แนวทางการสร้างแบบประเมินการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

นายเอกนรินทร์ อ่อนนุช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-17-5256-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPROACH TO FORMULATE ENERGY CONSERVATION INDEX FOR ARTIFICIAL LIGHTING IN BUILDINGS

Mr. Akenarin Onnuch

สถาบันวิทยบริการ
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 2005
ISBN 974-17-5256-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการสร้างแบบประเมินการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
โดย	นายเอกนรินทร์ อ่อนนุช
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาสัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(นางดวงขวัญ จารุดุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกนรินทร์ อ่อนนุช : แนวทางการสร้างแบบประเมินการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. (AN APPROACH TO FORMULATE ENERGY CONSERVATION INDEX FOR ARTIFICIAL LIGHTING IN BUILDING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. พรรณชลัท สุริโยธิน, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร. สุนทร บุญญาธิการ, รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ จำนวนหน้า 171 หน้า. ISBN 974-17-5256-3.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการวิจัยคือ 1. ศึกษาระบบส่องสว่างจากดวงโคม ได้แก่ โคมไฟ หลอดไฟ บัลลาสต์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง 2. ศึกษาการออกแบบสภาพภายในอาคารที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบส่องสว่างจากดวงโคม 3. ศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่องสว่างจากดวงโคมที่มีผลต่อผู้ใช้อาคาร

ผลการวิจัยพบว่า 1. การศึกษาระบบส่องสว่างจากดวงโคมและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เมื่อใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในปัจจุบันและไม่คิดค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 1.23 watt/m^2/100 lux 2. การศึกษาการออกแบบสภาพภายในอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบส่องสว่างจากดวงโคม จากการทดลองในแบบจำลองโดยเปรียบเทียบการคำนวณแบบ Point by Point Method อ้างอิงกล่องที่มีพื้นผนังสีเข้ม มีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.06 กับการใช้ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบดวงโคม อ้างอิงกล่องที่มีพื้น ผนังสีอ่อนมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.84 เมื่อนำกล่องที่มีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยสูงสุดเทียบกับต่ำสุดมีปริมาณการส่องสว่างเพิ่มขึ้น 27.4% ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 0.97 watt/m^2/100 lux ดังนั้นผลของการสะท้อนแสงภายในกล่องสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 0.26 watt/m^2/100 lux 3. การศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่องสว่างจากดวงโคมต่อผู้ใช้อาคาร การออกแบบพื้นผิวอาคารควรคำนึงถึงอัตราส่วนของความจ้าบนพื้นที่ใช้งานเปรียบเทียบกับความจ้าบนพื้นผิวในทิศทางการมอง โดยอัตราส่วนของความจ้าบนพื้นที่ใช้งานเปรียบเทียบกับผนังกล่องมีค่าที่เหมาะสมไม่เกิน 10 :1 และอัตราส่วนของความจ้าบนพื้นที่ใช้งานเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมในระยะใกล้กับพื้นที่ใช้งานมีค่าที่เหมาะสม ไม่เกิน 3 : 1

ผลการวิจัยสรุปว่า การใช้ระบบส่องสว่างจากดวงโคมที่มีประสิทธิภาพสูงเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีอิทธิพลจากการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 1.23 watt/m^2/100 lux เมื่อใช้ระบบส่องสว่างจากดวงโคมที่มีประสิทธิภาพสูงร่วมกับการออกแบบพื้นผิวภายในห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างลดลงเหลือ 0.97 watt/m^2/100 lux สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 21 % การออกแบบพื้นผิวภายในอาคารที่มีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยสูงขึ้น 10% มีผลทำให้การใช้พลังงานลดลง 0.03 watt/m^2/100 lux ดังนั้นสถาปนิก มัณฑนากร และผู้ออกแบบ จึงมีบทบาทสำคัญต่อการประหยัดพลังงานในระบบส่องสว่าง โดยการออกแบบพื้นผิวภายในให้มีค่าการสะท้อนแสงสูง และสร้างสภาวะน่าสบายทางสายตาให้แก่ผู้ใช้อาคาร โดยควบคุมความเปรียบต่างของความจ้าภายในห้องให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสม

ภาควิชา....สถาปัตยกรรมศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา...สถาปัตยกรรม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4574230825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: ARTIFICIAL LIGHTING/ ENERGY CONSERVATION

AKENARIN ONNUCH: AN APPROACH TO FORMULATE ENERGY CONSERVATION INDEX FOR ARTIFICIAL LIGHTING IN BUILDINGS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PHANCHARATH SURIYOTHIN, THESIS COADVISOR : PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., ASSOC.PROF. VORASUN BURANAKARN, Ph.D., 171 pp. ISBN 974-17-5256-3.

The objective of this research is to develop an energy conservation index for artificial lighting in buildings. The methodology includes (1) studies of artificial lighting systems and equipments, (2) studies of interior designs for maximum uses of artificial lighting systems, (3) studies of influences of high-performance artificial lighting systems on building occupants.

