	836	759	389
				Eav	709	797	762	724	706	707	731	725	773	642	334
	0.50	90	10	90	707	881	869	873	897	887	860	888	830	602	285
		50	30	90	768	898	861	840	846	840	837	888	826	679	330
		70	30	70	795	926	886	863	868	863	860	915	890	704	341
		90	30	50	805	925	883	856	855	852	856	913	892	717	348
		10	50	90	762	848	796	753	735	736	760	826	823	694	349
		30	50	70	826	917	857	814	800	800	820	893	891	752	372
		50	50	50	869	955	888	840	823	823	847	926	901	794	391
		70	50	30	889	959	886	831	805	808	842	926	940	818	404
		90	50	10	885	930	855	788	747	754	805	893	919	825	410
		10	70	50	863	915	840	777	746	750	791	878	904	801	404
		30	70	30	923	964	876	806	768	774	822	919	956	862	431
		50	70	10	956	974	878	796	745	754	818	923	974	900	451
		10	90	10	956	963	855	768	713	723	792	901	966	907	460
				Eav	846	927	864	816	796	797	824	899	901	773	383
	0.60	90	30	90	911	1089	1039	1035	1067	1054	1020	1079	1039	795	373
		50	50	90	968	1096	1020	990	999	992	956	1069	1060	869	417
		70	50	70	1016	1139	1054	1018	1024	1017	1015	1107	1104	916	438
		90	50	50	1036	1141	1051	1006	1001	997	1008	1105	1112	942	451
		10	70	90	927	1003	921	866	849	849	874	965	985	851	421
		30	70	70	1028	1104	1004	946	930	930	954	1057	1086	945	460
		50	70	50	1096	1160	1046	978	954	955	988	1106	1146	1013	491
		70	70	30	1130	1168	1044	963	925	930	980	1107	1162	1054	512
		90	70	10	1127	1129	1002	903	843	853	928	1062	1135	1065	522
		10	90	50	1053	1087	966	886	847	852	904	1023	1083	987	489
		30	90	30	1144	1157	1015	921	869	877	944	1081	1160	1079	530
		50	90	10	1193	1174	1017	905	834	847	936	1088	1187	1137	560
				Eav	1052	1121	1015	951	929	929	959	1071	1105	971	472
	0.70	90	50	90	1234	1418	1309	1295	1337	1320	1277	1383	1365	1096	505
		50	70	90	1285	1407	1273	1229	1246	1236	1224	1353	1377	1166	545
		70	70	70	1355	1474	1324	1267	1272	1264	1265	1410	1448	1246	581
		90	70	50	1399	1479	1317	1242	1229	1226	1250	1407	1462	1289	605
		10	90	90	1180	1250	1113	1046	1029	1028	1055	1184	1236	1092	525
		30	90	70	1341	1404	1237	1158	1138	1137	1168	1324	1393	1244	590
		50	90	50	1450	1489	1297	1197	1162	1164	1215	1394	1487	1354	639
		70	90	30	1502	1502	1293	1171	1111	1120	1199	1396	1513	1417	672
		90	90	10	1496	1444	1227	1079	988	1005	1119	1927	1471	1429	686
				Eav	1360	1430	1266	1187	1168	1167	1197	1420	1417	1259	594
	0.80	90	70	90	1820	2014	1806	1776	1840	1815	1753	1938	1967	1637	732
		50	90	90	1854	1983	1740	1673	1698	1683	1666	1879	1956	1695	765
		70	90	70	2001	2098	1824	1732	1737	1727	1733	1978	2084	1843	831
		90	90	50	2050	2096	1804	1675	1642	1642	1690	1959	2097	1907	867
				Eav	1931	2048	1794	1714	1729	1717	1711	1939	2026	1771	799
	0.90	90	90	90	3248	3487	3031	2966	3078	3036	2926	3306	3437	2942	1261

ตารางที่ 7 แสงธรรมชาติทางทิศเหนือที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 ธันวาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศเหนือ	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 ธันวาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	226	306	337	342	341	341	341	327	276	167	0
	0.20	10	10	50	227	308	339	344	343	343	343	329	278	168	0
		30	10	30	229	311	341	347	346	346	346	332	280	169	0
		50	10	10	229	310	341	346	345	346	346	331	280	169	0
		10	30	10	239	323	355	360	358	359	359	345	292	176	0
				Eav	231	313	344	349	348	349	349	334	283	171	0
	0.30	10	10	90	229	310	341	346	345	346	345	331	280	169	0
		30	10	70	233	315	347	352	351	352	351	337	285	172	0
		50	10	50	234	318	349	355	354	354	354	340	287	173	0
		70	10	30	234	318	349	355	353	354	354	339	287	173	0
		90	10	10	232	315	346	351	350	350	350	336	284	171	0
		10	30	50	242	327	359	364	363	363	363	349	296	178	0
		30	30	30	246	332	364	369	368	368	369	354	300	181	0
		50	30	10	247	333	365	370	369	370	370	356	301	182	0
		10	50	10	255	344	376	381	379	380	381	366	311	188	0
				Eav	239	324	355	360	359	360	360	345	292	176	0
	0.40	50	10	90	240	326	359	364	363	364	363	348	294	177	0
		70	10	70	242	329	361	367	366	367	366	351	297	179	0
		90	10	50	242	328	361	367	366	366	366	351	296	179	0
		10	30	90	245	331	364	369	367	368	368	354	299	181	0
		30	30	70	251	340	373	379	377	378	378	363	307	186	0
		50	30	50	255	345	379	384	383	383	383	368	312	188	0
		70	30	30	257	347	380	385	384	384	385	370	313	189	0
		90	30	10	255	344	377	382	380	381	381	367	311	188	0
		10	50	50	260	351	384	389	387	388	389	374	317	192	0
		30	50	30	266	359	393	398	396	397	397	383	325	196	0
		50	50	10	269	362	396	401	399	400	401	386	328	199	0
		10	70	10	274	369	403	408	406	406	408	393	334	202	0
				Eav	255	344	378	383	381	382	382	367	311	188	0
	0.50	90	10	90	253	344	378	385	384	384	384	368	310	187	0
		50	30	90	265	359	394	400	398	399	399	383	324	196	0
		70	30	70	270	365	400	406	404	405	405	389	329	199	0
		90	30	50	271	366	401	407	405	406	406	390	331	200	0
		10	50	90	266	359	393	398	397	397	398	383	324	196	0
		30	50	70	276	373	408	414	412	413	413	398	337	204	0
		50	50	50	283	382	418	423	421	422	423	407	345	209	0
		70	50	30	286	385	421	426	424	425	426	410	349	211	0
		90	50	10	284	383	419	423	421	422	423	408	347	210	0
		10	70	50	283	382	417	422	420	421	422	406	345	209	0
		30	70	30	293	395	431	435	433	434	435	420	357	216	0
		50	70	10	298	401	437	441	439	440	441	426	363	220	0
		10	90	10	298	401	437	441	439	440	441	426	363	220	0
				Eav	279	377	412	417	415	416	417	401	340	206	0
	0.60	90	30	90	290	392	430	437	436	436	436	419	354	214	0
		50	50	90	301	406	445	450	449	449	450	433	367	222	0
		70	50	70	309	416	456	461	459	460	461	443	377	228	0
		90	50	50	311	419	459	464	462	463	464	447	379	230	0
		10	70	90	295	397	434	439	437	438	439	423	359	217	0
		30	70	70	311	419	458	463	461	462	463	446	379	230	0
		50	70	50	322	434	474	479	476	477	479	462	393	238	0
		70	70	30	327	440	480	485	482	483	484	468	398	242	0
		90	70	10	326	438	477	481	478	479	481	465	397	241	0
		10	90	50	316	424	463	467	465	466	467	451	384	233	0
		30	90	30	330	444	484	488	485	486	488	472	402	24	0
		50	90	10	338	453	493	497	494	495	498	481	411	250	0
				Eav	315	424	463	468	465	466	468	451	383	214	0
	0.70	90	50	90	347	469	513	520	518	519	519	500	424	256	0
		50	70	90	355	479	523	529	526	528	529	509	433	262	0
		70	70	70	370	498	543	549	547	548	549	529	450	273	0
		90	70	50	374	503	549	554	551	552	554	535	456	276	0
		10	90	90	338	455	496	501	499	500	501	484	412	249	0
		30	90	70	364	490	534	539	536	537	539	520	443	269	0
		50	90	50	383	514	560	565	562	563	565	546	466	283	0
		70	90	30	391	524	570	574	570	572	575	556	475	289	0
		90	90	10	388	521	565	569	565	566	570	552	472	287	0
				Eav	368	495	539	544	542	543	545	526	448	272	0
	0.80	90	70	90	450	607	662	670	666	668	669	645	548	332	0
		50	90	90	456	613	669	676	672	673	676	652	555	336	0
		70	90	70	480	644	702	708	703	705	708	684	583	354	0
		90	90	50	489	656	713	719	714	716	720	696	594	361	0
				Eav	469	630	687	693	689	691	693	669	570	346	0
	0.90	90	90	90	704	949	1036	1046	1040	1042	1046	1009	858	517	0

ตารางที่ 8 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันออกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มกราคม เวลา 8.00-18.00 น

ทิศตะวันออก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มกราคม (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	4286	13397	1091	776	555	430	371	337	298	212	53
	0.20	10	10	50	4295	13432	1131	802	562	433	373	339	299	213	54
		30	10	30	4309	13463	1164	826	575	437	376	342	302	215	54
		50	10	10	4310	13446	1142	815	577	436	376	342	301	215	54
		10	30	10	4401	13536	1194	824	585	451	390	355	313	223	56
				Eav	4329	13469	1158	817	575	439	379	345	304	217	55
	0.30	10	10	90	4304	13467	1172	828	570	436	376	342	301	215	54
		30	10	70	4332	13550	1262	889	594	444	382	347	306	218	55
		50	10	50	4346	13583	1296	914	607	446	385	350	308	220	55
		70	10	30	4347	13564	1273	902	608	447	385	350	308	220	55
		90	10	10	4334	13495	1194	855	600	442	381	346	305	218	55
		10	30	50	4421	13601	1267	890	600	457	394	359	317	226	57
		30	30	30	4453	13649	1311	921	617	463	400	364	321	229	58
		50	30	10	4466	13636	1287	909	602	464	401	366	322	230	58
		10	50	10	4540	13705	1322	923	623	476	412	376	332	236	59
				Eav	4394	13583	1265	892	602	453	391	356	313	224	56
	0.40	50	10	90	4386	13730	1461	1091	638	461	396	359	316	225	57
		70	10	70	4401	13764	1497	1046	652	465	399	362	319	227	57
		90	10	50	4402	13744	1472	1033	653	464	398	361	318	227	57
		10	30	90	4442	13670	1346	942	615	463	400	464	321	228	57
		30	30	70	4495	13784	1460	1019	646	476	410	373	329	234	59
		50	30	50	4529	13835	1506	1052	665	483	416	379	334	238	60
		70	30	30	4542	13821	1481	1038	667	484	417	380	335	238	60
		90	30	10	4535	13742	1386	980	658	479	414	377	332	237	60
		10	50	50	4578	13814	1442	1002	647	487	421	384	339	241	61
		30	50	30	4633	13883	1499	1043	671	497	431	393	364	247	62
		50	50	10	4662	13876	1474	1030	676	500	434	396	349	249	62
		10	70	10	4710	13911	1482	1023	671	507	441	403	356	253	63
				Eav	4526	13798	1459	1025	655	481	415	386	334	237	60
	0.50	90	10	90	4480	14023	1780	1230	714	489	419	379	333	237	60
		50	30	90	4601	14058	1750	1211	715	504	434	394	347	247	62
		70	30	70	4638	14115	1802	1247	734	512	440	400	352	250	63
		90	30	50	4651	14097	1771	1231	738	512	441	401	353	251	63
		10	50	90	4622	13934	1575	1092	676	499	431	393	346	247	62
		30	50	70	4711	14093	1727	1193	720	518	448	408	359	256	64
		50	50	50	4771	14171	1790	1238	743	529	458	417	368	262	66
		70	50	30	4800	14159	1761	1222	749	532	461	421	371	264	66
		90	50	10	4797	14064	1643	1148	735	527	457	418	368	262	66
		10	70	50	4787	14087	1669	1151	714	526	456	417	367	261	65
		30	70	30	4869	14186	1745	1204	743	541	470	430	379	270	68
		50	70	10	4916	14185	1721	1189	725	547	476	436	385	224	69
		10	90	10	4928	14178	1687	1163	734	548	477	437	386	274	69
				Eav	4736	14104	1725	1194	726	522	451	412	363	254	65
	0.60	90	30	90	4793	14521	2227	1528	834	553	475	430	378	269	67
		50	50	90	4906	14523	2164	1486	826	566	488	444	391	278	70
		70	50	70	4974	14609	2236	1537	856	579	500	455	400	248	71
		90	50	50	5003	14594	2201	1516	858	581	502	457	403	286	72
		10	70	90	4869	14293	1889	1303	765	549	475	433	382	271	68
		30	70	70	5013	14521	2097	1442	824	578	501	457	403	286	72
		50	70	50	5111	14633	2186	1504	861	596	517	472	416	295	74
		70	70	30	5161	14629	2152	1484	865	601	523	478	421	299	75
		90	70	10	5158	14504	1997	1384	847	594	519	475	419	298	75
		10	90	50	5064	14461	1978	1369	805	580	505	461	407	289	72
		30	90	30	5195	14600	2093	1443	849	604	526	482	425	302	75
		50	90	10	606	14604	2060	1423	858	612	535	491	433	308	77
				Eav	4654	14541	2107	1452	837	583	506	461	407	286	72
	0.70	90	50	90	5500	15369	2907	1994	1045	685	594	541	476	338	84
		50	70	90	5378	15225	2792	1917	1007	661	573	522	458	325	81
		70	70	70	5500	15369	2907	1994	1045	685	594	541	476	338	84
		90	70	50	5546	15345	2853	1961	1053	689	599	547	481	341	85
		10	90	90	5247	14832	2369	1636	902	624	542	495	436	309	77
		30	90	70	5477	15165	2667	1840	995	669	582	532	468	332	83
		50	90	50	5640	15342	2803	1930	1042	699	609	557	491	349	87
		70	90	30	5712	15328	2750	1900	1053	707	618	567	500	355	89
		90	90	10	5703	15153	2535	1756	1018	697	611	562	496	352	88
				Eav	5525	15220	2710	1867	1014	679	591	540	476	338	84
	0.80	90	70	90	6172	16650	4147	2834	1378	837	725	660	579	410	102
		50	90	90	6256	16499	3939	2715	1341	840	731	667	586	415	103
		70	90	70	6461	16722	4113	2832	1414	877	764	699	615	435	108
		90	90	50	6539	16689	4034	2780	1410	887	775	710	625	443	110
				Eav	6357	16640	4058	2790	1386	860	749	684	601	426	106
	0.90	90	90	90	8383	19930	7119	4895	2253	1290	1127	1029	902	634	157