The results indicated that (1) using high- performance lighting systems and equipments (with interior surface reflections neglected) can help reducing lighting energy consumption to the level of 1.23 watt/m^2/100 lux. (2) In the study of interior designs for improving lighting performance using scale models, it was found that light-color surfaces with a surface reflection of 0.84 have a 27.4% increase of interior illuminance level as compared to dark-color surfaces with 0.06 light reflection, causing a decrease of lighting energy consumption to 0.97 watt/m^2/100 lux. Additionally, at every 10% increase of interior surface reflection, an energy consumption can be reduced by 0.03 watt/m^2/100 lux. (3)Various interior surface colors also lead to different light reflections, thus lighting energy consumption. In terms of visual comfort, it was found that the contrast ratio between task (working plane) and surrounding surface should not exceed 10:1, whereas the ratio of luminance level between a working plane and room surrounding surfaces should not exceed than 3:1.

In conclusion, high- performance lighting systems without the influence of reflecting surface, energy consumption for lighting is 1.23 watt/m^2/100 lux while high- performance lighting system with high reflectance surface. Energy consumption can be reduced to 0.97 watt/m^2/100 lux or 21%. The increase of every 10% of reflecting surface in the interior can reduce energy consumption of 0.03 watt/m^2/100 lux. Therefore, building professionals (i.e., architects and interior designers) can be an important role on conserve energy in electric lighting systems, using high-light-reflection surfaces without compromising visual comfort of the occupants.

Department.....Architecture.....	Student's signature .....
Field of study.....Architecture.....	Advisor's signature .....
Academic year...2005.....	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยการแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคคล หน่วยงาน และสถาบันซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ดังนี้

ผศ. พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการ ให้ข้อแนะนำแนวทางในการทำวิจัย และกำลังใจ

ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการเกี่ยวเข็ญ และให้โอกาส ตลอดจนมอบประสบการณ์อันมีค่าในการทำงาน

รศ.ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่เสนอแนวทางในการทำวิจัย

รศ.ดร. บัณฑิต จุลาสัย ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

คุณดวงขวัญ จารุดุล ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

คณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาในสถาบันแห่งนี้

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บุคลากร และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยให้เป็นไปอย่างราบรื่น

เพื่อนร่วมรุ่นทุกคน พี่ก้อย พี่แว่น ที่สร้างบรรยากาศอันดีในการเรียน ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำในการทำวิจัย

คุณวิสุทธิ์ เชาว์วองเลิศ บริษัทโมดูลาร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

บริษัทซิลวาเนีย(ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

บริษัทฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์(ประเทศไทย)จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

บริษัทออสแรม (ประเทศไทย)จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ปอ เจี๊ยบ ครอบครัวฉายายนต์ ปิยมิตร ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจและความห่วงใยในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูปภาพ..... ญ

สารบัญแผนภูมิ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง..... 5

2.2 พฤติกรรมของแสง..... 7

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง..... 12

2.4 ทฤษฎีอื่นๆของแสง..... 16

2.5 ความรู้พื้นฐานเรื่องหลอดไฟ..... 21

2.6 ความรู้พื้นฐานเรื่องโคมไฟ..... 24

2.7 ความรู้พื้นฐานเรื่องบัลลาสต์..... 26

2.8 การคำนวณการส่องสว่าง..... 27

2.9 การออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร..... 38

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 60

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3. 1 ขอบเขตของตัวแปรในการวิจัย..... 62

หน้า

3. 2 วิธีการประเมินการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ..... 78

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง..... 86
4.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร..... 88
4.3 การคำนวณผลจากการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในห้องต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่าง..... 112
4.4 สรุปผลการศึกษา..... 113

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 114
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 115

รายการอ้างอิง..... 117
ภาคผนวก 119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 171

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2-1	แสดงค่าความส่องสว่าง ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตราฐาน CIE.....	14
ตารางที่ 2-2	แสดงระดับความรู้สึกของมนุษย์ต่อการรับรู้ความจ้าบนวัตถุ.....	17
ตารางที่ 2-3	แสดงการส่องสว่างของวัตถุกับการรับรู้ของมนุษย์.....	17
ตารางที่ 2-4	ตารางแสดงค่าตัวคูณประกอบ (Multiplying Factor).....	32
ตารางที่ 3-1	แสดงข้อแนะนำระดับความส่องสว่างมาตรฐาน IESNA.....	63
ตารางที่ 3-2	แสดงค่า Weighting factor ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างมาตรฐาน IESNA.....	64
ตารางที่ 3-3	แสดงข้อแนะนำการออกแบบระบบส่องสว่างของIESNA.....	67
ตารางที่ 3-4	แสดงพลังงานสูญเสียในบัลลาสต์.....	73
ตารางที่ 3-5	การแบ่งประเภทดวงโคม.....	73
ตารางที่ 3-6	แสดงค่าการสะท้อนแสงของสีต่างๆ.....	74
ตารางที่ 3-7	แสดงระดับค่าการสะท้อนแสง สำหรับพื้นผิวภายในห้องของIES.....	75
ตารางที่ 3-8	แสดงค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคม ตามมาตรฐาน IES....	77
ตารางที่ 3-9	แสดงค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมประเภทต่างๆ.....	78

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2 - 1	แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ.....	5
ภาพที่ 2 - 2	แสดงสเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น	6
ภาพที่ 2 - 3	แสดงพฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ.....	7
ภาพที่ 2 - 4	แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง.....	8
ภาพที่ 2 - 5	แสดงการสะท้อนของแสงแบบ Specula Reflection.....	8
ภาพที่ 2 - 6	แสดงการสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย (Semi Diffuse Reflection).....	9
ภาพที่ 2 - 7	แสดงการสะท้อนของแสงแบบผสม (Combined Specula and Diffuse Reflection)	10
ภาพที่ 2 - 8	แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางชนิดโปร่งใส.....	11
ภาพที่ 2 - 9	แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางชนิดโปร่งแสง.....	11
ภาพที่ 2 -10	ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux).....	12
ภาพที่ 2-11	แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ตามกฎกำลังสองผกผัน ที่ระยะทางต่างๆ จากแหล่งกำเนิดแสง.....	14
ภาพที่ 2-12	แสดงความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง.....	15
ภาพที่ 2-13	ความเปรียบต่าง (contrast) ของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียงในการมองเห็นวัตถุ.....	18
ภาพที่ 2-14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสีและระดับความส่องสว่าง.....	19
ภาพที่ 2-15	แสดงรูปประกอบการคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุดในแนวนอน.....	28
ภาพที่ 2-16	แสดงรูปประกอบการคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุดในแนวตั้ง.....	29
ภาพที่ 2-17	แสดงการคำนวณจุดต่อจุดจากดวงโคม.....	30
ภาพที่ 2-18	แสดงการหาความส่องสว่างเนื่องจากหลายดวงโคม.....	30
ภาพที่ 2-19	แสดงกราฟกระจายแสงของดวงโคมหลอดไฟ 100วัตต์ GLS	31
ภาพที่ 2-20	แสดงภาพประกอบการคำนวนวิธีการส่องสว่างแบบจุดต่อจุดโดยวิธีการใช้ค่าตัวคูณประกอบ.....	34
ภาพที่ 2- 21	แสดงค่า CU จากผู้ผลิตดวงโคม.....	37
ภาพที่ 2- 22	แสดง Primary lighting system รูปแบบแสงสว่างทั่วไป (general lighting)	39
ภาพที่ 2- 23	แสดง Primary lighting system รูปแบบแสงสว่างเฉพาะที่ (localized lighting).....	39
ภาพที่ 2- 24	แสดง Primary lighting system รูปแบบแสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป	40
ภาพที่ 2- 25	แสดงการจัดแสงภายในห้องพักผ่อน.....	43
ภาพที่ 2- 26	แสดงการจัดแสงภายในห้องพักผ่อนที่มีโทรทัศน์.....	44
ภาพที่ 2- 27	แสดงการจัดแสงภายในห้องรับประทานอาหาร.....	46

หน้า

ภาพที่ 2- 28 แสดงการจัดแสงภายในห้องครัว..... 48
ภาพที่ 2- 29 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นภายในห้องครัว..... 48
ภาพที่ 2- 30 แสดงการจัดแสงภายในห้องซักรีด..... 50
ภาพที่ 2- 31 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นเพื่ออ่านหนังสือภายในห้องนอน..... 52
ภาพที่ 2- 32 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นเพื่ออ่านหนังสือภายในห้องแต่งตัว..... 53
ภาพที่ 2- 33 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นภายในห้องน้ำบริเวณหน้ากระจก..... 55
ภาพที่ 2- 34 แสดงการจัดแสงไฟบันได..... 56
ภาพที่ 2- 35 แสดงการจัดแสงภายในห้องทำงาน..... 59
ภาพที่ 3- 1 แสดงการจัดกลุ่มของดวงโคมของ IES..... 75
ภาพที่ 3- 2 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง..... 80
ภาพที่ 3- 3 แสดงเครื่องวัดความจ้าบนวัตถุ Luminance Meter..... 81
ภาพที่ 3- 4 แสดงเครื่องวัดปริมาณการส่องสว่าง Illuminance Meter..... 81
ภาพที่ 3- 5 แสดงลักษณะของกล่องทดลอง..... 82
ภาพที่ 3- 6 แสดงเหตุการณ์ขณะทำการทดลอง..... 83
ภาพที่ 3- 7 แสดงพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีดำ..... 84
ภาพที่ 3- 8 แสดงแสดงพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีขาว..... 84
ภาพที่ 3- 9 แสดงการวัดปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีดำ..... 85
ภาพที่ 3- 10 แสดงการวัดปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีขาว..... 85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

		หน้า
แผนภูมิ4-1	แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05 ……	89
แผนภูมิ4-2	แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีเทา 0.40 ……..	90
แผนภูมิ4-3	แสดงปริมาณการส่องสว่าง Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีขาว 0.85 ……	91
แผนภูมิ4-4	แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05 สีเทา 0.40 สีขาว 0.85 ……	92
แผนภูมิ4-5	แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลอง สีดำ0.05…… ……	93
แผนภูมิ4-6	แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลอง สีเทา0.40…… ……..	94
แผนภูมิ4-7	แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลอง สีขาว 0.85…….	95
แผนภูมิ4-8	แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลอง สีดำ 0.05 สีเทา 0.40 สีขาว 0.85…… …….	96
แผนภูมิ4-9	แสดงความจ้า (Luminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05…… .	97
แผนภูมิ4-10	แสดงความจ้า (Luminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีเทา 0.40…….	98
แผนภูมิ4-11	แสดงความจ้า (Luminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีขาว 0.85……	99
แผนภูมิ4-12	แสดงความจ้า (Luminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05 สีเทา 0.40 สีขาว 0.05……..	100
แผนภูมิ4-13	แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05……..	101
แผนภูมิ4-14	แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีเทา 0.40…….	102
แผนภูมิ4-15	แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีขาว 0.85…….	103
แผนภูมิ4-16	แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05 สีเทา 0.40 สีขาว 0.85…….	104
แผนภูมิ4-17	แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับ ความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05……	105
แผนภูมิ4-18	แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับ ความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีเทา 0.40 …….	106
แผนภูมิ4-19	แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับ ความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีขาว 0.85 ……	107
แผนภูมิ4-20	แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับ ความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำ 0.05 สีเทา 0.40 สีขาว 0.85…	108