ตารางที่ 9 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันออกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 กุมภาพันธ์ เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันออก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 กุมภาพันธ์ (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	5862	16168	1170	805	563	429	370	343	316	246	98
	0.20	10	10	50	5878	16218	1224	839	574	433	374	345	318	248	98
		30	10	30	5896	16258	1263	867	589	436	375	347	320	250	99
		50	10	10	5891	16226	1229	849	589	435	375	347	320	250	99
		10	30	10	5896	16283	1256	861	593	449	388	360	332	259	103
				Eav	5890	16246	1243	854	586	438	378	350	323	252	100
	0.30	10	10	90	5894	16270	1279	874	585	436	375	347	320	249	99
		30	10	70	5938	16384	1354	950	616	444	381	353	325	253	100
		50	10	50	5957	16425	1435	979	631	448	385	356	327	255	101
		70	10	30	5951	16392	1399	960	631	447	384	355	327	255	101
		90	10	10	5922	16285	1290	894	615	442	380	352	324	253	100
		10	30	50	5997	16375	1353	923	612	456	393	365	336	262	104
		30	30	30	6032	16424	1397	954	632	462	398	370	341	266	105
		50	30	10	6036	16388	1354	931	631	462	399	371	342	267	106
		10	50	10	6091	16424	1364	932	630	473	410	382	352	274	109
				Eav	5980	16374	1358	933	620	452	389	361	333	259	103
	0.40	50	10	90	6028	16639	1655	1118	677	462	395	365	335	261	104
		70	10	70	6048	16683	1698	1149	693	465	399	368	338	263	104
		90	10	50	6042	16647	1659	1128	692	464	398	367	338	263	104
		10	30	90	6032	16471	1455	989	634	462	398	369	340	265	105
		30	30	70	6103	16615	1594	1081	673	475	409	379	349	272	108
		50	30	50	6141	16669	1641	1114	693	482	415	385	354	276	109
		70	30	30	6144	16629	1594	1088	692	482	416	386	355	277	110
		90	30	10	6113	16500	1457	1005	672	476	412	382	352	275	109
		10	50	50	6151	16574	1519	1031	663	484	419	390	359	280	111
		30	50	30	6209	16638	1570	1078	687	494	428	398	367	286	113
		50	50	10	6223	16596	1515	1038	686	497	431	401	370	288	114
		10	70	10	6251	16596	1501	1021	676	503	437	408	377	294	116
				Eav	6124	16605	1572	1070	678	479	413	383	353	275	109
	0.50	90	10	90	6180	17052	2070	1388	779	490	419	385	353	275	109
		50	30	90	6260	16083	1961	1320	763	504	433	400	368	286	113
		70	30	70	6302	17044	2014	1358	784	511	439	406	373	291	115
		90	30	50	6303	16998	1960	1327	783	511	440	407	374	291	115
		10	50	90	6219	16735	1690	1144	701	497	429	399	367	286	113
		30	50	70	6329	16921	1822	1259	753	516	446	414	381	297	117
		50	50	50	6339	16997	1920	1299	777	527	455	423	390	303	120
		70	50	30	6406	16948	1858	1263	777	529	458	427	393	306	121
		90	50	10	6371	16785	1682	1155	749	523	454	423	390	304	120
		10	70	50	6358	16829	1737	1180	732	522	453	422	389	303	120
		30	70	30	6446	16913	1799	1223	760	537	467	435	402	313	123
		50	70	10	6473	16863	1731	1181	760	542	472	441	308	317	125
		10	90	10	6464	16825	1640	1163	737	542	473	442	409	318	125
				Eav	6342	16846	1837	1251	758	519	449	417	377	299	118
	0.60	90	30	90	6536	17592	2556	1710	916	553	474	437	401	302	123
		50	50	90	6600	17472	2400	1614	890	564	486	450	414	322	126
		70	50	70	6672	17554	2465	1660	919	576	497	461	424	330	130
		90	50	50	6685	17497	2394	1616	914	577	499	463	427	332	131
		10	70	90	6487	17102	2015	1368	801	545	472	439	404	315	124
		30	70	70	6657	17355	2241	1517	867	574	497	463	417	332	131
		50	70	50	6757	17451	2313	1567	903	591	513	478	441	343	135
		70	70	30	6784	17391	2230	1516	896	595	518	484	446	374	137
		90	70	10	6735	17174	1998	1368	859	587	513	480	444	346	136
		10	90	50	6655	17192	2047	1390	829	574	500	467	431	335	132
		30	90	30	6784	17303	2124	1446	869	597	521	487	450	350	138
		50	90	10	6828	17239	2031	1386	864	604	530	496	459	357	141
				Eav	6682	17360	2235	1513	877	578	502	467	430	337	132
	0.70	90	50	90	7109	18431	3308	2215	1137	651	561	519	476	369	146
		50	70	90	7148	18232	3067	2078	1094	658	570	529	487	378	149
		70	70	70	7268	18349	3166	2139	1135	678	589	547	504	391	154
		90	70	50	7293	18270	3061	2072	1122	683	593	553	510	396	156
		10	90	90	6908	17662	2515	1711	958	618	537	500	461	381	148
		30	90	70	7180	18024	2829	1919	1052	664	578	539	497	386	152
		50	90	50	7337	18160	2925	1986	1100	690	603	563	520	404	159
		70	90	30	7378	18073	2808	1912	1087	697	611	572	529	411	162
		90	90	10	7294	17764	2479	1699	1029	686	604	568	525	409	161
				Eav	7213	18107	2906	1970	1079	669	583	543	501	392	154
	0.80	90	70	90	8192	19959	4672	3142	1545	834	723	670	615	477	187
		50	90	90	8171	19595	4296	2919	1484	828	721	672	618	479	188
		70	90	70	8403	19816	4456	3018	1539	870	766	709	653	506	198
		90	90	50	8410	19646	4250	2885	1515	872	765	716	661	513	200
				Eav	8294	19754	4419	2991	1521	851	744	692	637	494	193
	0.90	90	90	90	8420	19661	4265	2894	1514	875	766	718	662	514	201

ตารางที่ 10 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันออกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มีนาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันออก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มีนาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	980	1260	1079	751	533	413	361	341	322	259	113
	0.20	10	10	50	1017	1335	1147	787	542	416	364	343	324	261	118
		30	10	30	1046	1384	1192	815	556	421	366	346	326	263	115
		50	10	10	1020	1329	1144	794	558	419	366	346	326	262	114
		10	30	10	1040	1331	1137	790	558	432	379	359	339	272	119
				Eav	1031	1345	1155	797	554	422	369	349	329	265	117
	0.30	10	10	90	1056	1411	1217	284	551	420	366	346	326	2.62	114
		30	10	70	1141	1570	1359	904	578	428	373	352	331	266	116
		50	10	50	1171	1521	1406	933	592	431	376	354	334	268	117
		70	10	30	1144	1563	1355	911	594	430	375	354	333	268	117
		90	10	10	1062	1398	1210	839	583	425	371	135	330	266	116
		10	30	50	1109	1464	1259	855	573	438	384	363	343	276	120
		30	30	30	1143	1509	1299	883	591	444	389	368	347	279	122
		50	30	10	1111	1432	1229	852	592	444	390	369	349	280	122
		10	50	10	1117	1418	1209	838	587	454	400	380	359	288	126
				Eav	1117	1476	1283	811	582	435	380	336	339	244	119
	0.40	50	10	90	1335	1935	1685	1081	629	445	386	364	342	275	120
		70	10	70	1367	1990	1735	1112	645	448	90	367	345	277	121
		90	10	50	1337	1926	1680	1088	646	47	389	366	344	277	121
		10	30	90	1183	1604	1388	925	591	45	389	368	347	279	122
		30	30	70	1290	1782	1545	1016	626	457	399	377	356	286	125
		50	30	50	1328	1823	1589	1046	642	463	405	383	361	290	126
		70	30	30	1292	1749	1514	1011	644	463	406	384	362	291	127
		90	30	10	1186	1538	1362	918	629	457	402	380	359	289	126
		10	50	50	1232	1627	1401	944	615	465	409	388	366	294	128
		30	50	30	1274	1669	1436	970	634	474	417	396	374	301	131
		50	50	10	1232	1563	1339	926	637	476	420	399	377	303	132
		10	70	10	1219	1528	1300	901	624	482	426	406	384	308	134
				Eav	1273	1728	1498	995	630	394	378	382	360	289	126
	0.50	90	10	90	1650	2518	2202	1365	717	472	409	384	360	289	126
		50	30	90	1575	2281	1990	1263	700	485	425	398	375	301	131
		70	30	70	1616	2336	2037	1295	720	491	429	404	380	306	133
		90	30	50	1576	2245	1956	1258	719	491	429	405	381	306	134
		10	50	90	1363	1856	1613	1062	648	477	419	397	374	301	131
		30	50	70	1503	2066	1795	1170	688	496	435	412	388	312	136
		50	50	50	1549	2115	1835	1199	712	506	444	421	397	319	139
		70	50	30	1501	1998	1728	1149	711	507	447	424	400	322	140
		90	50	10	1361	1724	1482	1024	692	501	443	421	398	320	139
		10	70	50	1406	1841	1590	1063	668	501	442	420	397	319	139
		30	70	30	1457	1879	1617	1088	695	515	455	433	409	329	143
		50	70	10	1400	1737	1485	1026	695	519	460	438	415	333	145
		10	90	10	1359	1670	1418	983	672	519	460	439	416	334	145
				Eav	1486	2020	1750	1150	695	498	438	415	392	315	137
	0.60	90	30	90	2051	3085	2696	1659	830	532	463	435	408	328	143
		50	50	90	2716	3971	3467	2125	1010	628	548	516	486	389	169
		70	50	70	1992	2829	2468	1560	830	553	485	458	432	346	151
		90	50	50	1935	2696	2348	1501	826	554	487	461	435	349	152
		10	70	90	1631	2209	1925	1258	728	523	460	437	412	331	144
		30	70	70	1821	2467	2146	1391	781	550	485	460	434	349	152
		50	70	50	1880	2512	2183	1420	812	566	500	475	449	360	156
		70	70	30	1811	2350	2031	1345	807	570	505	481	454	365	159
		90	70	10	1617	1984	1702	1174	779	562	500	477	452	363	158
		10	90	50	1664	2143	1851	1233	746	550	487	464	439	352	153
		30	90	30	1728	2174	1870	1257	780	571	507	484	458	368	160
		50	90	10	1647	1980	1688	1167	775	578	515	493	467	375	163
				Eav	1874	2533	2198	1424	809	561	495	470	444	356	155
	0.70	90	50	90	2711	3963	3460	2122	1013	626	547	516	485	388	169
		50	70	90	2544	3537	3090	1945	698	632	556	526	496	397	172
		70	70	70	2618	3600	3136	1980	1006	651	573	544	513	411	178
		90	70	50	2525	3398	2952	1886	995	655	578	550	519	416	181
		10	90	90	2072	2745	2404	1546	855	592	523	497	469	376	163
		30	90	70	2348	3087	2690	1739	928	636	563	536	506	406	176
		50	90	50	2428	3132	2718	1768	970	660	587	560	529	424	184
		70	90	30	2318	2893	2496	1654	956	666	594	568	538	432	187
		90	90	10	2023	2378	2034	1407	911	655	587	564	535	429	186
				Eav	2399	3193	2776	1783	926	641	568	540	510	409	177
	0.80	90	70	90	3999	5568	4840	2973	1344	801	705	667	627	501	217
		50	90	90	3710	4915	4290	2706	1290	794	702	668	629	504	217
		70	90	70	3850	5026	4366	2757	1328	833	740	705	665	532	230
		90	90	50	3644	4652	4025	2573	1313	834	744	712	672	538	232
				Eav	3801	5040	4380	2752	1319	816	723	688	648	519	224
	0.90	90	90	90	7353	9515	8205	5058	2177	1244	1102	1049	987	784	336

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันออกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 เมษายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันออก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 เมษายน (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	1103	1196	964	688	500	400	356	340	323	262	120
	0.20	10	10	50	1159	1281	1032	723	504	403	358	342	325	263	121
		30	10	30	1197	1334	1075	750	515	406	361	345	328	265	122
		50	10	10	1155	1268	1026	730	520	405	360	345	327	265	121
		10	30	10	1163	1247	1007	719	522	418	373	358	340	275	126
				Eav	1169	1283	1035	731	515	408	363	348	330	267	123
	0.30	10	10	90	1216	1368	1102	758	509	406	361	345	327	265	121
		30	10	70	1338	1546	1246	835	526	414	367	351	332	269	123
		50	10	50	1378	1600	1286	863	537	417	370	353	335	271	124
		70	10	30	1334	1532	1235	842	542	416	370	353	335	271	124
		90	10	10	1208	1343	1090	773	541	411	365	349	332	269	123
		10	30	50	1264	1398	1128	781	530	423	378	362	344	278	127
		30	30	30	1300	1439	1161	806	544	429	383	367	349	282	129
		50	30	10	1241	1343	1088	775	551	430	384	368	350	283	130
		10	50	10	1236	1309	1058	757	548	439	394	378	360	292	133
				Eav	1279	1431	1155	799	536	421	375	358	340	276	126
	0.40	50	10	90	1619	1956	1563	1007	555	430	381	363	343	278	127
		70	10	70	1662	2016	1611	1036	567	434	384	365	346	280	128
		90	10	50	1613	1940	1556	1012	572	432	382	365	346	280	128
		10	30	90	1371	1558	1256	848	539	432	382	367	348	282	129
		30	30	70	1510	1741	1406	934	561	442	393	376	357	289	132
		50	30	50	1553	1795	1444	961	576	448	399	982	362	293	134
		70	30	30	1488	1690	1364	926	583	448	400	383	363	294	135
		90	30	10	1326	1446	1175	834	581	442	395	379	360	292	134
		10	50	50	1397	1544	1248	857	562	450	403	386	367	297	136
		30	50	30	1435	1574	1271	879	582	459	411	395	375	304	139
		50	50	10	1353	1438	1167	833	590	461	414	398	379	306	140
		10	70	10	1331	1389	1123	804	581	466	420	404	385	312	142
				Eav	1472	1674	1349	911	571	445	397	430	361	292	134
	0.50	90	10	90	2073	2608	2071	1280	606	457	403	383	362	292	134
		50	30	90	1906	2300	1839	1170	605	469	416	397	376	304	139
		70	30	70	1948	2348	1180	1198	621	475	422	403	382	309	141
		90	30	50	1880	2237	1795	1160	628	475	422	404	383	309	142
		10	50	90	1577	1803	1458	970	578	461	412	395	376	304	139
		30	50	70	1752	2021	1626	1069	608	479	428	410	390	315	144
		50	50	50	1788	2051	1653	1092	628	489	438	420	355	322	149
		70	50	30	1701	1904	1538	1040	637	490	440	442	402	325	149
		90	50	10	1484	1582	1287	916	635	484	436	420	399	323	148
		10	70	50	1582	1741	1407	958	604	484	435	418	398	322	147
		30	70	30	1612	1749	1416	975	629	497	448	431	411	332	152
		50	70	10	1505	1591	1270	909	640	501	453	437	416	337	154
		10	90	10	1452	1490	1207	866	623	501	453	438	418	338	154
				Eav	1712	1956	1519	1046	619	482	431	415	390	318	146
	0.60	90	30	90	2553	3180	2525	1549	684	515	456	438	410	331	152
		50	50	90	2317	2778	2228	1407	675	524	467	447	423	342	156
		70	50	70	2378	2832	2266	1345	698	535	477	457	433	350	160
		90	50	50	2261	2651	2130	1370	707	536	479	466	436	353	161
		10	70	90	1886	2154	1741	1144	635	506	454	436	414	335	153
		30	70	70	2089	2393	1934	1263	624	532	478	459	436	352	161
		50	70	50	2141	2422	1951	1282	702	547	492	474	450	364	166
		70	70	30	2001	2200	1781	1201	714	551	497	479	456	369	168
		90	70	10	1713	1775	1444	1031	711	543	432	475	453	367	167
		10	90	50	1837	2002	1627	1102	662	532	480	463	440	356	162
		30	90	30	1876	2000	1619	1111	695	552	499	482	439	371	169
		50	90	10	1714	1740	1415	1014	710	559	507	492	469	379	173
				Eav	2064	2344	1888	1235	685	536	477	464	438	356	162
	0.70	90	50	90	3324	4062	3225	1972	804	607	535	575	488	393	179
		50	70	90	2983	3502	2830	1781	784	610	546	524	497	401	183
		70	70	70	3064	3576	2861	1808	819	630	565	543	515	416	189
		90	70	50	2873	3294	2648	1701	830	632	569	548	521	420	192
		10	90	90	2366	2674	2168	1417	717	547	516	497	472	381	174
		30	90	70	2635	2968	2407	1567	775	613	553	533	507	409	186
		50	90	50	2700	2988	2410	1580	817	639	578	558	531	429	195
		70	90	30	2479	2656	2152	1452	832	644	585	567	541	437	199
		90	90	10	2062	2068	1683	1205	823	632	577	561	536	433	197
				Eav	2721	3088	2487	1609	800	617	558	545	512	413	188
	0.80	90	70	90	4728	5607	4461	2733	1017	771	691	662	627	505	229
		50	90	90	4287	4904	3931	2473	989	772	695	668	634	511	232
		70	90	70	4237	4859	3917	2467	984	767	691	665	631	509	231
		90	90	50	4045	4480	3588	2305	1058	809	734	710	676	546	247
				Eav	4324	4963	3974	2495	1012	780	703	676	642	518	235
	0.90	90	90	90	8315	9416	7460	4596	1546	1183	1070	1030	976	782	353