หน้า

แผนภูมิ4-21 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลอง สีเทา 0.40 สีขาว 0.85…….. 109

แผนภูมิ4-22 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีเทา 0.40 สีขาว 0.85……. 110

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1. 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญของมนุษย์อันนำมาซึ่งความสะดวกสบายและคุณภาพชีวิตที่ดี สภาวการณ์ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่มากขึ้นในอนาคต ทำให้รัฐต้องสูญเสียงบประมาณในการจัดหาพลังงานไฟฟ้ามารองรับความต้องการบริโภคพลังงานไฟฟ้าในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศส่วนหนึ่งคือในส่วนของระบบอาคาร ดังนั้นการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเป็นอีกทางหนึ่งซึ่งสามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานของชาติได้ วิธีที่สามารถทำให้การบริโภคพลังงานไฟฟ้าในอาคารลดลงคือการใช้พลังงานไฟฟ้าต้องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด จากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มีเจตนาส่งเสริมให้เกิดวินัยในการอนุรักษ์พลังงานและให้มีการดำเนินการลงทุนในการลดการใช้พลังงานในอาคารรวมถึงการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร แสดงให้เห็นถึงความพยายามและความตั้งใจในการของทุกๆฝ่ายที่มองเห็นความสำคัญของการอนุรักษ์และส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารนั้นแบ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของระบบปรับอากาศ ส่วนของระบบอาคาร และระบบส่องสว่าง การใช้พลังงานในระบบส่องสว่างจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเริ่มจากการออกแบบด้วยความเข้าใจในทฤษฎีพื้นฐานเรื่องแสงที่เหมาะสมกับความสามารถในการมองเห็นและความต้องการแสงสว่างของมนุษย์ แสงที่ใช้เพื่อส่องสว่างแก่พื้นที่ใช้งานภายในอาคารนั้นมาจากแหล่งกำเนิดแสง 2 ชนิดคือแสงธรรมชาติ (Natural Light) เข้าสู่อาคารได้จากช่องแสงด้านบนและช่องแสงด้านข้างโดยรอบอาคาร แหล่งกำเนิดแสงอีกชนิดคือแสงประดิษฐ์ (Artificial Light) เป็นแสงที่ได้จากอุปกรณ์ส่องสว่างได้แก่หลอดไฟซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า อาคารที่ออกแบบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้พลังงานควรออกแบบให้มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร เพื่อให้ความสว่างแก่พื้นที่ใช้งาน ปริมาณของแสงที่เหมาะสมคือพอดีกับความต้องการของกิจกรรมในพื้นที่นั้นไม่น้อยหรือมากจนเกินไป ไม่ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายทางร่างกาย อันเป็นผลจากรังสีความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารพร้อมกับแสงธรรมชาติ ขณะเดียวกันต้องคำนึงถึงพลังงานที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นในส่วนของภาระการทำความเย็นของ

ระบบปรับอากาศอันเป็นผลของความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ การใช้ แสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่างนั้นยังมีข้อจำกัดเนื่องจากมีความแปรปรวนจากปัจจัยต่างๆ อาทิ ตำแหน่งและการเคลื่อนตัวของแหล่งกำเนิดแสงคือดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้า องค์ประกอบอนุภาคในชั้นบรรยากาศ ทิศทางอาคารและสภาพแวดล้อมของที่ตั้งอาคาร ทำให้มีปริมาณแสงแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา และบางครั้งแสงธรรมชาติยังไม่สามารถเข้าถึงบางพื้นที่ใช้งานของอาคารทำให้แสงสว่างไม่เพียงพอต่อการใช้งานในพื้นที่นั้น ดังนั้นการให้แสงสว่างภายในอาคารด้วยแสงธรรมชาติจึงมักประสบปัญหายากที่จะควบคุมปริมาณแสงให้เข้าสู่ภายในอาคารและตกลงบนพื้นที่ใช้งานได้อย่างคงที่และสมบูรณ์ ระบบแสงประดิษฐ์จึงเข้ามามีบทบาทในการช่วยทำให้ปริมาณแสงเหมาะสมกับการใช้งานในจุดที่แสงธรรมชาติไม่เพียงพอต่อการใช้งานหรือในช่วงเวลาที่ปราศจากแสงธรรมชาติ สิ่งสำคัญในการออกแบบระบบส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์คือคำนึงถึงปริมาณแสงที่เหมาะสมกับกิจกรรมในอาคารและมีความสบายทางสายตาควบคู่กันไปโดยคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารนั้นจะสมบูรณ์ได้นอกจากคำนึงถึงประโยชน์สูงสุดในด้านประโยชน์ใช้สอยและความสบายทางสายตาแล้วแล้วยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างอันได้แก่หลอดไฟ ดวงโคมและบัลลาสต์ ความเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละพื้นที่ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้งานที่ต่างกัน อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่างกัน ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยที่จะนำมาตัดสินใจในการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่าง ดังนั้นการพิจารณาชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างให้มีความประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด เหมาะสมในลักษณะการใช้งานร่วมกับการออกแบบจัดวางตำแหน่งที่สัมพันธ์กับพื้นที่จึงมีความสำคัญและมีผลโดยตรงต่อปริมาณแสงบนพื้นที่ใช้งานและปริมาณการใช้พลังงานในระบบส่องสว่างภายในอาคาร