ตารางที่ 12 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันออกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 พฤษภาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันออก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 พฤษภาคม (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	13886	24435	942	673	497	401	358	342	324	266	136
	0.20	10	10	50	13936	24507	1004	704	503	404	360	344	326	268	137
		30	10	30	13975	24555	1044	729	514	407	363	346	328	270	138
		50	10	10	13937	24502	1002	712	516	406	363	346	328	270	138
		10	30	10	13985	24504	989	704	519	419	375	359	341	280	143
				Eav	13958	24517	1010	712	513	409	365	349	331	272	139
	0.30	10	10	90	13988	24581	1067	735	510	407	363	346	328	270	137
		30	10	70	14104	24733	1193	805	530	415	369	352	333	274	140
		50	10	50	14143	24783	1235	831	541	418	372	355	336	276	141
		70	10	30	14108	24728	1190	813	543	417	372	354	336	276	141
		90	10	10	13997	24572	1062	753	535	412	368	351	332	273	139
		10	30	50	14078	24633	1098	759	531	425	380	363	345	283	144
		30	30	30	14123	24677	1132	783	544	430	385	369	350	287	146
		50	30	10	14082	24604	1069	758	547	431	386	370	351	288	147
		10	50	10	14105	24589	1045	742	545	441	396	380	361	297	151
				Eav	14081	24656	1121	775	536	422	377	360	341	280	143
	0.40	50	10	90	14362	25082	1485	955	569	431	383	364	344	283	144
		70	10	70	14404	25135	1529	985	581	435	386	367	347	285	145
		90	10	50	14366	25076	1481	966	582	433	385	366	346	285	145
		10	30	90	14175	24768	1213	819	544	431	385	368	349	287	146
		30	30	70	14319	24940	1353	897	570	443	396	378	358	294	150
		50	30	50	14366	24987	1390	923	584	449	401	383	363	298	152
		70	30	30	14322	24909	1322	894	586	449	402	384	364	299	152
		90	30	10	14184	24709	1155	815	577	443	398	381	362	297	151
		10	50	50	14256	24792	1218	831	566	451	405	388	368	303	154
		30	50	30	14310	24832	1245	854	583	460	414	396	376	309	157
		50	50	10	14260	24732	1157	816	586	462	416	399	380	312	159
		10	70	10	14257	24697	1118	790	578	468	422	406	386	317	161
				Eav	14298	24888	1306	879	576	446	399	382	362	297	151
	0.50	90	10	90	14782	25639	1947	1204	636	458	406	384	363	297	152
		50	30	90	14687	25415	1749	1109	627	470	419	399	377	310	158
		70	30	70	14322	24909	1322	894	586	449	402	384	364	299	152
		90	30	50	14691	25382	1715	1104	644	476	425	406	384	315	161
		10	50	90	14426	25016	1410	932	590	463	415	397	377	309	157
		30	50	70	14601	25214	1567	1023	623	480	431	412	391	321	163
		50	50	50	14669	25262	1600	1048	642	490	440	421	400	328	167
		70	50	30	14605	25150	1500	1005	644	492	443	425	403	331	168
		90	50	10	14432	24890	1279	897	631	485	438	421	400	329	167
		10	70	50	14491	24997	1378	928	612	485	437	420	399	328	167
		30	70	30	14564	25039	1396	948	634	499	450	433	412	338	172
		50	70	10	14495	24904	1272	893	638	503	455	439	418	343	174
		10	90	10	14456	24833	1212	843	621	503	456	440	419	339	175
				Eav	14555	25127	1488	987	625	481	432	414	393	322	164
	0.60	90	30	90	15303	26180	2377	1451	726	516	458	435	411	337	172
		50	50	90	15162	25890	2128	1331	713	525	470	448	425	348	177
		70	50	70	15227	25944	2164	1357	731	536	480	459	435	357	181
		90	50	50	15163	25819	2051	1306	733	537	482	461	438	359	183
		10	70	90	14769	25352	1684	1095	658	507	456	437	415	340	173
		30	70	70	15018	25599	1874	1207	701	534	480	461	437	359	182
		50	70	50	15091	25544	1897	1228	724	549	495	476	452	371	188
		70	70	30	15017	25490	1754	1162	726	552	500	481	457	376	191
		90	70	10	14776	25147	1455	1014	708	545	495	478	455	374	190
		10	90	50	14830	25291	1602	1066	678	533	482	464	442	363	184
		30	90	30	14912	25323	1608	1081	705	554	502	485	461	379	192
		50	90	10	14825	25138	1435	1000	709	560	510	493	470	386	196
				Eav	15008	25560	1836	1192	709	537	484	465	442	362	184
	0.70	90	50	90	16121	27012	3046	1841	870	607	542	517	488	400	203
		50	70	90	15906	26618	2717	1682	847	613	550	527	499	409	208
		70	70	70	15992	26676	2746	1707	872	631	568	545	516	423	215
		90	70	50	15899	26489	2573	1622	874	634	572	550	523	429	218
		10	90	90	15302	25871	2099	1349	754	574	518	498	473	388	197
		30	90	70	15660	26197	2343	1495	821	617	557	536	509	418	212
		50	90	50	15640	26191	2339	1494	818	615	557	536	509	417	212
		70	90	30	15645	26015	2146	1409	835	646	588	569	542	445	226
		90	90	10	15295	25530	1723	1191	823	635	581	564	538	442	224
				Eav	15718	26289	2415	1532	835	619	559	538	511	419	213
	0.80	90	70	90	17660	28531	4263	2560	1142	777	698	667	631	516	262
		50	90	90	17229	27927	3770	2320	1090	770	695	668	634	519	262
		70	90	70	17444	28035	3814	2357	1143	808	733	705	669	548	277
		90	90	50	17202	27683	3495	2187	1128	809	737	712	677	554	280
				Eav	17384	28044	3836	2356	1126	791	716	688	653	534	270
	0.90	90	90	90	21452	32229	7222	4328	1813	1206	1092	1050	994	810	451

ตารางที่ 13 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันออกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มิถุนายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันออก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความส่วางจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มิถุนายน (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	13233	23605	967	690	509	408	362	344	327	275	157
	0.20	10	10	50	13277	23672	1027	722	514	411	365	346	329	277	158
		30	10	30	13312	23718	1067	748	524	415	368	349	331	279	159
		50	10	10	13286	23671	1026	731	529	414	367	348	331	270	159
		10	30	10	13348	23687	1020	724	532	427	380	361	344	290	165
				Eav	13306	23687	1035	731	525	417	370	351	334	279	160
	0.30	10	10	90	13322	23741	1088	755	518	415	367	348	331	279	159
		30	10	70	13423	23883	1212	827	535	423	374	354	336	283	161
		50	10	50	13460	23932	1254	854	546	426	377	357	339	285	162
		70	10	30	13432	23883	1211	835	551	425	376	357	338	285	162
		90	10	10	13339	23739	1086	772	549	420	372	353	335	282	161
		10	30	50	13427	23806	1126	782	540	433	385	366	348	293	167
		30	30	30	13476	23853	1163	807	554	439	390	371	353	297	169
		50	30	10	13447	23789	1104	781	560	439	391	372	354	298	169
		10	50	10	13488	23786	1085	766	559	449	401	382	364	307	174
				Eav	13424	23824	1148	798	546	430	381	362	344	290	165
	0.40	50	10	90	13647	24209	1496	985	564	440	388	366	366	347	292
		70	10	70	13688	24261	1541	1014	576	443	391	369	350	294	167
		90	10	50	13656	24208	1495	994	580	442	390	369	350	294	167
		10	30	90	13514	23932	1239	844	549	439	390	370	352	296	169
		30	30	70	13643	24097	1378	925	571	451	401	380	361	304	173
		50	30	50	13696	24148	1418	953	586	458	406	385	366	308	175
		70	30	30	13663	24080	1354	923	592	458	407	387	367	309	176
		90	30	10	13552	23898	1192	841	591	452	403	383	364	307	175
		10	50	50	13620	23976	1254	859	573	460	410	390	371	313	178
		30	50	30	13684	24024	1286	884	591	469	418	399	380	320	182
		50	50	10	13651	23939	1204	845	600	471	421	402	383	323	183
		10	70	10	13663	23910	1169	820	592	476	427	408	390	320	186
				Eav	13640	24057	1336	907	580	455	404	384	367	311	185
	0.50	90	10	90	14014	24730	1948	1240	616	467	411	387	366	307	175
		50	30	90	13977	24547	1768	1147	615	479	424	401	381	320	182
		70	30	70	14031	24602	1810	1176	631	486	430	407	386	325	185
		90	30	50	13996	24528	1741	1143	637	485	430	408	387	326	185
		10	50	90	13766	24182	1440	964	589	472	420	399	380	320	182
		30	50	70	13943	24379	1602	1061	619	490	436	414	394	332	189
		50	50	50	14010	24437	1638	1087	639	500	446	424	403	339	193
		70	50	30	13975	24344	1547	1043	648	501	448	427	406	342	194
		90	50	10	13832	24109	1335	932	646	495	444	424	404	340	193
		10	70	50	13876	24199	1425	964	616	495	443	422	402	399	193
		30	70	30	13956	24249	1450	986	640	508	456	436	415	350	199
		50	70	10	13920	24137	1337	932	652	512	460	441	421	355	201
		10	90	10	13888	24076	1280	890	635	512	461	442	422	356	202
				Eav	13937	24348	1563	1043	629	492	439	418	397	339	190
	0.60	90	30	90	14528	25732	2386	1502	693	526	464	438	415	349	198
		50	50	90	14449	25026	2156	1382	687	535	476	451	428	360	205
		70	50	70	14524	25088	2196	1411	709	546	486	462	439	369	209
		90	50	50	14482	24986	2093	1359	718	548	488	464	441	371	211
		10	70	90	14120	24533	1725	1139	644	517	461	440	418	352	200
		30	70	70	14365	24783	1921	1258	687	544	486	463	441	371	211
		50	70	50	14456	24844	1952	1282	714	559	501	479	456	384	218
		70	70	30	14412	24715	1822	1216	726	563	506	484	461	388	220
		90	70	10	14220	24403	1536	1062	722	555	500	480	459	387	219
		10	90	50	14230	24512	1661	1115	675	543	488	467	446	375	213
		30	90	30	14338	24568	1684	1133	708	564	508	487	465	392	222
		50	90	10	14292	24416	1527	1052	723	570	516	496	474	399	226
				Eav	14368	24801	1888.3	1242.6	700.5	547.5	490	467.58	445.25	374.75	212.67
	0.70	90	50	90	15332	26111	3067	1917	814	619	549	520	493	414	234
		50	70	90	15187	25768	2745	1756	800	624	557	530	503	423	240
		70	70	70	15294	25844	2799	1785	831	643	575	548	521	438	248
		90	70	50	15237	25687	2642	1699	844	647	579	553	527	443	251
		10	90	90	14658	25067	2151	1411	728	585	524	500	477	401	227
		30	90	70	15017	25405	2409	1586	791	628	564	539	514	432	245
		50	90	50	15147	25475	2437	1590	830	652	588	563	537	452	256
		70	90	30	15084	25288	2248	1486	845	658	595	572	546	460	261
		90	90	10	14803	24850	1844	1261	839	646	587	567	543	457	259
				Eav	15084	25499	2482	1610	814	634	569	544	518	436	247
	0.80	90	70	90	16827	27635	4303	2681	1039	792	706	671	637	534	302
		50	90	90	16496	27099	3835	2438	1001	784	703	672	639	537	303
		70	90	70	16737	27240	3904	2483	1061	823	741	709	675	567	320
		90	90	50	16571	26936	3604	2309	1072	824	746	716	683	574	324
				Eav	16658	27228	3912	2478	1043	806	724	692	659	553	312
	0.90	90	90	90	20492	31346	7319	4560	1595	1228	1104	1056	1004	839	469

ตารางที่ 14 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันออกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 ธันวาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันออก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 ธันวาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	5212	14002	982	705	517	413	361	326	275	171	0
	0.20	10	10	50	5223	14034	1018	724	521	416	364	328	277	172	0
		30	10	30	5238	14064	1047	244	530	420	367	331	279	173	0
		50	10	10	5238	14049	1029	738	533	419	366	330	278	173	0
		10	30	10	5339	14138	1081	763	543	434	380	343	289	180	0
				Eav	5260	14071	1044	617	532	422	369	333	281	175	0
	0.30	10	10	90	5234	14067	1054	744	525	419	366	330	278	173	0
		30	10	70	5266	14144	1134	791	540	427	373	336	283	176	0
		50	10	50	5283	14176	1165	812	549	431	375	338	285	177	0
		70	10	30	5283	14159	1146	805	552	430	375	338	285	177	0
		90	10	10	5266	14097	1077	772	550	425	371	335	282	175	0
		10	30	50	5362	14199	1147	799	551	440	385	348	293	182	0
		30	30	30	5397	14245	1187	825	563	446	390	353	297	185	0
		50	30	10	5410	14236	1168	820	569	447	392	354	298	185	0
		10	50	10	5491	14304	1202	832	574	459	403	364	307	191	0
				Eav	5332	14181	1142	800	553	436	381	344	290	180	0
	0.40	50	10	90	5331	14311	1310	890	565	443	386	347	292	182	0
		70	10	70	5348	14344	1343	912	575	447	389	350	294	183	0
		90	10	50	5347	14327	1323	905	578	446	388	349	294	183	0
		10	30	90	5387	14263	1216	837	559	446	390	352	296	184	0
		30	30	70	5447	14371	1320	899	579	458	400	361	304	189	0
		50	30	50	5484	14421	1363	927	593	465	406	366	308	192	0
		70	30	30	5496	14409	1342	921	599	466	407	368	309	192	0
		90	30	10	5484	14339	1260	881	597	461	404	365	307	191	0
		10	50	50	5536	14405	1309	893	588	469	411	372	313	194	0
		30	50	30	5595	14474	1363	929	605	497	420	380	320	199	0
		50	50	10	5624	14471	1344	924	615	483	424	383	323	200	0
		10	70	10	5677	14507	1354	921	613	490	431	390	329	204	0
				Eav	5480	14387	1321	903	589	464	405	365	307	191	0
	0.50	90	10	90	5440	14583	1595	1053	610	469	407	366	307	191	0
		50	30	90	5568	14628	1580	1048	620	485	423	381	320	199	0
		70	30	70	5608	14682	1626	1079	634	492	430	387	325	202	0
		90	30	50	5620	14668	1603	1070	640	493	430	388	326	202	0
		10	50	90	5585	14518	1428	961	603	481	421	380	320	199	0
		30	50	70	5684	14671	1566	1043	632	500	437	395	332	206	0
		50	50	50	5749	14746	1625	1083	652	511	448	404	340	211	0
		70	50	30	5777	14741	1603	1077	661	514	450	407	343	213	0
		90	50	10	5770	14656	1501	1026	660	509	447	405	341	211	0
		10	70	50	5758	14673	1525	1019	636	508	46	403	340	211	0
		30	70	30	5851	14770	1598	1068	662	523	460	416	351	217	0
		50	70	10	5899	14775	1578	1064	674	529	466	422	356	220	0
		10	90	10	5899	14776	1578	1064	675	529	466	422	356	220	0
				Eav	5708	14684	1570	1050	643	503	410	398	335	208	0
	0.60	90	30	90	5787	15062	2007	1296	692	532	463	416	349	217	0
		50	50	90	5902	15073	1959	1274	679	545	476	429	361	224	0
		70	50	70	5907	15161	2028	1319	720	558	488	440	369	229	0
		90	50	50	6004	15150	1999	1309	729	560	491	443	372	231	0
		10	70	90	5857	14868	1724	1136	665	530	464	420	353	219	0
		30	70	70	6012	1564	1913	1253	707	558	490	442	372	230	0
		50	70	50	6119	15198	1999	1308	736	576	505	457	384	238	0
		70	70	30	6167	15198	1972	1302	749	582	512	463	390	241	0
		90	70	10	6160	15090	1841	1233	747	575	507	460	388	240	0
		10	90	50	6063	15036	1826	1205	704	561	494	447	376	233	0
		30	90	30	6205	15178	1928	1272	739	584	515	467	393	243	0
		50	90	10	6276	15191	1907	1269	758	594	525	476	401	248	0
				Eav	6038	13981	1925	1265	719	563	494	447	376	233	0
	0.70	90	50	90	6324	15800	2645	1678	823	631	550	495	415	257	0
		50	70	90	6415	15752	2546	1632	819	639	560	505	424	262	0
		70	70	70	6546	15893	2654	1699	855	661	580	524	440	272	0
		90	70	50	6592	15880	2610	1684	868	667	586	529	445	275	0
		10	90	90	6265	15389	2173	1415	759	603	530	479	403	249	0
		30	90	70	6514	15711	2449	1586	823	648	570	515	433	268	0
		50	90	50	6687	15888	2578	1670	867	677	596	540	454	281	0
		70	90	30	6760	15866	2539	1658	885	686	606	550	462	286	0
		90	90	10	6744	15732	2354	1558	879	677	600	545	459	284	0
				Eav	6539	15768	2505	1620	842	654	575	520	437	270	0
	0.80	90	70	90	7284	17100	3773	2372	1057	809	708	638	535	330	0
		50	90	90	7357	16976	3606	2296	1044	813	715	645	541	334	0
		70	90	70	7575	17200	3773	2405	1101	850	748	677	568	350	0
		90	90	50	7655	17183	3713	2377	1123	850	759	688	578	357	0
				Eav	7468	17115	3716	2363	1081	831	733	662	556	343	0
	0.90	90	90	90	9649	20234	6513	4081	1634	1250	1103	995	832	510	0