จากความสำคัญดังกล่าวจึงเกิดแนวความคิดในการศึกษาเพื่อกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมในการนำไปเป็นพื้นฐานสำหรับการสร้างแบบประเมินระบบส่องสว่างภายในอาคารโดยคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ได้แก่อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบส่องสว่าง หลักการออกแบบอาคารที่ช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าส่องสว่างลดลงและความสบายทางสายตา เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระบบส่องสว่างภายในอาคาร

1. 2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างภายในอาคาร

1.2.2 เพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายทางสายตาของระบบส่องสว่างภายในอาคาร

1.2.3 ทำการสรุปผลการวิจัยถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างและสภาวะน่าสบายทางสายตาภายในอาคารโดยคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1. 3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร โดยทำการศึกษาเฉพาะระบบส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัย

1.3.2 ทำการศึกษาเฉพาะระบบส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์ภายในอาคารพักอาศัยโดยไม่รวมปัจจัยจากภายนอกอาคารได้แก่แสงธรรมชาติ

1.3.3 ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์ดังนี้

- อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างได้แก่ หลอดไฟ โคมไฟ และบัลลาสต์
- สภาพแวดล้อมภายในอาคารได้แก่ ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายในอาคาร

1. 4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษาและทำการสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างภายในอาคาร

1.4.2 ศึกษาและทำการสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายทางสายตาของระบบส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัย

1.4.3 วิเคราะห์ผลการวิจัยและทำการหาข้อสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่าง และสภาวะน่าสบายทางสายตาภายในอาคาร รวมทั้งเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบส่องสว่างโดยคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1. 5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างภายในอาคารทั้งอิทธิพลจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารเพื่อสามารถใช้เป็นแนวทางออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารโดยคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทางสายตาของระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อสามารถใช้เป็นแนวทางออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร

1.5.3 เพื่อใช้งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร และสามารถระบุข้อดีข้อเสียของการออกแบบระบบส่องสว่างรวมทั้งเสนอแนะวิธีการหรือแนวทางปรับปรุงแก้ไขสำหรับผู้ออกแบบ เพื่อพัฒนาการออกแบบระบบส่องสว่างให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

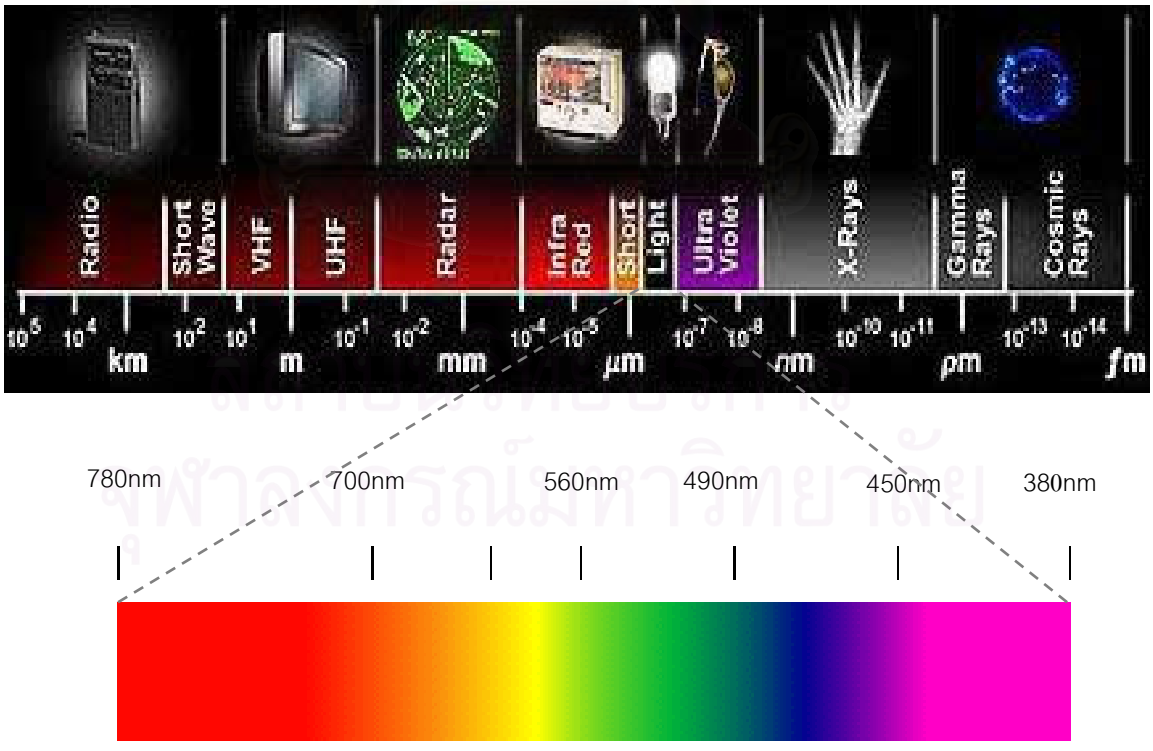
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. 1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