ตารางที่ 15 แสงธรรมชาติทางทิศใต้ที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มกราคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศใต้	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มกราคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	408	725	965	1040	988	999	1053	971	727	403	72
	0.20	10	10	50	410	739	999	1091	1057	1067	1104	1006	741	405	73
		30	10	30	418	757	1029	1129	1102	1112	1141	1036	759	413	73
		50	10	10	422	756	1011	1096	1052	1062	1109	1018	758	417	73
		10	30	10	486	826	1064	1113	1036	1047	1129	1072	829	480	78
				Eav	434	770	1026	1107	1062	1072	1121	1033	772	429	74
	0.30	10	10	90	413	754	1035	1144	1129	1138	1156	1141	755	408	73
		30	10	70	425	793	1114	1257	1272	1279	1266	1120	793	419	74
		50	10	50	433	812	1144	1294	1317	1325	1304	1151	812	427	75
		70	10	30	437	810	1126	1261	1266	1274	1271	1132	810	431	75
		90	10	10	437	788	1059	1153	1117	1127	1166	1065	789	431	75
		10	30	50	493	855	1130	1209	1162	1170	1221	1136	857	486	79
		30	30	30	513	888	1167	1246	1195	1206	1261	1176	891	506	80
		50	30	10	527	897	1151	1203	1122	1133	1219	1158	857	519	81
		10	50	10	580	950	1183	1125	1093	1106	1224	1193	954	571	85
				Eav	473	839	1123	1210	1186	1195	1232	1141	835	466	77
	0.40	50	10	90	445	871	1287	1507	1601	1606	1513	1292	869	438	77
		70	10	70	453	891	1318	1546	1648	1654	1553	1324	889	447	78
		90	10	50	457	889	1299	1511	1594	1600	1518	1304	887	451	78
		10	30	90	501	885	1196	1304	1289	1299	1318	1203	886	493	80
		30	30	70	528	949	1302	1441	1450	1455	1448	1306	949	520	82
		50	30	50	549	984	1340	1477	1483	1493	1491	1384	985	540	84
		70	30	30	563	993	1322	1434	1408	1416	1466	1329	994	554	84
		90	30	10	570	972	1241	1296	1212	1224	1314	1249	975	561	84
		10	50	50	595	1002	1294	1360	1294	1300	1371	1298	1004	585	86
		30	50	30	631	1056	1342	1394	1313	1326	1416	1352	1060	620	89
		50	50	10	651	1077	1326	1343	1212	1225	1362	1335	1082	645	96
		10	70	10	695	1108	1336	1316	1166	1181	1339	1347	1114	683	93
				Eav	553	973	1300	1411	1389	1398	1426	1310	975	545	84
	0.50	90	10	90	480	1001	1565	1907	2122	2123	1907	1570	996	472	81
		50	30	90	575	1083	1552	1785	1888	1894	1794	1560	1082	565	87
		70	30	70	598	1123	1605	1841	1941	1941	1843	1607	1122	587	89
		90	30	50	612	1129	1575	1779	1844	1852	1791	1584	1129	601	89
		10	50	90	613	1060	1416	1528	1516	1514	1532	1416	1062	602	88
		30	50	70	661	1156	1541	1679	1676	1686	1694	1551	1158	649	92
		50	50	50	701	1219	1608	1738	1718	1722	1746	1612	1220	688	95
		70	50	30	727	1237	1569	1662	1591	1604	1682	1599	1241	713	96
		90	50	10	742	148	1483	1493	1342	1355	1515	1493	1224	728	97
		10	70	50	725	1197	1502	1546	1458	1471	1567	1513	1202	712	96
		30	70	30	784	1283	1583	1604	1480	1485	1620	1589	1288	768	100
		50	70	10	824	1317	1558	1326	1344	1546	1571	1325	1288	808	102
		10	90	10	840	1315	1539	1474	1265	1281	1499	1550	1322	824	103
				Eav	683	1098	1546	1643	1630	1652	1674	1536	1180	671	93
	0.60	90	30	90	662	1316	1971	2350	2350	2593	2353	1979	1311	649	95
		50	50	90	754	1388	1944	2205	2320	2310	2199	1941	1387	739	101
		70	50	70	796	1452	1995	2244	2336	2343	2253	2005	1453	780	104
		90	50	50	826	1475	1980	2184	2219	2219	2188	1982	1476	809	105
		10	70	90	762	1304	1699	1816	1800	1810	1833	1710	1307	747	100
		30	70	70	846	1457	1904	2042	2027	2022	2043	1902	1460	828	106
		50	70	50	908	1548	1969	2078	2024	2037	2100	1982	1554	889	111
		70	70	30	954	1588	1958	2002	1870	1878	2018	1962	1595	933	113
		90	70	10	975	1562	1818	1757	1515	1535	1788	1833	1572	954	114
		10	90	50	903	1474	1818	1841	1714	1715	1850	1818	1479	884	109
		30	90	30	988	1595	1903	1880	1692	1711	1910	1918	1604	968	115
		50	90	10	1051	1654	1891	1785	1498	1515	1815	1903	1664	1029	119
				Eav	869	1484	1904	2015	1947	1974	2029	1911	1489	851	108
	0.70	90	50	90	1101	1977	2642	2920	3002	2986	2911	2636	1979	1075	127
		50	70	90	1020	1854	2509	2807	2934	2938	2818	2520	1856	997	121
		70	70	70	1101	1977	2642	2920	3002	2986	2911	2636	1979	1075	127
		90	70	50	1144	2001	2571	2763	2755	2768	2768	2786	2588	1180	130
		10	90	90	984	1683	2177	2316	2289	2269	2303	2164	1686	962	117
		30	90	70	1113	1908	2418	2554	2506	2517	2575	2431	1915	1088	127
		50	90	50	1224	2070	2573	2663	2543	2548	2669	2570	2076	1195	135
		70	90	30	1286	2113	2507	2492	2259	2281	2529	2526	2125	1257	138
		90	90	10	1318	2084	2338	2182	1795	1817	2219	2351	2098	1289	139
				Eav	1149	1961	2467	2587	2510	2516	2599	2498	2040	1130	129
	0.80	90	70	90	1408	2680	3721	4288	4631	4622	4291	3733	2680	1372	155
		50	90	90	1496	2721	3624	4021	4164	4114	3981	3591	2724	1458	159
		70	90	70	1619	2893	3722	4045	4100	4106	4066	3738	2903	1579	168
		90	90	50	1709	2970	3709	3905	3804	3790	3905	3700	2980	1666	174
				Eav	1558	2816	3694	4065	4175	4158	4061	3691	2822	1519	164
	0.90	90	90	90	2517	4789	6437	7322	7806	7780	7313	6442	4798	2448	247

ตารางที่ 16 แสงธรรมชาติทางทิศใต้ที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 กุมภาพันธ์ เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศใต้	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 กุมภาพันธ์ (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	378	610	768	818	797	799	824	782	631	399	120
	0.20	10	10	50	380	621	792	857	844	847	864	806	643	402	121
		30	10	30	388	636	815	887	878	881	894	829	658	410	122
		50	10	10	391	636	806	865	847	850	872	819	657	414	122
		10	30	10	435	682	840	877	836	837	879	853	704	459	131
				Eav	399	644	813	872	851	854	877	827	666	421	124
	0.30	10	10	90	383	632	817	896	894	897	905	830	655	405	121
		30	10	70	395	663	847	983	996	999	991	887	687	417	124
		50	10	50	402	678	898	1013	1029	1034	1023	911	703	425	125
		70	10	30	405	678	888	990	997	1001	999	901	702	429	125
		90	10	10	405	662	844	913	898	901	920	858	685	428	124
		10	30	50	442	705	885	949	923	924	951	898	727	466	132
		30	30	30	458	729	916	979	950	952	983	929	754	485	135
		50	30	10	469	746	907	951	904	905	952	921	760	496	136
		10	50	10	506	765	929	949	882	883	948	943	792	535	143
				Eav	429	695	881	958	941	944	964	898	718	454	129
	0.40	50	10	90	414	724	998	1172	1226	1232	1185	1009	752	438	128
		70	10	70	421	740	1023	1204	1261	1269	1219	1034	769	446	129
		90	10	50	425	739	1011	1180	1227	1233	1193	1023	767	450	130
		10	30	90	448	727	933	1021	1012	1015	1028	946	752	474	134
		30	30	70	473	777	1009	1127	1128	1129	1130	1021	802	500	138
		50	30	50	490	802	1041	1157	1155	1159	1165	1054	831	519	141
		70	30	30	501	809	1031	1128	1107	1109	1130	1044	836	530	143
		90	30	10	505	793	978	1028	978	977	1029	992	819	535	142
		10	50	50	521	808	1006	1068	1023	1021	1065	1018	834	550	146
		30	50	30	549	845	1047	1100	1043	1044	1100	1061	876	582	151
		50	50	10	570	861	1039	1062	978	976	1097	1054	891	603	154
		10	70	10	596	877	1043	1042	942	941	1036	1054	905	631	159
				Eav	493	792	1013	1107	1090	1092	1115	1026	820	522	141
	0.50	90	10	90	447	826	1197	1476	1592	1602	1495	1206	895	474	135
		50	30	90	513	877	1192	1390	1428	1445	1402	1203	911	544	147
		70	30	70	533	910	1229	1435	1479	1482	1441	1240	942	565	150
		90	30	50	544	912	1216	1391	1415	1421	1402	1227	946	577	151
		10	50	90	537	855	1091	1200	1180	1176	1195	1102	879	567	150
		30	50	70	577	921	1189	1313	1298	1302	1318	1202	955	611	157
		50	50	50	611	971	1239	1362	1333	1331	1359	1250	1001	646	162
		70	50	30	630	980	1225	1309	1250	1251	1309	1239	1016	668	165
		90	50	10	640	966	1161	1185	1082	1079	1178	1176	999	679	166
		10	70	50	642	945	1164	1218	1149	1150	1216	1175	978	660	164
		30	70	30	672	1011	1224	1267	1172	1168	1256	1234	1041	711	172
		50	70	10	703	1031	1214	1207	1072	1069	1196	1226	1061	745	177
		10	90	10	714	1027	1193	1166	1024	1018	1155	1207	1058	755	179
				Eav	597	941	1195	1301	1267	1269	1302	1207	976	631	160
	0.60	90	30	90	590	1094	1496	1822	1938	1949	1842	1505	1098	627	162
		50	50	90	660	1104	1476	1723	1760	1756	1720	1485	1138	698	173
		70	50	70	692	1143	1524	1752	1776	1782	1761	1536	1188	735	178
		90	50	50	717	1164	1514	1711	1699	1696	1706	1525	1202	760	175
		10	70	90	656	1028	1306	1426	1398	1399	1430	1318	1065	696	171
		30	70	70	729	1149	1452	1608	1564	1556	1592	1461	1181	771	183
		50	70	50	777	1206	1513	1636	1569	1570	1634	1525	1250	826	192
		70	70	30	816	1239	1507	1583	1468	1460	1566	1517	1276	865	197
		90	70	10	828	1212	1416	1401	1224	1218	1385	1429	1251	880	198
		10	90	50	771	1155	1394	1453	1347	1337	1431	1405	1186	814	189
		30	90	30	828	1235	1470	1487	1342	1337	1474	1484	1277	890	201
		50	90	10	890	1277	1465	1420	1212	1201	1395	1481	1317	944	208
				Eav	746	1167	1461	1585	1525	1522	1578	1473	1202	792	186
	0.70	90	50	90	813	1411	1962	2368	2483	2492	2385	1972	1468	866	202
		50	70	90	886	1462	1918	2236	2257	2242	2214	1925	1504	938	212
		70	70	70	940	1522	1987	2262	2253	2256	2266	1998	1582	1001	222
		90	70	50	984	1562	1977	2203	2134	2122	2181	1986	1609	1044	228
		10	90	90	837	1302	1643	1797	1747	1745	1791	1656	1351	890	202
		30	90	70	937	1494	1861	2050	1966	1947	2016	1871	1535	1014	223
		50	90	50	1035	1582	1950	2076	1949	1945	2064	1964	1641	1102	236
		70	90	30	1096	1636	1943	2001	1797	1780	1965	1957	1684	1163	245
		90	90	10	1109	1589	1808	1735	1446	1434	1703	1825	1641	1179	246
				Eav	960	1507	1894	2081	2004	1996	2065	1906	1557	1022	224
	0.80	90	70	90	1226	2098	2826	3419	3512	3499	3388	2831	2162	1301	275
		50	90	90	1268	2072	2698	3110	3105	3099	3100	2710	2153	1354	280
		70	90	70	1402	2256	2863	3262	3181	3147	3206	2872	2320	1488	301
		90	90	50	1440	2239	2790	3034	2871	2864	3017	2805	2327	1537	307
				Eav	1334	2166	2794	3206	3167	3152	3178	2805	2241	1420	291
	0.90	90	90	90	1458	2279	2818	3093	2910	2893	3044	2829	2347	1550	310

ตารางที่ 17 แสงธรรมชาติทางทิศใต้ที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มีนาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศใต้	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มีนาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	365	520	603	624	615	619	627	599	505	339	122
	0.20	10	10	50	368	526	614	640	637	639	643	610	511	341	122
		30	10	30	373	537	630	659	658	660	661	624	521	346	123
		50	10	10	375	539	629	655	649	652	657	625	523	347	124
		10	30	10	392	561	646	659	644	647	663	643	546	365	130
				Eav	377	541	630	653	647	650	656	626	525	350	125
	0.30	10	10	90	370	533	626	657	658	660	659	621	517	343	123
		30	10	70	379	553	658	707	710	711	700	651	536	351	125
		50	10	50	385	564	673	720	732	732	719	666	546	356	127
		70	10	30	387	566	673	715	723	724	715	665	548	358	127
		90	10	10	385	558	656	686	683	686	689	650	541	357	126
		10	30	50	398	573	667	690	682	684	693	663	557	239	132
		30	30	30	409	590	688	712	704	706	715	683	574	378	134
		50	30	10	412	595	690	707	690	695	711	686	580	383	135
		10	50	10	425	609	699	704	678	682	709	697	594	396	140
				Eav	394	571	670	700	696	698	701	665	555	351	130
	0.40	50	10	90	396	591	721	790	821	819	786	710	571	366	130
		70	10	70	402	603	737	811	844	842	806	726	581	371	131
		90	10	50	404	604	736	805	834	832	801	725	583	373	131
		10	30	90	403	587	691	724	724	725	724	684	570	374	133
		30	30	70	419	616	733	776	748	784	776	725	598	388	137
		50	30	50	429	634	755	800	807	807	800	747	616	398	140
		70	30	30	434	639	756	793	791	793	793	748	621	402	141
		90	30	10	434	632	737	757	740	743	760	732	616	402	140
		10	50	50	435	631	736	755	741	743	758	731	616	404	143
		30	50	30	450	657	765	782	763	767	786	760	640	419	147
		50	50	10	459	666	768	773	742	747	779	765	651	427	149
		10	70	10	466	669	765	761	722	727	768	764	655	435	153
				Eav	428	627	742	777	773	777	778	735	610	397	140
	0.50	90	10	90	425	656	826	938	1001	995	926	808	630	392	137
		50	30	90	448	679	830	908	941	937	901	817	656	415	145
		70	30	70	459	698	853	932	964	961	926	840	675	425	148
		90	30	50	464	702	853	924	946	944	919	841	681	430	149
		10	50	90	446	657	777	813	812	813	814	771	639	415	146
		30	50	70	470	701	837	883	885	885	880	828	682	437	153
		50	50	50	487	728	867	910	908	909	901	859	709	452	157
		70	50	30	496	737	870	900	884	887	902	863	719	461	159
		90	50	10	496	729	845	850	813	818	856	841	713	462	156
		10	70	50	484	709	826	844	820	823	874	822	692	451	158
		30	70	30	507	745	865	876	843	847	881	861	729	472	164
		50	70	10	521	761	872	865	812	818	873	871	746	146	168
		10	90	10	519	753	851	837	779	785	846	850	739	484	168
				Eav	479	712	844	883	878	879	885	836	693	419	154
	0.60	90	30	90	501	787	993	1123	1193	1186	1109	972	759	462	160
		50	50	90	621	998	1265	1426	1503	1493	1405	1236	963	573	195
		70	50	70	540	833	1021	1109	1138	1134	1102	1006	809	500	172
		90	50	50	549	844	1025	1097	1109	1107	1092	1011	820	509	174
		10	70	90	506	756	900	944	941	941	944	892	737	470	164
		30	70	70	544	823	985	1038	1033	1031	1034	974	802	505	174
		50	70	50	569	862	1026	1070	1054	1055	1070	1017	842	529	181
		70	70	30	584	879	1032	1055	1017	1021	1058	1026	860	543	185
		90	70	10	585	867	997	985	917	925	994	995	825	545	185
		10	90	50	553	824	956	974	934	937	977	950	806	515	178
		30	90	30	586	875	1008	1011	955	961	1018	1005	859	546	187
		50	90	10	607	899	1091	994	910	918	1006	1019	885	566	193
				Eav	562	854	1025	1069	1059	1059	1067	1009	831	522	179
	0.70	90	50	90	618	993	1258	1418	1497	1486	1400	1233	961	571	194
		50	70	90	638	1006	1243	1359	1394	1388	1346	1222	976	590	201
		70	70	70	665	1048	1288	1394	1415	1411	1385	1270	1022	617	209
		90	70	50	683	1068	1295	1374	1366	1364	1367	1278	1042	634	213
		10	90	90	596	914	1091	1153	1144	1144	1151	1081	894	555	190
		30	90	70	658	1021	1221	1287	1267	1267	1282	1207	996	611	208
		50	90	50	695	1079	1279	1325	1285	1288	1327	1270	1058	647	218
		70	90	30	720	1106	1291	1302	1226	1231	1307	1284	1087	671	225
		90	90	10	718	1083	1232	1193	1075	1086	1207	1232	1069	671	224
				Eav	666	1035	1244	1312	1297	1296	1308	1231	1012	619	209
	0.80	90	70	90	839	1383	1760	1981	2072	2057	1952	1723	1342	776	257
		50	90	90	839	1367	1696	1860	1894	1886	1842	1670	1336	779	259
		70	90	70	906	1471	1807	1947	1947	1942	1929	1779	1437	840	277
		90	90	50	917	1471	1775	1865	1819	1819	1861	1758	1444	854	280
				Eav	875	1423	1760	1913	1933	1926	1896	1733	1390	812	268
	0.90	90	90	90	1375	2348	3000	3376	3489	3464	3321	2934	2285	1273	410

ตารางที่ 18 แสงธรรมชาติทางทิศใต้ที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 เมษายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศใต้	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 เมษายน (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	350	438	475	484	482	485	486	466	408	292	119
	0.20	10	10	50	352	441	479	488	486	489	489	470	411	294	119
		30	10	30	355	445	483	495	494	497	495	474	414	296	120
		50	10	10	355	444	482	496	497	500	496	473	414	296	120
		10	30	10	371	462	498	506	503	507	508	490	431	310	126
				Eav	358	448	486	496	495	498	497	477	418	299	121
	0.30	10	10	90	354	444	483	492	490	493	493	473	414	296	120
		30	10	70	361	452	492	505	504	507	505	482	421	301	122
		50	10	50	364	456	496	511	513	516	511	486	425	303	123
		70	10	30	364	456	495	512	516	519	512	485	424	303	123
		90	10	10	360	451	489	508	514	516	507	480	420	301	122
		10	30	50	375	468	505	514	511	514	515	496	437	314	128
		30	30	30	381	475	512	523	522	526	524	504	444	319	130
		50	30	10	383	476	513	526	527	530	527	505	445	321	130
		10	50	10	396	490	526	533	529	533	535	518	459	332	135
				Eav	371	463	501	514	514	517	514	492	432	310	126
	0.40	50	10	90	373	469	511	528	531	533	527	500	436	311	126
		70	10	70	377	473	516	535	540	542	534	505	440	314	127
		90	10	50	376	473	514	536	543	545	534	504	440	314	127
		10	30	90	380	474	513	522	519	522	523	504	443	318	129
		30	30	70	391	488	527	539	539	542	540	518	455	327	133
		50	30	50	397	495	534	549	551	554	550	525	462	332	135
		70	30	30	399	496	535	552	555	558	552	526	464	334	136
		90	30	10	396	492	529	547	553	556	547	521	460	332	135
		10	50	50	404	501	538	546	542	546	548	530	469	339	138
		30	50	30	414	513	549	559	558	562	561	541	480	347	142
		50	50	10	419	517	552	564	564	568	566	545	484	351	143
		10	70	10	427	526	560	565	560	565	569	553	493	359	146
				Eav	396	493	532	545	546	549	546	523	461	332	135
	0.50	90	10	90	395	497	543	567	576	578	565	531	462	329	133
		50	30	90	414	516	559	576	579	581	575	548	482	346	140
		70	30	70	421	525	567	586	592	594	586	557	490	352	143
		90	30	50	422	526	567	589	596	599	588	557	491	353	144
		10	50	90	414	514	552	561	557	561	562	543	480	347	141
		30	50	70	431	534	573	585	584	588	587	565	500	361	147
		50	50	50	442	547	586	600	601	605	601	577	512	371	151
		70	50	30	447	551	588	605	608	611	606	580	516	375	153
		90	50	10	444	546	581	598	604	607	600	574	513	373	152
		10	70	50	442	545	581	588	583	587	591	574	511	371	151
		30	70	30	458	562	598	607	604	609	610	591	528	385	157
		50	70	10	466	570	604	614	614	618	617	598	536	392	160
		10	90	10	467	571	604	608	602	607	612	598	538	393	161
				Eav	436	539	577	591	592	596	592	569	505	365	149
	0.60	90	30	90	454	567	614	640	649	652	638	602	528	379	154
		50	50	90	471	583	626	643	646	649	644	617	546	394	160
		70	50	70	484	598	641	661	666	669	661	631	560	405	165
		90	50	50	487	601	643	664	672	675	664	634	564	409	167
		10	70	90	461	569	607	615	611	615	618	599	533	387	158
		30	70	70	487	600	639	650	648	652	652	631	563	409	167
		50	70	50	505	620	659	672	673	677	674	651	583	425	173
		70	70	30	513	627	664	678	681	686	681	657	590	431	176
		90	70	10	511	622	656	672	677	681	675	650	587	431	176
		10	90	50	494	604	641	646	640	645	650	634	569	416	170
		30	90	30	517	631	666	673	669	674	677	660	595	436	178
		50	90	10	529	642	674	683	681	686	687	670	606	446	183
				Eav	493	605	644	658	659	663	660	636	569	414	169
	0.70	90	50	90	547	677	727	755	764	767	752	714	633	458	186
		50	70	90	558	687	731	748	751	755	750	722	645	469	191
		70	70	70	582	714	759	779	784	788	780	749	671	489	199
		90	70	50	588	719	761	782	790	794	784	753	677	494	202
		10	90	90	532	652	692	699	693	698	702	683	613	447	182
		30	90	70	572	699	739	749	746	751	753	732	658	481	196
		50	90	50	603	734	773	785	785	790	789	766	693	508	208
		70	90	30	613	743	779	792	794	800	796	764	702	517	212
		90	90	10	610	736	768	783	787	792	787	765	698	516	212
				Eav	578	707	748	764	766	771	766	739	666	487	199
	0.80	90	70	90	709	870	924	955	967	971	955	914	818	596	242
		50	90	90	726	886	937	954	955	960	953	923	832	609	248
		70	90	70	716	874	922	940	942	948	944	914	824	603	245
		90	90	50	775	937	982	1004	1012	1018	1007	975	887	654	267
				Eav	732	892	941	963	969	974	965	932	840	616	251
	0.90	90	90	90	1110	1351	1491	1458	1469	1477	1460	1408	1273	933	379

ตารางที่ 19 แสงธรรมชาติทางทิศใต้ที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 พฤษภาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศใต้	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 พฤษภาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	334	397	420	423	420	422	424	414	373	280	132
	0.20	10	10	50	336	400	423	426	423	425	428	417	375	282	132
		30	10	30	339	403	427	430	427	429	431	420	378	285	133
		50	10	10	338	403	426	429	426	428	430	420	378	284	133
		10	30	10	353	419	441	442	439	441	445	435	393	297	140
				Eav	342	406	429	432	429	431	434	423	381	287	135
	0.30	10	10	90	338	403	427	429	427	429	431	420	378	284	133
		30	10	70	344	410	435	438	435	437	439	428	384	289	135
		50	10	50	347	414	438	441	439	441	443	431	387	291	137
		70	10	30	347	413	437	440	438	440	442	431	387	291	136
		90	10	10	343	409	432	435	432	434	436	426	383	289	135
		10	30	50	357	424	447	449	445	448	451	441	398	301	141
		30	30	30	363	431	454	455	451	454	457	448	404	306	143
		50	30	10	365	432	455	455	451	454	458	449	406	307	144
		10	50	10	376	445	466	466	462	464	469	461	419	317	149
				Eav	353	420	443	445	442	445	447	437	394	297	139
	0.40	50	10	90	356	425	451	455	453	455	456	444	398	299	140
		70	10	70	359	429	455	459	457	459	460	447	401	301	141
		90	10	50	359	428	454	458	455	457	459	447	401	301	141
		10	30	90	362	430	454	456	452	455	458	448	404	305	143
		30	30	70	372	442	466	468	465	467	470	460	415	313	147
		50	30	50	378	449	473	474	471	473	476	466	421	318	149
		70	30	30	380	450	474	475	471	474	477	468	423	320	150
		90	30	10	377	446	468	464	465	467	471	463	419	317	149
		10	50	50	384	454	477	477	473	475	480	471	428	324	152
		30	50	30	394	465	487	487	482	485	490	482	438	332	156
		50	50	10	398	469	490	489	484	487	492	485	442	336	158
		10	70	10	405	477	497	495	490	493	499	493	450	342	161
				Eav	377	447	471	471	468	471	474	465	420	317	149
	0.50	90	10	90	376	450	479	484	482	484	484	470	421	315	148
		50	30	90	393	468	494	497	494	496	498	487	439	331	155
		70	30	70	380	450	474	475	471	471	477	468	423	320	150
		90	30	50	401	476	502	503	500	502	505	495	447	338	159
		10	50	90	393	466	489	490	486	488	492	483	438	332	156
		30	50	70	409	484	508	508	504	507	511	502	455	345	162
		50	50	50	420	495	519	519	514	517	522	513	466	354	166
		70	50	30	423	499	522	521	515	518	524	516	470	357	168
		90	50	10	421	495	517	514	509	512	516	512	467	356	167
		10	70	50	419	494	516	514	509	512	518	511	466	354	166
		30	70	30	434	510	531	529	523	526	533	527	481	367	172
		50	70	10	440	516	536	532	526	530	537	532	488	373	175
		10	90	10	442	518	537	533	526	530	538	534	490	374	176
				Eav	412	486	510	509	505	507	512	504	458	347	163
	0.60	90	30	90	431	513	542	546	543	545	547	534	481	362	170
		50	50	90	447	528	555	556	552	555	559	548	497	377	177
		70	50	70	458	541	567	568	563	566	571	561	509	386	181
		90	50	50	462	544	570	569	564	567	572	564	513	390	183
		10	70	90	437	515	538	537	532	535	541	533	485	368	173
		30	70	70	462	544	568	566	560	563	569	562	513	390	183
		50	70	50	478	561	584	582	575	579	586	580	530	404	190
		70	70	30	485	568	590	586	579	583	591	586	537	410	193
		90	70	10	482	563	583	577	569	573	583	579	533	408	192
		10	90	50	468	548	570	566	559	562	570	565	518	396	186
		30	90	30	489	572	592	587	579	583	593	589	541	414	195
		50	90	10	500	583	602	594	586	590	601	599	553	424	200
				Eav	467	548	572	570	563	567	574	567	518	394	185
	0.70	90	50	90	516	611	641	643	638	641	645	633	574	435	204
		50	70	90	530	624	652	650	644	647	654	645	588	448	210
		70	70	70	548	644	671	668	661	665	673	665	608	463	213
		90	70	50	557	652	678	673	665	670	679	673	617	471	222
		10	90	90	501	588	612	609	602	606	614	607	556	424	199
		30	90	70	543	636	660	655	648	652	661	655	601	459	216
		50	90	50	541	633	657	653	645	649	658	653	599	457	215
		70	90	30	580	674	696	686	677	681	694	693	640	492	232
		90	90	10	574	665	683	672	662	667	681	682	633	487	230
				Eav	543	636	661	657	649	653	662	656	602	460	216
	0.80	90	70	90	676	795	830	827	819	823	832	821	749	571	268
		50	90	90	676	791	821	815	806	811	822	815	748	572	268
		70	90	70	720	840	870	862	850	856	869	864	796	609	286
		90	90	50	723	841	868	857	844	850	865	864	798	614	288
				Eav	699	817	847	840	830	835	847	841	773	592	278
	0.90	90	90	90	1079	1262	1311	1299	1281	1290	1306	1299	1194	911	422

ตารางที่ 20 แสงธรรมชาติทางทิศใต้ที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มิถุนายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศใต้	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความส่วางจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มิถุนายน (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	320	381	403	405	403	404	407	400	366	287	152
	0.20	10	10	50	322	384	406	408	406	407	409	402	369	289	153
		30	10	30	325	387	409	412	409	410	413	406	372	291	154
		50	10	10	325	386	409	411	408	410	412	405	372	291	154
		10	30	10	339	402	423	424	421	423	426	420	387	304	161
				Eav	328	390	412	414	411	413	415	408	375	294	156
	0.30	10	10	90	324	386	409	411	409	410	413	405	371	291	154
		30	10	70	330	393	416	419	417	418	420	413	378	296	157
		50	10	50	333	396	420	423	420	422	424	416	381	298	158
		70	10	30	332	396	419	422	419	421	423	416	381	298	158
		90	10	10	329	329	414	417	414	415	418	411	377	295	156
		10	30	50	343	407	429	430	427	429	432	426	392	308	163
		30	30	30	348	413	435	436	433	434	438	432	398	313	166
		50	30	10	350	414	436	437	433	435	439	433	399	314	166
		10	50	10	361	427	447	447	443	445	450	445	411	324	172
				Eav	339	396	425	427	424	425	429	422	388	304	161
	0.40	50	10	90	341	407	432	436	434	435	437	428	391	306	162
		70	10	70	344	411	436	439	437	439	440	432	395	309	163
		90	10	50	344	410	435	438	436	437	439	431	394	308	163
		10	30	90	347	412	435	437	434	435	438	432	397	312	165
		30	30	70	357	424	447	449	446	447	450	444	408	320	170
		50	30	50	362	430	453	455	452	453	457	450	414	325	172
		70	30	30	364	431	454	455	452	453	457	451	415	327	173
		90	30	10	361	428	450	450	446	448	462	447	412	325	172
		10	50	50	369	436	458	458	454	456	460	455	420	331	176
		30	50	30	377	446	467	467	463	465	469	465	430	339	180
		50	50	10	381	449	470	469	465	467	472	468	434	342	182
		10	70	10	388	457	478	476	471	473	479	476	442	349	186
				Eav	361	428	451	452	449	451	455	448	413	324	172
	0.50	90	10	90	360	431	458	463	461	462	463	453	414	323	171
		50	30	90	377	448	473	476	473	474	477	470	431	338	179
		70	30	70	383	455	480	482	480	481	484	477	438	344	182
		90	30	50	385	456	481	483	497	481	484	477	439	345	183
		10	50	90	377	447	469	470	466	468	472	467	430	339	180
		30	50	70	392	464	487	488	484	486	490	484	447	353	187
		50	50	50	402	475	498	498	494	495	500	495	458	361	192
		70	50	30	406	479	501	500	495	497	503	499	462	365	194
		90	50	10	403	475	496	494	489	491	497	494	458	363	193
		10	70	50	402	474	495	494	489	491	496	493	457	362	192
		30	70	30	416	489	510	508	503	505	511	508	472	374	199
		50	70	10	422	496	516	513	507	509	516	514	479	380	202
		10	90	10	424	497	517	513	507	509	516	516	481	382	203
				Eav	396	468	491	491	488	488	493	488	451	356	189
	0.60	90	30	90	413	491	519	523	520	521	524	515	472	370	196
		50	50	90	428	507	532	533	529	531	535	529	488	384	204
		70	50	70	439	519	544	545	540	542	547	541	500	394	209
		90	50	50	442	522	537	546	542	543	549	544	504	398	211
		10	70	90	418	494	537	516	511	513	518	514	476	376	199
		30	70	70	442	521	545	543	538	540	546	542	503	398	211
		50	70	50	458	538	562	559	553	555	562	560	520	412	219
		70	70	30	465	545	568	564	557	559	567	566	527	419	223
		90	70	10	462	541	560	555	548	551	559	559	523	416	221
		10	90	50	448	526	548	544	536	540	547	546	508	404	214
		30	90	30	468	549	570	565	558	560	569	569	531	422	224
		50	90	10	479	560	579	573	565	568	577	579	542	432	230
				Eav	447	526	550	547	541	544	550	547	508	402	213
	0.70	90	50	90	494	585	615	616	612	614	618	611	564	444	235
		50	70	90	507	598	626	624	619	621	627	622	577	456	242
		70	70	70	525	618	645	642	636	638	646	642	596	472	250
		90	70	50	533	626	651	647	640	643	651	649	605	480	255
		10	90	90	480	564	588	585	579	581	589	586	545	432	229
		30	90	70	520	610	635	630	623	626	634	632	590	468	249
		50	90	50	543	636	660	654	646	648	658	659	616	489	260
		70	90	30	555	648	670	662	652	655	667	669	528	501	267
		90	90	10	549	639	658	649	639	642	654	659	620	496	264
				Eav	523	614	639	634	627	630	638	637	582	471	250
	0.80	90	70	90	647	762	797	795	787	790	798	792	735	582	308
		50	90	90	646	759	789	784	776	778	789	787	734	582	308
		70	90	70	688	807	837	830	819	823	835	835	780	621	329
		90	90	50	692	808	835	825	814	817	831	834	783	624	332
				Eav	668	784	815	809	799	802	813	812	758	602	319
	0.90	90	90	90	1033	1213	1260	1251	1237	1240	1255	1254	1171	928	487