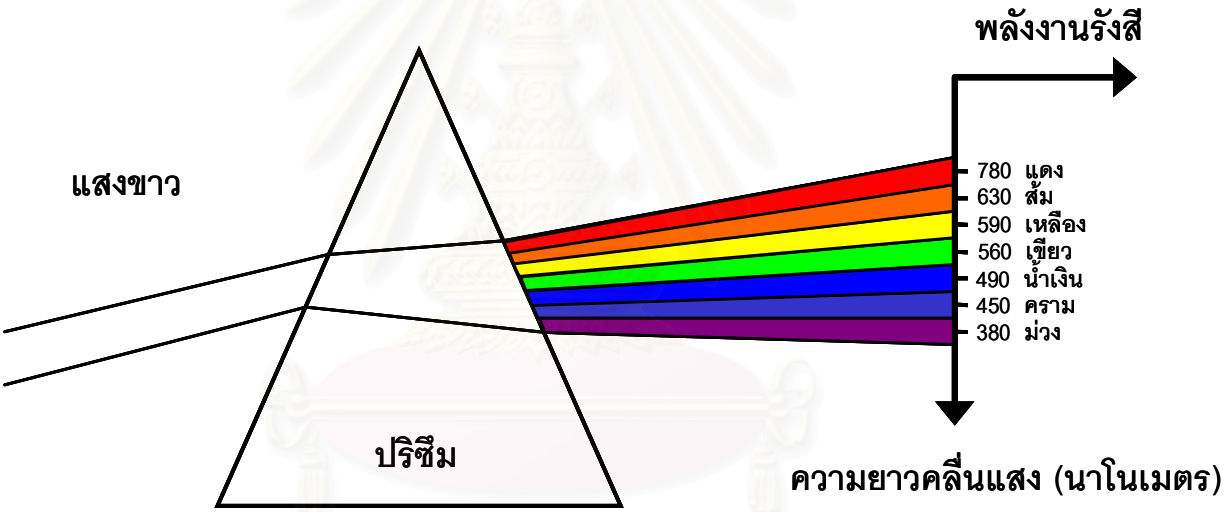
คุณสมบัติของแสงมีทั้งคุณสมบัติในรูปของอนุภาคและในรูปของคลื่น แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป หากพิจารณาแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) ในคุณสมบัติของคลื่นแสงจะมีคุณสมบัติของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.76 ไมครอน (micron) หรือ 380–760 นาโนเมตร (nanometers) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าวเมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา พลังงานแสงจะกระตุ้นประสาทตา ทำให้เกิดการมองเห็นภาพในดวงตา



ภาพที่ 2 - 1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 912)

คลื่นแสงที่ตอบสนองต่อการมองเห็นประกอบไปด้วยสเปกตรัม (Spectrum) ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน สเปกตรัมของแสงหาได้จากการให้แสงผ่านปริซึม เพื่อให้เกิดการหักเหแสงของความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะทราบว่าแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นประกอบคลื่นความยาวแสงอะไรบ้าง ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีการหักเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสง จะเป็นตัวแสดงว่าในแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นแสงสีไหนมีมากกว่าสีอื่น สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ เช่น ถ้าแสงมีสเปกตรัมของสีแดงเข้มมาก เมื่อส่องไปกระทบวัตถุที่มีสีแดง วัตถุสีแดงนั้นก็จะเด่นขึ้นมาทันที เนื่องจากสีแดงมีความเข้มของแสงมาก แต่ถ้าวัตถุนั้นมีสีน้ำเงินก็จะทำให้วัตถุสีน้ำเงินนั้นไม่เด่น ดังนั้นถ้าต้องการให้แสงที่ส่องถูกวัตถุทุกสีเด่นก็ต้องมีสเปกตรัมของสีทุกสีมีความเข้มมาก แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มมาก เมื่อนำไปส่องวัตถุสีใดวัตถุนั้นก็จะเด่นทั้งหมดทุกสี



ภาพที่ 2 - 2 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น

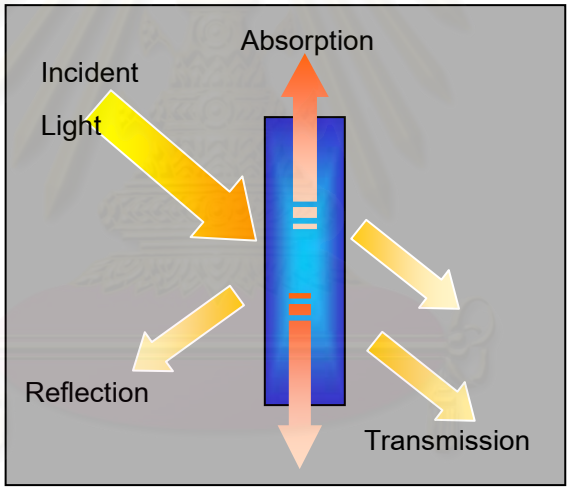
(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 63)