ตารางที่ 21 แสงธรรมชาติทางทิศใต้ที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 ธันวาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศใต้	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 ธันวาคม (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	490	830	1076	1119	1049	1091	1143	998	689	322	0
	0.20	10	10	50	494	849	1116	1179	1127	1158	1192	1029	699	324	0
		30	10	30	504	870	1149	1220	1174	1201	1229	1056	715	329	0
		50	10	10	509	866	1127	1180	1117	1154	1199	1042	717	332	0
		10	30	10	590	939	1179	1193	1095	1148	1232	1109	801	383	0
				Eav	524	881	1143	1193	1128	1165	1213	1059	733	342	0
	0.30	10	10	90	498	868	1158	1241	1206	1227	1243	1060	709	262	0
		30	10	70	513	916	1246	1366	1362	1365	1350	1132	739	334	0
		50	10	50	523	938	1281	1410	1413	1411	1389	1161	756	340	0
		70	10	30	528	934	1258	1367	1352	1361	1357	1146	758	343	0
		90	10	10	528	902	1179	1243	1187	1220	1257	1088	746	343	0
		10	30	50	600	975	1252	1299	1232	1267	1322	1166	822	388	0
		30	30	30	626	1013	1279	1344	1271	1306	1365	1208	857	403	0
		50	30	10	643	1018	1272	1287	1185	1238	1328	1197	871	413	0
		10	50	10	710	1075	1308	1287	1153	1218	1342	1247	936	456	0
				Eav	574	960	1248	1316	1262	1290	1328	1156	799	365	0
	0.40	50	10	90	539	1016	1445	1653	1726	1684	1591	1287	797	348	0
		70	10	70	550	1039	1482	1702	1781	1734	1632	1318	814	354	0
		90	10	50	555	1034	1456	1654	1716	1680	1598	1302	816	357	0
		10	30	90	610	1015	1335	1419	1380	1394	1416	1227	845	394	0
		30	30	70	646	1089	1445	1559	1545	1547	1547	1325	901	413	0
		50	30	50	673	1130	1495	1609	1589	1590	1594	1370	937	428	0
		70	30	30	691	1134	1466	1546	1496	1516	1553	1357	952	438	0
		90	30	10	698	1102	1372	1389	1281	1333	1430	1291	946	443	0
		10	50	50	731	1139	1427	1456	1365	1406	1486	1343	976	466	0
		30	50	30	777	1200	1488	1504	1393	1440	1537	1402	1035	492	0
		50	50	10	810	1215	1460	1427	1271	1345	1493	1396	1065	511	0
		10	70	10	857	1245	1469	1402	1224	1307	1485	1420	1107	542	0
				Eav	678	1113	1445	1527	1481	1498	1530	1337	933	432	0
	0.50	90	10	90	586	1180	1764	2112	2320	2191	1977	1540	895	373	0
		50	30	90	707	1255	1742	1967	2040	1983	1891	1563	1012	46	0
		70	30	70	736	1298	1785	2008	2079	2028	1941	1610	1050	462	0
		90	30	50	755	1302	1761	1949	1985	1955	1896	1596	1066	473	0
		10	50	90	753	1210	1560	1641	1610	1613	1645	1449	1021	478	0
		30	50	70	819	1325	1721	1829	1797	1794	1812	1586	1115	513	0
		50	50	50	868	1388	1774	1865	1819	1828	1868	1650	1177	541	0
		70	50	30	903	1406	1751	1795	1692	1727	1818	1642	1210	561	0
		90	50	10	919	1370	1628	1583	1402	1484	1659	1561	1208	572	0
		10	70	50	899	1357	1664	1670	1548	1592	1706	1575	1181	564	0
		30	70	30	971	1444	1730	1705	1550	1615	1770	1658	1271	605	0
		50	70	10	1024	1476	1707	1613	1387	1487	1716	1659	1323	635	0
		10	90	10	1024	1474	1706	1608	1384	1486	1715	1685	1322	635	0
				Eav	843	1345	1715	1796	1739	1753	1801	1598	1142	497	0
	0.60	90	30	90	822	1539	2221	2613	2818	2678	2450	1959	1209	508	0
		50	50	90	938	1596	2148	2389	2468	2401	2313	1952	1312	578	0
		70	50	70	996	1674	2235	2467	2519	2454	2386	2030	1385	610	0
		90	50	50	1029	1683	2182	2351	2352	2372	2318	2013	1415	630	0
		10	70	90	948	1488	1893	1985	1929	1922	1970	1756	1270	590	0
		30	70	70	1052	1652	2082	2184	2130	2130	2182	1948	1414	647	0
		50	70	50	1138	1760	2187	2259	2159	2174	2264	2049	1520	695	0
		70	70	30	1190	1784	2135	2125	1954	2016	2189	2038	1569	726	0
		90	70	10	1218	1745	1988	1860	1579	1699	1987	1939	1575	744	0
		10	90	50	1122	1655	1972	1947	1784	1842	2011	1894	1463	692	0
		30	90	30	1237	1793	2091	2014	1782	1866	2102	2018	1602	756	0
		50	90	10	1312	1837	2046	1867	1542	1683	2023	2021	1677	801	0
				Eav	1084	1684	2098	2172	2085	2103	2183	1968	1451	665	0
	0.70	90	50	90	1179	2101	2928	3386	3610	3431	3189	2609	1692	709	0
		50	70	90	1283	2123	2777	3061	3137	3048	2967	2551	1776	771	0
		70	70	70	1387	2257	2919	3171	3190	3111	3079	2679	1904	829	0
		90	70	50	1441	2270	2834	2988	2926	2912	2973	2652	1951	862	0
		10	90	90	131	1909	2390	2491	2412	2391	2461	2225	1645	749	0
		30	90	70	1399	2159	2654	2749	2653	2657	2756	2502	1872	841	0
		50	90	50	1539	2331	2814	2850	2673	2700	2875	2661	2044	920	0
		70	90	30	1619	2363	2733	2647	2362	2463	2762	2644	2116	967	0
		90	90	10	1657	2307	2529	2281	1842	2022	2479	2503	2122	993	0
				Eav	1293	2202	2731	2847	2756	2748	2838	2558	1902	849	0
	0.80	90	70	90	1790	3085	4132	4706	4917	4745	4470	3725	2539	1045	0
		50	90	90	1898	3101	3990	4359	4399	4257	4185	3650	2622	1108	0
		70	90	70	2058	3281	4097	4379	4349	4275	4305	3820	2816	1199	0
		90	90	50	2168	3345	4060	4192	3999	3990	4178	3816	2921	1265	0
				Eav	1979	3203	4070	4409	4416	4317	4285	3753	2725	1154	0
	0.90	90	90	90	3230	5478	7155	7998	8328	7969	7618	6502	4578	1829	0

ตารางที่ 22 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันตกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มกราคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันตก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มกราคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	216	300	339	372	433	561	787	1103	13095	4034	136
	0.20	10	10	50	217	301	341	375	436	571	815	1144	13129	4042	137
		30	10	30	219	304	343	378	440	585	840	1177	13160	4056	138
		50	10	10	219	303	343	377	439	585	828	1155	13143	4057	138
		10	30	10	227	315	356	391	454	593	854	1208	13235	4147	144
				Eav	221	306	346	380	442	584	834	1171	13167	4076	139
	0.30	10	10	90	219	303	343	377	439	581	844	1186	13164	4051	138
		30	10	70	222	308	349	384	447	609	910	1277	13244	4078	139
		50	10	50	224	311	351	387	451	623	936	1312	13277	4092	141
		70	10	30	224	310	351	387	450	623	922	1288	13259	4093	141
		90	10	10	222	307	348	383	445	610	870	1207	13193	4081	140
		10	30	50	230	319	361	396	460	611	907	1283	13298	4166	145
		30	30	30	233	324	366	402	467	629	939	1328	13347	4197	147
		50	30	10	234	325	367	403	467	631	924	1303	13334	4211	148
		10	50	10	241	334	378	414	479	632	937	1339	13405	4283	153
				Eav	228	316	357	393	456	617	910	1280	13280	4139	144
	0.40	50	10	90	229	318	361	398	464	664	1051	1497	13420	4130	143
		70	10	70	231	321	364	468	468	679	1079	1516	13456	4145	144
		90	10	50	231	320	363	400	467	679	1064	1490	13435	4145	144
		10	30	90	233	323	365	402	467	631	963	1363	13368	4186	147
		30	30	70	239	331	375	412	479	667	1045	1480	13482	4237	150
		50	30	50	242	336	381	419	487	686	1080	1528	13532	4271	163
		70	30	30	243	337	382	419	487	687	1063	1501	13515	4284	153
		90	30	10	241	335	379	416	482	670	998	1404	13441	4278	153
		10	50	50	246	341	385	423	490	663	1024	1459	13510	4320	155
		30	50	30	251	349	394	433	501	687	1065	1519	13583	4375	159
		50	50	10	253	352	398	436	503	689	1048	1495	13574	4403	161
		10	70	10	258	358	404	443	511	683	1040	1500	13612	4451	164
				Eav	241	335	379	422	484	674	1043	1479	13494	4269	153
	0.50	90	10	90	241	335	380	421	493	756	1280	1805	13707	4218	150
		50	30	90	251	349	396	436	508	750	1254	1777	13753	4340	158
		70	30	70	255	354	402	443	515	770	1290	1827	13804	4375	160
		90	30	50	256	356	403	444	516	770	1272	1799	13791	4389	161
		10	50	90	251	349	394	433	502	698	1120	1594	13628	4362	159
		30	50	70	261	362	410	450	522	748	1230	1751	13793	4450	165
		50	50	50	267	370	419	460	533	772	1273	1814	13863	4508	169
		70	50	30	269	374	423	464	537	775	1255	1787	13858	4538	171
		90	50	10	267	371	421	460	531	752	1171	1667	13763	4536	170
		10	70	50	266	370	418	458	530	734	1178	1695	13790	4521	169
		30	70	30	275	382	432	472	545	764	1232	1771	13821	4606	175
		50	70	10	279	388	438	479	552	768	1213	1745	13886	4654	171
		10	90	10	279	388	439	479	551	749	1183	1712	13873	4665	179
				Eav	263	365	413	454	526	754	1227	1750	13795	4474	166
	0.60	90	30	90	274	381	433	478	558	891	1596	2264	14212	4526	171
		50	50	90	283	293	446	491	570	874	1541	2194	14208	4637	178
		70	50	70	290	403	457	503	584	905	1598	2273	14308	4706	180
		90	50	50	292	406	460	505	585	903	1569	2232	14282	4733	185
		10	70	90	277	385	435	477	553	797	1344	1919	14000	4605	175
		30	70	70	291	405	459	503	582	862	1487	2128	14211	4744	185
		50	70	50	302	420	475	521	601	899	1553	2224	14338	4844	192
		70	70	30	305	425	480	526	606	899	1524	2186	14321	4891	195
		90	70	10	304	424	478	522	600	870	1416	2031	14207	4893	195
		10	90	50	294	410	463	507	584	834	1403	2017	14154	4796	188
		30	90	30	308	409	485	529	609	878	1480	2131	14306	4929	198
		50	90	10	314	437	493	538	617	880	1452	2093	14304	4998	203
				Eav	295	400	464	508	587	874	1497	2141	14238	4775	187
	0.70	90	50	90	344	479	543	596	689	1117	2070	2951	15050	5217	218
		50	70	90	332	463	525	577	668	1080	2001	2846	14936	5104	210
		70	70	70	344	479	543	596	689	1117	2070	2951	15050	5217	218
		90	70	50	349	487	551	604	697	1117	2041	2910	15054	5273	222
		10	90	90	315	438	496	543	627	950	1687	2404	14520	4973	200
		30	90	70	339	473	536	586	675	1052	1909	2720	14880	5205	217
		50	90	50	355	495	560	612	704	1098	1993	2847	15029	5359	228
		70	90	30	363	506	572	623	715	1102	1961	2807	15042	5441	234
		90	90	10	359	501	565	614	703	1049	1797	2578	14851	5428	233
				Eav	345	480	544	594	685	1071	1932	2758	14920	5250	220
	0.80	90	70	90	420	586	667	733	848	1512	2987	4243	16374	5884	265
		50	90	90	422	588	667	732	843	1451	2825	4000	16169	5954	269
		70	90	70	446	623	706	773	889	1532	2970	4210	16458	6177	285
		90	90	50	451	629	712	778	892	1508	2881	4099	16366	6239	290
				Eav	435	607	688	754	868	1501	2916	4138	16342	6064	277
	0.90	90	90	90	656	924	1053	1154	1325	2512	5196	7328	19740	8082	418

ตารางที่ 23 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันตกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 กุมภาพันธ์ เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันตก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 กุมภาพันธ์ (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	240	313	341	367	424	552	786	1145	16820	6465	262
	0.20	10	10	50	241	315	344	370	428	561	816	1199	16872	6483	264
		30	10	30	243	318	346	373	431	575	842	1237	16911	6503	266
		50	10	10	243	317	346	372	430	577	828	1204	16878	6497	266
		10	30	10	252	330	359	386	444	580	839	1230	16933	6571	281
				Eav	245	320	349	375	433	573	831	1218	16899	6514	269
	0.30	10	10	90	243	317	346	373	431	570	847	1253	16925	6502	265
		30	10	70	246	322	352	379	439	598	916	1366	17039	6551	270
		50	10	50	248	325	355	382	443	612	943	1407	17082	6572	272
		70	10	30	248	324	354	382	442	613	927	1371	17047	6564	272
		90	10	10	246	321	351	378	436	602	870	1264	16938	6530	270
		10	30	50	255	333	363	391	450	597	895	1324	17026	6608	284
		30	30	30	258	338	369	396	457	615	925	1370	17078	6646	289
		50	30	10	259	339	370	397	457	617	906	1326	17039	6648	292
		10	50	10	267	349	380	408	468	615	907	1334	17073	6703	303
				Eav	252	330	360	387	447	604	904	1335	17027	6592	280
	0.40	50	10	90	254	333	364	393	456	650	1066	1623	17298	6653	278
		70	10	70	256	335	367	396	460	665	1095	1667	17344	6676	281
		90	10	50	256	335	366	396	459	666	1078	1628	17306	6667	281
		10	30	90	258	338	368	396	457	616	954	1430	17129	6649	287
		30	30	70	268	346	378	407	469	650	1037	1561	17270	6725	296
		50	30	50	268	351	384	413	476	669	1070	1612	17328	6766	302
		70	30	30	269	352	385	413	477	670	1048	1562	17284	6766	305
		90	30	10	267	350	382	410	471	656	976	1428	17152	6730	304
		10	50	50	272	356	388	417	479	643	997	1485	17201	6770	310
		30	50	30	278	364	397	426	489	667	1033	1540	17291	6830	320
		50	50	10	281	367	400	429	491	668	1008	1482	17243	6842	325
		10	70	10	286	374	407	435	498	659	992	1468	17245	6871	333
				Eav	268	350	382	411	474	657	1030	1541	17258	6745	302
	0.50	90	10	90	268	351	384	416	484	738	1309	2032	17717	6824	293
		50	30	90	279	365	399	430	498	728	1255	1931	17649	6900	314
		70	30	70	283	370	405	437	505	747	1288	1975	17703	6944	320
		90	30	50	283	372	406	437	505	749	1265	1928	17662	6944	323
		10	50	90	278	364	397	427	491	675	1098	1654	17388	6846	317
		30	50	70	289	378	413	444	511	723	1205	1834	17585	6965	332
		50	50	50	295	387	422	453	521	745	1243	1879	17651	7030	343
		70	50	30	298	390	426	457	524	749	1215	1825	17606	7041	349
		90	50	10	296	388	422	452	517	728	1119	1646	17433	6997	349
		10	70	50	295	387	421	451	517	707	1134	1709	17488	6989	345
		30	70	30	304	399	434	464	531	734	1177	1762	17562	7078	360
		50	70	10	309	405	441	470	537	739	1144	1696	17512	7103	370
		10	90	10	309	405	441	470	536	716	1107	1641	17470	7092	371
				Eav	291	382	416	447	514	729	1197	1809	17571	6981	337
	0.60	90	30	90	303	398	436	471	547	862	1608	2521	18270	7206	345
		50	50	90	313	411	449	483	557	840	1524	2351	18131	7260	365
		70	50	70	321	421	460	495	570	870	1574	2433	18288	7338	378
		90	50	50	323	424	463	497	571	867	1534	2345	18157	7343	383
		10	70	90	306	402	438	470	539	765	1307	1994	17773	7132	359
		30	70	70	323	423	462	495	568	824	1442	2194	18008	7309	384
		50	70	50	334	438	478	512	586	861	1495	2283	18119	7417	403
		70	70	30	338	443	483	516	589	858	1450	2186	18040	7434	413
		90	70	10	337	442	481	513	583	833	1324	1963	17826	7377	415
		10	90	50	326	428	466	498	568	794	1329	2002	17839	7297	394
		30	90	30	341	447	487	520	592	835	1389	2091	17961	7434	419
		50	90	10	347	456	496	528	599	835	1339	1986	17882	7468	434
				Eav	326	428	467	500	572	837	1443	2196	18025	7335	391
	0.70	90	50	90	360	474	519	559	646	1059	2080	3279	19128	7819	430
		50	70	90	367	482	527	567	650	1020	1952	3013	18889	7838	447
		70	70	70	381	502	548	588	674	1065	2022	3138	19041	7972	470
		90	70	50	385	507	552	591	676	1056	1956	2999	18924	7981	480
		10	90	90	349	458	499	535	612	905	1629	2498	18347	7579	425
		30	90	70	375	493	537	575	656	988	1817	2768	18673	7856	466
		50	90	50	394	518	564	602	686	1041	1895	2895	18839	8028	498
		70	90	30	400	526	572	609	691	1033	1824	2748	18718	8052	514
		90	90	10	399	524	569	604	683	994	1644	2438	18416	7960	517
				Eav	379	498	543	581	664	1018	1869	2864	18775	7898	472
	0.80	90	70	90	463	610	668	718	824	1415	2924	4576	20201	8956	586
		50	90	90	469	616	674	721	824	1374	2749	4289	20326	8937	603
		70	90	70	491	647	706	755	860	1420	2826	4360	20466	9151	644
		90	90	50	502	660	721	768	871	1421	2741	4224	20352	9174	664
				Eav	481	633	692	741	845	1408	2810	4362	20336	9055	624
	0.90	90	90	90	499	656	716	764	855	1407	2723	4173	20307	9159	662

ตารางที่ 24 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันตกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มีนาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันตก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มีนาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	274	327	343	366	426	561	795	1121	1236	898	295
	0.20	10	10	50	275	329	346	369	429	574	837	1192	1307	926	297
		30	10	30	277	331	348	372	433	591	868	1237	1354	949	300
		50	10	10	277	331	348	372	432	589	843	1187	1302	923	300
		10	30	10	288	344	361	384	445	587	838	1182	1307	955	315
				Eav	279	334	351	374	435	585	847	1200	1318	938	303
	0.30	10	10	90	277	331	348	372	433	588	879	1264	1380	955	299
		30	10	70	282	336	354	379	441	625	969	1409	1530	1022	305
		50	10	50	284	339	357	382	445	643	1001	1457	1580	1046	307
		70	10	30	283	338	356	381	444	640	975	1404	1525	1027	308
		90	10	10	281	335	353	377	438	619	891	1255	1369	966	305
		10	30	50	291	348	365	389	451	612	913	1306	1432	1008	319
		30	30	30	295	353	371	395	458	632	943	1349	1478	1040	326
		50	30	10	296	354	372	396	458	628	906	1276	1404	1020	329
		10	50	10	305	364	382	406	468	621	891	1258	1395	1030	340
				Eav	288	344	362	386	448	623	930	1331	1455	1013	315
	0.40	50	10	90	291	347	366	393	459	700	1170	1744	1877	1171	315
		70	10	70	293	350	369	396	463	718	1204	1795	1930	1198	318
		90	10	50	292	350	369	395	461	715	1176	1739	1872	1176	318
		10	30	90	295	352	370	395	458	639	992	1438	1565	1066	323
		30	30	70	302	361	380	406	471	684	1094	1606	1741	1155	334
		50	30	50	306	366	385	411	478	704	1126	1645	1785	1189	342
		70	30	30	308	368	387	412	478	700	1086	1572	1710	1167	345
		90	30	10	305	365	383	408	472	671	977	1376	1508	1090	344
		10	50	50	311	372	390	415	479	663	1011	1458	1596	1122	348
		30	50	30	318	380	398	423	489	684	1040	1489	1634	1165	361
		50	50	10	321	383	402	426	491	679	988	1393	1537	1142	367
		10	70	10	326	389	408	432	496	662	959	1351	1503	1133	374
				Eav	306	365	384	409	475	685	1069	1551	1688	1148	341
	0.50	90	10	90	306	366	387	416	488	824	1492	2279	2437	1417	333
		50	30	90	318	381	401	429	500	791	1374	2057	2212	1383	356
		70	30	70	323	386	407	436	507	814	1409	2114	2273	1422	364
		90	30	50	324	387	408	436	507	807	1364	2021	2180	1395	368
		10	50	90	318	380	399	425	492	710	1147	1681	1820	1227	357
		30	50	70	330	394	414	441	511	765	1265	1857	2013	1348	377
		50	50	50	338	404	424	451	522	791	1298	1907	2069	1397	391
		70	50	30	340	406	427	453	523	781	1238	1789	1952	1367	398
		90	50	10	338	404	424	449	517	743	1094	1542	1695	1267	398
		10	70	50	337	402	422	448	516	728	1143	1645	1802	1286	390
		30	70	30	348	416	436	462	530	757	1171	1684	1849	1344	411
		50	70	10	353	421	441	466	534	744	1097	1542	1709	1314	422
		10	90	10	354	423	442	467	534	718	1050	1478	1648	1277	422
				Eav	333	398	418	445	514	767	1242	1815	1974	1342	384
	0.60	90	30	90	374	415	439	471	550	972	1824	2798	2996	1771	397
		50	50	90	411	493	520	556	647	1207	2338	3574	3845	2367	503
		70	50	70	367	439	463	493	571	955	1708	2568	2765	1769	436
		90	50	50	369	442	465	494	572	941	1634	2425	2622	1730	443
		10	70	90	350	419	440	467	539	812	1316	2012	2168	1473	409
		30	70	70	369	441	463	492	567	82	1510	2218	2404	1645	42
		50	70	50	382	457	480	508	585	916	1545	2272	2468	1715	467
		70	70	30	386	462	484	512	587	897	1455	2103	2299	1673	479
		90	70	10	385	460	482	508	580	844	1260	1772	1958	1533	481
		10	90	50	372	445	467	494	566	823	1331	1916	2094	1536	453
		30	90	30	390	466	488	515	589	858	1357	1951	2145	1618	486
		50	90	10	397	475	497	522	594	837	1251	1754	1952	1573	505
				Eav	379	451	474	503	579	845	1544	2280	2476	1700	425
	0.70	90	50	90	412	494	521	558	648	1213	2344	3604	3870	2370	504
		50	70	90	420	503	530	563	651	1140	2128	3182	3432	2266	526
		70	70	70	436	523	550	584	673	1182	2177	3278	3531	2356	556
		90	70	50	440	528	554	587	674	1152	2058	3648	3311	2292	569
		10	90	90	399	477	501	531	611	977	1705	2513	2707	1889	495
		30	90	70	429	513	539	570	654	1069	1893	2772	3006	2147	551
		50	90	50	450	540	566	597	682	1115	1934	2837	3087	2252	593
		70	90	30	458	548	573	603	686	1079	1793	2581	2831	2181	614
		90	90	10	456	546	569	597	676	999	1516	2123	2356	1964	616
				Eav	433	519	545	577	662	1103	1950	2949	3126	2191	558
	0.80	90	70	90	529	636	671	714	824	1641	3276	4980	5401	3538	712
		50	90	90	537	642	675	716	822	1560	2988	4499	4860	3376	737
		70	90	70	561	674	708	749	856	1592	3020	4495	4894	3517	793
		90	90	50	574	688	722	760	865	1557	2840	4215	4600	3398	820
				Eav	550	660	694	735	842	1588	3031	4547	4939	3457	766
	0.90	90	90	90	825	998	1051	1112	1273	2724	5567	8422	9258	6648	1268

ตารางที่ 25 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันตกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 เมษายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันตก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 เมษายน (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	298	333	345	370	44	572	804	1091	1211	929	332
	0.20	10	10	50	299	336	348	373	437	585	857	1168	1288	958	334
		30	10	30	302	338	350	376	441	601	893	1216	1338	982	337
		50	10	10	301	338	350	376	440	600	857	1159	1278	965	338
		10	30	10	313	351	363	388	453	597	840	1138	1264	996	359
				Eav	304	341	353	378	443	596	862	1170	1292	975	342
	0.30	10	10	90	301	338	350	376	441	598	912	1247	1368	988	336
		30	10	70	306	343	356	383	450	634	1024	1403	1531	1056	342
		50	10	50	308	346	359	386	454	650	1061	1453	1583	1081	346
		70	10	30	302	346	358	385	452	649	1023	1394	1521	1063	346
		90	10	10	305	342	355	381	446	629	912	1228	1347	1001	344
		10	30	50	317	355	367	393	459	620	936	1274	1401	1051	364
		30	30	30	321	360	372	399	466	639	966	1312	1443	1084	372
		50	30	10	322	361	373	399	466	636	911	1227	1357	1066	377
		10	50	10	332	371	383	409	476	628	885	1196	1330	1082	394
				Eav	313	351	364	390	457	631	959	1304	1431	1052	358
	0.40	50	10	90	316	355	369	398	469	705	1279	1767	1910	1208	354
		70	10	70	318	358	372	401	473	723	1320	1820	1966	1236	358
		90	10	50	318	357	371	400	471	720	1278	1755	1898	1214	359
		10	30	90	321	359	372	399	467	645	1038	1418	1546	1109	368
		30	30	70	329	369	382	410	480	688	1160	1588	1727	1201	382
		50	30	50	333	374	387	416	486	708	1192	1627	1772	1238	391
		70	30	30	335	375	388	416	486	704	1132	1358	1680	1217	396
		90	30	10	332	372	385	411	479	677	986	1321	1455	1140	395
		10	50	50	338	379	392	419	487	665	1037	1409	1545	1176	403
		30	50	30	346	387	400	427	497	687	1059	1433	1577	1223	419
		50	50	10	349	391	403	430	499	682	980	1315	1458	1202	428
		10	70	10	355	397	409	435	504	665	941	1267	1413	1198	439
				Eav	333	373	386	414	483	689	1117	1507	1662	1197	391
	0.50	90	10	90	333	374	390	422	499	823	1648	2343	2518	1458	375
		50	30	90	346	389	404	434	510	790	1507	2074	2237	1434	407
		70	30	70	351	395	410	441	517	811	1543	2121	2291	1475	418
		90	30	50	352	396	410	441	516	806	1477	2020	2187	1450	422
		10	50	90	346	388	401	429	501	710	1207	1644	1784	1283	413
		30	50	70	359	402	416	446	520	762	1343	1831	1987	1408	437
		50	50	50	367	412	426	455	530	786	1369	1863	2028	1462	455
		70	50	30	370	415	429	457	531	778	1279	1729	1894	1355	464
		90	50	10	368	412	426	453	524	732	1084	1447	1600	1336	466
		10	70	50	366	411	424	451	523	726	1171	1583	1735	1354	456
		30	70	30	379	424	437	465	538	751	1183	1595	1758	1418	482
		50	70	10	384	430	442	469	541	742	1070	1428	1591	1392	498
		10	90	10	385	431	443	470	541	715	1015	1360	1523	1358	499
				Eav	362	406	420	449	522	764	1300	1772	1933	1399	446
	0.60	90	30	90	377	424	441	476	562	961	2057	2849	3065	1831	455
		50	50	90	390	438	454	487	569	913	1835	2512	2709	1781	487
		70	50	70	399	448	464	498	581	939	1863	2547	2755	1840	507
		90	50	50	402	452	468	500	582	929	1761	2399	2604	1808	517
		10	70	90	380	427	441	471	547	802	1442	1953	2112	1543	478
		30	70	70	402	451	466	497	577	870	1607	2176	2362	1725	519
		50	70	50	415	465	480	511	592	896	1619	2189	2387	1798	548
		70	70	30	412	472	487	517	596	885	1489	2002	2201	1764	566
		90	70	10	418	468	482	509	586	833	1220	1619	1803	1623	569
		10	90	50	406	455	469	498	574	812	1359	1829	2004	1621	534
		30	90	30	423	474	488	517	595	841	1355	1816	2008	1709	575
		50	90	10	433	485	498	526	602	828	1197	1590	1782	1675	600
				Eav	405	455	470	501	580	876	1567	2123	2316	1727	530
	0.70	90	50	90	448	504	523	563	659	1178	2636	3628	3919	2450	586
		50	70	90	458	515	533	569	662	1113	2346	3183	3443	2360	617
		70	70	70	474	532	551	587	682	1142	2361	3206	3484	2451	652
		90	70	50	481	541	558	593	685	1122	2204	2981	3255	2402	673
		10	90	90	433	485	502	534	619	947	1804	2418	2614	1975	582
		30	90	70	468	525	542	575	664	1041	2012	2701	2937	2249	650
		50	90	50	489	549	565	599	689	1071	2006	2691	2951	2358	700
		70	90	30	500	561	576	608	696	1050	1810	2417	2675	2304	730
		90	90	10	495	554	568	596	680	969	1429	1882	2114	2084	733
				Eav	472	530	546	580	671	1070	2068	2790	3044	2293	658
	0.80	90	70	90	579	652	677	724	841	1583	3694	5032	5489	3664	837
		50	90	90	581	653	676	719	831	1473	3258	4373	4775	3486	864
		70	90	70	584	656	678	721	834	1483	3275	4391	4792	3496	866
		90	90	50	622	698	718	759	870	1471	2984	4005	4419	3533	965
				Eav	592	665	687	731	844	1503	3303	4450	4869	3545	883
	0.90	90	90	90	910	1028	1064	1131	1300	2587	6265	8435	9378	6840	1489