แสงนอกจากจะมีช่วงของสเปกตรัมที่แตกต่างกันแล้ว แสงยังมีคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) ออกมาตลอดเวลา เมื่อความยาวคลื่นที่แผ่ออกมามีความแตกต่างกัน ก็จะทำให้สายตามนุษย์ เห็นแสงสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากตามีเซลล์โคนสามแบบ ที่สามารถตอบสนองกับสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ความสัมพันธ์ของสีทั้งสามจะทำให้มองเห็นแสงสีต่างๆ ได้ การผสมของแสงสีต่างๆ จะมีความสำคัญมาก เพราะทำให้ทราบว่า การให้แสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับสถานที่หรือวัตถุต่างๆ ที่มีสีสันต่างกันควรให้แสงสีแบบใด สีของแสงที่เกิดจากการผสมของสีทั้งสามคือ แดง เขียว น้ำเงินใน

อัตราส่วนที่เท่ากันจะได้แสงสีขาว ดังนั้นเมื่อทราบว่าแสงสีขาวเกิดจากการผสมกันของสีต่างๆ เมื่อนำไปส่องวัตถุสีสันเดียวกัน จึงให้ผลออกมาไม่เหมือนกัน แสงสีขาว ที่เกิดจากการผสมสี ระหว่างสีน้ำเงิน และเหลือง เมื่อนำไปส่องวัตถุที่มีสีเหลืองวัตถุนั้นก็จะเด่นขึ้นมา แต่ถ้านำไปส่องวัตถุสีแดงวัตถุนั้นก็จะไม่เด่น หลักการนี้มีความสำคัญเมื่อต้องการส่องไฟเน้นที่วัตถุเพื่อให้วัตถุดูมีความโดดเด่นขึ้น

2. 2 **พฤติกรรมของแสง**

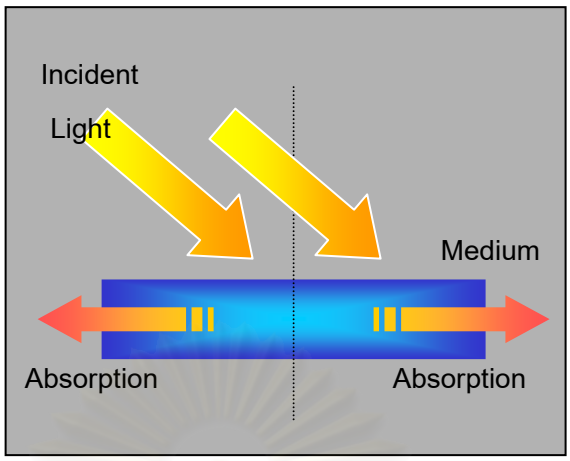
เมื่อแสงเคลื่อนที่ ผ่านตัวกลางต่างๆ พฤติกรรมของแสง หรือแนวทางเดินของแสงจะเปลี่ยนไป เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆ จะมีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ การดูดกลืน (Absorption), การสะท้อน (Reflection) และการส่องผ่าน (Transmission)



ภาพที่ 2 - 3 แสดงพฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ

(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 9)

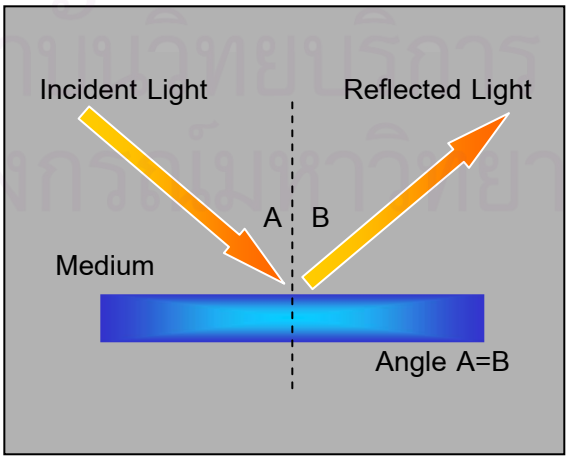
2.2.1 **การดูดกลืน** (Absorption) เป็นพฤติกรรมที่แสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง ซึ่งปริมาณการถูกดูดซึมเข้าไปในตัวกลางขึ้นอยู่กับค่าการดูดซึมแสงของตัวกลางที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปเมื่อแสงถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง จะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน จากในรูปของพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน



ภาพที่ 2 - 4 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 9)

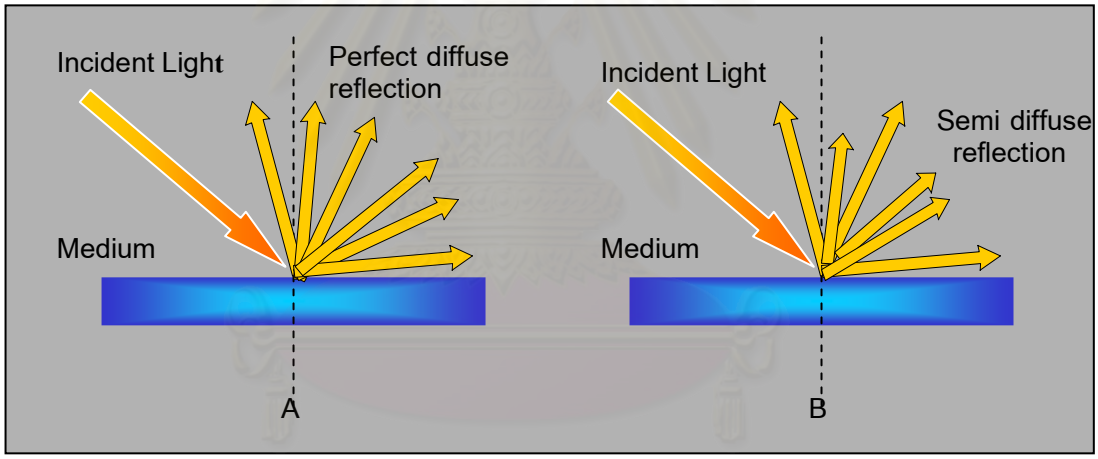
2.2.2 **การสะท้อน** (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลาง แล้วเกิดการสะท้อนออกมาโดยที่ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง การสะท้อนของแสงมีหลายลักษณะ และสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

- การสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา (Specula Reflection) เป็นลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบลงบนวัสดุทึบแสง (Opaque Material) ที่มีผิวเรียบมัน (polish surface) อาทิ กระจกเงา หรือ ผิวโลหะที่ขัดมัน แสงจะมีการสะท้อนในลักษณะของมุมตกกระทบของแสง (Angle of Incident) เท่ากับ มุมสะท้อนของแสง (Angle of Reflection)



ภาพที่ 2 - 5 แสดงการสะท้อนของแสงแบบ Specula Reflection
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 10)

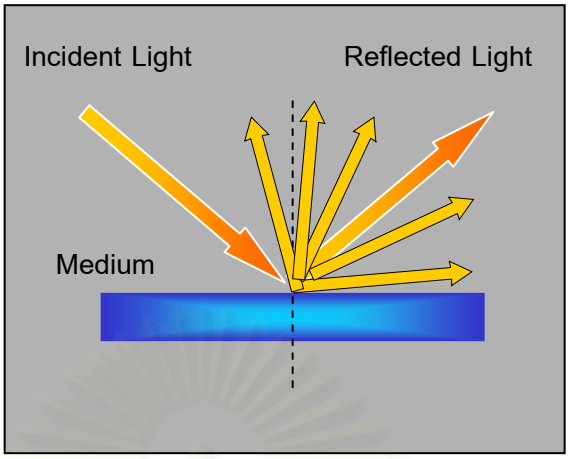
- การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบลงบนวัสดุพื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือผิวด้าน แสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายไปในทุกทิศทาง มุมสะท้อนของแสงจะมีทิศทางที่ไม่แน่นอน และมุมตกกระทบของแสง จะไม่เท่ากับมุมสะท้อนของแสงออกมา หากผิววัสดุนั้น มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ (Perfect Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่สะท้อนออกมา จะเป็นแสงสะท้อนที่มีการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมสะท้อนเท่ากันทุกๆ มุมสะท้อน และมีค่าเฉลี่ยของแสงที่สะท้อนออกมาเท่ากัน แต่หากพื้นผิววัสดุไม่เรียบสม่ำเสมอ (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (Semi Diffuse Reflection)



ภาพที่ 2 - 6 แสดงการสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย (Semi Diffuse Reflection)

(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 10)

- การสะท้อนแสงแบบผสม (Combined Specula and Diffuse Reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนแสง ที่เกิดจากการสะท้อนแสงแบบกระจกเงา (Specula Reflection) และแบบสะท้อนกระจาย (Diffuse Reflection) ซึ่งสภาพพื้นผิว โดยทั่วไปจะพบการสะท้อนแสงในลักษณะนี้มากที่สุด



ภาพที่ 2 - 7 แสดงการสะท้อนของแสงแบบผสม (Combined Specula and Diffuse Reflection)
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 11)

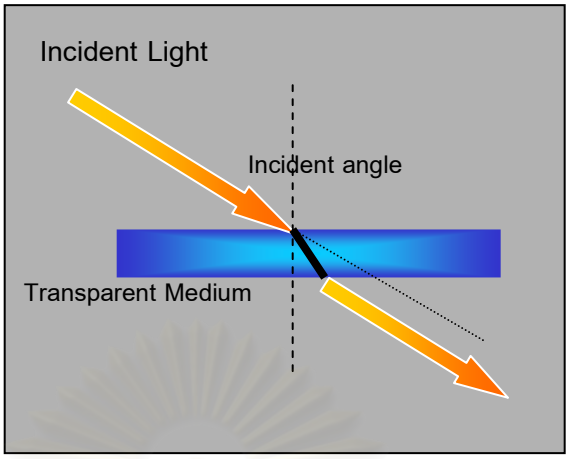
2.2.3 **การส่องผ่าน** (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับด้านใดด้านหนึ่งของตัวกลางแล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของตัวกลาง เมื่อแสงกระทบตัวกลางชนิดโปร่งแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง อีกส่วนจะสะท้อนกลับ ส่วนที่เหลืออีกส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านออกมา สามารถอธิบายด้วยสมการดังนี้

ปริมาณแสงทั้งหมด = ปริมาณแสงที่ดูดซึม + ปริมาณแสงสะท้อน + ปริมาณแสงส่องผ่าน
(Absorption) (Reflection) (Transmission)

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 915)