ตารางที่ 26 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันตกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 พฤษภาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันตก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 พฤษภาคม (ลักส์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	303	335	348	375	439	576	801	1112	1294	8461	870
	0.20	10	10	50	305	337	350	378	443	590	849	1182	1360	8487	872
		30	10	30	307	340	353	381	447	608	882	1228	1407	8513	877
		50	10	10	307	340	353	380	446	605	851	1177	1359	8499	878
		10	30	10	319	353	365	393	458	601	839	1168	1380	8568	915
				Eav	310	343	355	383	449	601	855	1189	1377	8517	886
	0.30	10	10	90	307	340	353	380	446	606	898	1254	1428	8515	874
		30	10	70	312	345	359	388	455	646	999	1400	1572	8581	882
		50	10	50	314	348	362	391	459	664	1033	1447	1620	8608	887
		70	10	30	314	348	361	390	458	660	1001	1395	1571	8594	889
		90	10	10	311	344	357	385	452	635	903	1245	1426	8539	887
		10	30	50	323	357	370	398	468	628	925	1294	1497	8619	920
		30	30	30	327	362	375	404	471	648	954	1334	1545	8660	933
		50	30	10	328	363	376	404	471	642	907	1261	1482	8651	940
		10	50	10	338	373	386	414	481	632	886	1239	1484	8700	969
				Eav	319	353	367	395	462	640	945	1319	1514	8607	909
	0.40	50	10	90	322	357	372	403	474	729	1229	1736	1899	8725	897
		70	10	70	325	360	375	406	478	747	1266	1787	1950	8754	902
		90	10	50	324	359	374	405	477	743	1231	1730	1897	8738	904
		10	30	90	327	361	375	404	473	658	1016	1427	1623	8675	926
		30	30	70	335	371	385	415	486	706	1128	1588	1789	8770	944
		50	30	50	340	376	391	421	492	726	1160	1631	1841	8814	958
		70	30	30	341	377	391	421	492	719	1109	1553	1773	8803	965
		90	30	10	339	374	388	416	485	685	980	1358	1591	8741	967
		10	50	50	345	381	395	423	493	677	1022	1436	1670	8790	980
		30	50	30	353	390	403	432	503	699	1047	1469	1721	8851	1003
		50	50	10	355	393	406	435	504	689	980	1368	1638	8847	1018
		10	70	10	362	399	412	440	510	672	946	1327	1614	8868	1038
				Eav	339	375	389	418	489	704	1093	1534	1751	8781	959
	0.50	90	10	90	339	376	393	427	505	865	1596	2270	2425	8963	923
		50	30	90	353	391	407	440	516	822	1444	2045	2244	8999	978
		70	30	70	341	377	391	421	492	719	1109	1553	1773	8803	965
		90	30	50	359	398	414	446	523	836	1422	2005	2225	9034	1000
		10	50	90	352	390	404	434	507	729	1174	1653	1877	8891	993
		30	50	70	366	405	420	451	526	787	1304	1840	2080	9028	1027
		50	50	50	374	414	429	461	536	810	1330	1877	2136	9096	1052
		70	50	30	378	418	432	463	538	799	1256	1765	2045	9089	1068
		90	50	10	375	414	428	458	530	752	1083	1510	1809	9010	1073
		10	70	50	374	413	427	457	530	743	1153	1624	1902	9019	1061
		30	70	30	386	426	440	470	544	767	1171	1648	1955	9106	1098
		50	70	10	392	433	446	475	549	753	1077	1510	1845	9107	1123
		10	90	10	392	433	446	474	547	722	1024	1440	1787	9088	1127
				Eav	368	407	421	452	526	777	1242	1749	2008	9018	1038
	0.60	90	30	90	385	427	445	482	568	1017	1946	2773	2984	9392	1040
		50	50	90	397	440	457	492	576	960	1751	2480	2730	9398	1093
		70	50	70	407	451	469	504	588	987	1786	2531	2803	9477	1122
		90	50	50	410	454	470	505	589	969	1695	2397	2690	9463	1138
		10	70	90	388	430	445	477	554	832	1403	1970	2350	9200	1089
		30	70	70	409	453	469	502	583	905	1553	2190	2488	9400	1144
		50	70	50	424	469	485	518	600	933	1577	2229	2561	9502	1188
		70	70	30	429	474	489	522	602	911	1464	2065	2427	9495	1214
		90	70	10	427	472	486	516	594	848	1231	1726	2117	9389	1224
		10	90	50	413	457	472	503	581	836	1337	1881	2217	9342	1173
		30	90	30	433	478	493	524	603	865	1347	1899	2281	9469	1231
		50	90	10	441	487	501	531	608	839	1210	1706	2134	9472	1269
				Eav	414	458	473	506	587	909	1525	2154	2482	9417	1160
	0.70	90	50	90	458	508	529	570	668	1263	2497	3553	3854	10078	1226
		50	70	90	466	517	536	575	669	1180	2233	3152	3490	10037	1275
		70	70	70	485	537	556	596	691	1214	2269	3209	3586	10164	1328
		90	70	50	490	542	560	598	692	1179	2121	3002	3414	10143	1356
		10	90	90	443	490	507	541	627	998	1755	2450	2782	9684	1235
		30	90	70	476	527	545	581	671	1093	1943	2731	3121	9988	1328
		50	90	50	477	528	546	582	672	1096	1951	2738	3129	9989	1329
		70	90	30	509	562	578	612	703	1087	1786	2521	3013	10132	1442
		90	90	10	507	559	574	605	690	993	1457	2051	2582	9969	1456
				Eav	479	530	548	584	676	1123	2001	2823	3219	10020	1331
	0.80	90	70	90	589	654	679	730	849	1706	3481	4933	5413	11351	1568
		50	90	90	595	660	683	729	844	1601	3129	4391	4893	11236	1614
		70	90	70	625	692	715	762	877	1631	3138	4429	5008	11448	1709
		90	90	50	638	706	729	772	884	1571	2907	4105	4739	11403	1760
				Eav	612	678	702	748	864	1627	3164	4465	5013	11360	1663
	0.90	90	90	90	924	1026	1062	1133	1306	2819	5893	8324	9267	14579	2430

ตารางที่ 27 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันตกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 มิถุนายน เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันตก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความส่วางจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 มิถุนายน (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	299	334	348	374	435	562	776	1088	1318	9614	1420
	0.20	10	10	50	301	336	351	377	438	574	819	1153	1381	9644	1423
		30	10	30	303	339	353	380	442	590	850	1195	1426	9672	1429
		50	10	10	303	339	353	379	441	590	824	1151	1382	9657	1432
		10	30	10	315	352	366	392	454	588	816	1149	1411	9733	1484
				Eav	306	342	356	382	444	586	827	1162	1400	9677	1442
	0.30	10	10	90	303	339	353	379	442	586	863	1219	1446	9676	1426
		30	10	70	308	344	359	386	450	620	954	1350	1584	9749	1437
		50	10	50	310	347	362	390	454	637	987	1398	1632	9779	1444
		70	10	30	310	347	362	389	453	636	959	1349	1585	9762	1446
		90	10	10	307	343	358	384	447	618	873	1215	1449	9700	14444
		10	30	50	318	356	370	397	460	610	893	1263	1524	9791	1492
		30	30	30	323	361	376	402	466	628	922	1304	1573	9834	1509
		50	30	10	324	362	377	403	467	627	883	1240	1516	9822	1520
		10	50	10	334	372	387	413	476	619	865	1225	1523	9880	1562
				Eav	315	352	367	394	457	620	911	1285	1537	9777	2920
	0.40	50	10	90	318	356	372	401	469	687	1161	1656	1898	9911	1456
		70	10	70	320	359	375	405	473	705	1196	1709	1949	9942	1464
		90	10	50	320	358	374	403	471	704	1166	1654	1898	9923	1466
		10	30	90	322	360	375	403	467	633	975	1385	1645	9853	1499
		30	30	70	331	370	385	414	480	675	1078	1533	1808	9957	1525
		50	30	50	335	375	391	419	487	694	1110	1580	1861	10004	1543
		70	30	30	337	376	392	420	487	693	1067	1509	1799	9990	1554
		90	30	10	334	373	388	415	480	668	953	1336	1628	9917	1557
		10	50	50	340	380	395	422	488	657	988	1405	1705	9979	1578
		30	50	30	348	388	404	431	498	678	1015	1443	1759	10043	1610
		50	50	10	351	392	407	434	500	675	959	1355	1686	10035	1631
		10	70	10	357	398	413	439	505	659	928	1320	1668	10061	1659
				Eav	334	374	389	417	484	677	1050	1490	1775	9968	1545
	0.50	90	10	90	335	375	393	425	499	800	1492	2141	2401	10176	1491
		50	30	90	348	390	407	438	510	771	1365	1958	2246	10209	1570
		70	30	70	354	396	413	445	517	794	1399	2000	2306	10260	1590
		90	30	50	354	397	414	445	517	789	1351	1931	2236	10243	1602
		10	50	90	348	389	405	433	501	699	1127	1604	1906	10090	1596
		30	50	70	361	401	420	450	521	749	1247	1783	2105	10237	1641
		50	50	50	370	413	430	460	531	775	1277	1820	2168	10307	1677
		70	50	30	372	416	433	462	532	768	1213	1728	2084	10296	1699
		90	50	10	370	414	430	457	525	737	1063	1499	1866	10207	1708
		10	70	50	369	412	427	456	525	717	1117	1592	1946	10225	1691
		30	70	30	381	426	441	470	539	746	1140	1625	2009	10314	1743
		50	70	10	386	431	446	474	543	737	1060	1508	1912	10310	1777
		10	90	10	387	432	447	473	542	712	1012	1443	1857	10295	1785
				Eav	364	407	424	453	523	753	1220	1741	2080	10244	1659
	0.60	90	30	90	380	426	446	481	562	937	1824	2622	2961	10639	1656
		50	50	90	392	439	458	491	570	895	1658	2381	2738	10639	1732
		70	50	70	402	450	469	503	582	924	1694	2425	2815	10720	1772
		90	50	50	404	452	471	504	582	913	1617	2318	2715	10702	1795
		10	70	90	383	429	446	476	549	793	1346	1910	2270	10420	1729
		30	70	70	404	452	470	501	577	857	1489	2129	2525	10632	1806
		50	70	50	418	468	486	517	594	891	1518	2167	2607	10737	1866
		70	70	30	423	473	490	521	587	877	1422	2036	2489	10724	1903
		90	70	10	422	471	487	516	589	833	1218	1729	2201	10605	1918
		10	90	50	408	456	472	502	575	806	1299	1855	2278	10567	1848
		30	90	30	427	477	493	523	598	841	1319	1883	2356	10695	1930
		50	90	10	435	486	502	530	603	825	1203	1721	2228	10692	1982
				Eav	408	457	474	505	581	866	1467	2098	2515	10648	1828
	0.70	90	50	90	452	507	529	569	661	1157	2345	3368	3829	11369	1914
		50	70	90	460	516	163	574	663	1093	2118	3032	3502	11310	1986
		70	70	70	478	536	557	595	685	1133	2160	3083	3609	11440	2059
		90	70	50	484	540	561	597	686	1109	2033	2917	3459	11213	2099
		10	90	90	437	489	507	540	621	944	1683	2378	2828	10928	1934
		30	90	70	470	526	546	589	665	1030	1868	2665	3174	11245	2063
		50	90	50	494	552	572	607	693	1074	1899	2706	3280	11405	2164
		70	90	30	502	560	597	612	697	1047	1748	2503	3106	11383	2222
		90	90	10	501	558	575	605	685	980	1457	2078	2706	11203	2241
				Eav	475	532	512	588	673	1063	1923	2748	3277	11277	2076
	0.80	90	70	90	581	653	680	728	840	1553	3280	4715	5380	12700	2389
		50	90	90	588	658	684	728	836	1478	2977	4214	4908	12551	2460
		70	90	70	617	691	717	761	869	1512	2999	4291	5047	12766	2590
		90	90	50	630	705	730	772	877	1484	2801	3996	4811	12708	2659
				Eav	604	677	703	747	856	1507	3014	4304	5037	12681	2525
	0.90	90	90	90	912	1024	1064	1131	1295	2550	5587	7968	9197	16021	3584

ตารางที่ 28 แสงธรรมชาติทางทิศตะวันตกที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานวันที่ 21 ธันวาคม เวลา 8.00-18.00 น.

ทิศตะวันตก	Reflectance Ratio	ceiling reflectance	wall reflectance	floor reflectance	ค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่วัดได้ วันที่ 21 ธันวาคม (ลักซ์)										
					08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	0.10	10	10	10	228	304	343	383	452	496	828	18480	9814	1967	0
	0.20	10	10	50	230	305	343	385	455	607	856	18517	9837	1971	0
		30	10	30	231	308	348	388	459	622	881	18548	9862	1978	0
		50	10	10	231	308	347	387	458	622	869	18529	9854	1981	0
		10	30	10	240	320	361	402	474	636	906	18599	9958	2048	0
				Eav	233	310	350	391	462	622	878	18548	9878	1995	0
	0.30	10	10	90	231	307	347	387	459	619	884	18554	9861	1974	0
		30	10	70	235	312	353	394	467	651	948	18637	9920	1988	0
		50	10	50	237	315	356	397	471	667	974	18670	9946	1996	0
		70	10	30	236	315	356	397	470	666	961	18650	9937	1998	0
		90	10	10	234	312	352	393	465	648	911	18510	9895	196	0
		10	30	50	243	323	365	407	480	658	958	18666	10004	2057	0
		30	30	30	246	328	370	413	487	678	991	18711	10074	2077	0
		50	30	10	247	329	372	414	489	679	980	18694	10050	2090	0
		10	50	10	255	339	382	425	501	686	1001	18745	10132	2144	0
				Eav	240	320	361	403	477	661	956	18649	9980	1836	0
	0.40	50	10	90	242	323	365	409	485	716	1086	18819	10045	2011	0
		70	10	70	244	325	368	412	489	732	1114	18855	10072	2020	0
		90	10	50	244	325	368	411	488	730	1100	18833	10062	2032	0
		10	30	90	246	327	370	412	487	682	1012	18738	10051	2066	0
		30	30	70	252	336	38	424	501	724	1097	18849	10144	2096	0
		50	30	50	256	341	386	430	508	745	1132	18879	10189	2118	0
		70	30	30	257	342	387	431	509	745	1119	18878	10191	2131	0
		90	30	10	255	340	383	427	504	724	1057	18795	10147	2134	0
		10	50	50	260	346	391	435	512	724	1088	18857	10212	2163	0
		30	50	30	266	354	399	444	523	751	1132	18919	10280	2201	0
		50	50	10	268	357	403	448	527	753	1121	18905	10296	2226	0
		10	70	10	273	363	409	454	534	748	1124	18926	10345	2263	0
				Eav	255	340	356	428	506	731	1099	18854	10170	2122	0
	0.50	90	10	90	255	340	385	432	514	823	1311	19114	10251	2054	0
		50	30	90	266	354	401	448	531	821	1301	19123	10347	2150	0
		70	30	70	270	360	407	455	539	845	1342	19175	10401	2175	0
		90	30	50	270	360	408	456	539	843	1325	19154	10398	2187	0
		10	50	90	265	354	400	445	525	767	183	18979	10302	2184	0
		30	50	70	276	367	415	462	545	823	1292	19130	10434	2238	0
		50	50	50	282	376	425	473	558	845	1345	19201	10515	2280	0
		70	50	30	284	379	428	476	560	854	1390	19183	10524	2306	0
		90	50	10	283	377	426	473	555	827	1254	19082	10477	2316	0
		10	70	50	282	375	423	471	553	810	1260	19103	10477	2301	0
		30	70	30	291	388	438	486	571	847	1324	19192	10585	2363	0
		50	70	10	295	393	443	492	576	851	1311	19178	10611	2403	0
		10	90	10	294	394	444	492	577	581	1312	19180	10613	2403	0
				Eav	278	371	419	466	549	811	1227	19138	10457	2258	0
	0.60	90	30	90	289	386	438	491	582	986	1642	19578	10701	2252	0
		50	50	90	299	40	452	505	596	976	1612	19550	10780	2347	0
		70	50	70	306	409	463	516	609	1008	1665	19629	10858	2393	0
		90	50	50	309	413	467	520	613	1009	1650	19607	10874	2421	0
		10	70	90	292	390	441	490	577	884	1421	19310	10635	2345	0
		30	70	70	308	412	466	518	609	966	1581	19525	10848	2439	0
		50	70	50	319	425	481	534	627	1006	1648	19624	10957	2507	0
		70	70	30	324	432	488	541	635	1010	1636	19609	10990	2552	0
		90	70	10	322	429	484	536	627	972	1532	19476	10922	2567	0
		10	90	50	312	416	470	521	611	933	1512	19445	10849	2492	0
		30	90	30	326	434	490	543	636	983	1595	19566	10994	2586	0
		50	90	10	333	445	501	554	647	991	1586	19560	11045	2649	0
				Eav	312	386	470	522	614	977	1590	19540	10871	2463	0
	0.70	90	50	90	344	459	521	582	689	1246	2155	20288	11394	2561	0
		50	70	90	352	470	532	593	698	1223	2098	20206	11438	2652	0
		70	70	70	364	486	551	613	720	1268	2177	20326	11565	2734	0
		90	70	50	369	494	559	621	728	1269	2159	20302	11601	2784	0
		10	90	90	333	445	503	558	656	1069	1790	19807	11137	2592	0
		30	90	70	539	480	443	603	706	1193	2027	20124	11468	2748	0
		50	90	50	376	502	567	629	736	1250	2127	20270	11635	2861	0
		70	90	30	384	514	579	641	748	1256	2115	20255	11692	2933	0
		90	90	10	380	509	572	632	736	1195	1962	20063	11584	2949	0
				Eav	382	484	536	608	713	1219	2068	20182	11502	2757	0
	0.80	90	70	90	445	596	676	754	886	1733	3105	21557	12659	3130	0
		50	90	90	446	597	677	752	882	1666	2964	21372	12587	3209	0
		70	90	70	472	633	716	795	929	1766	3130	21594	12872	3371	0
		90	90	50	478	639	722	799	933	1739	3060	21525	12857	3439	0
				Eav	460	616	698	775	908	1726	3065	21512	12744	3287	0
	0.90	90	90	90	697	940	1068	1186	1383	2930	5411	24626	15718	4548	0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรุ่งทิพย์ พูนอัศวสมบัติ เกิดวันที่ 24 สิงหาคม 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย ในปีการศึกษา 2552 ด้วยเกียรตินิยมอันดับ 2 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย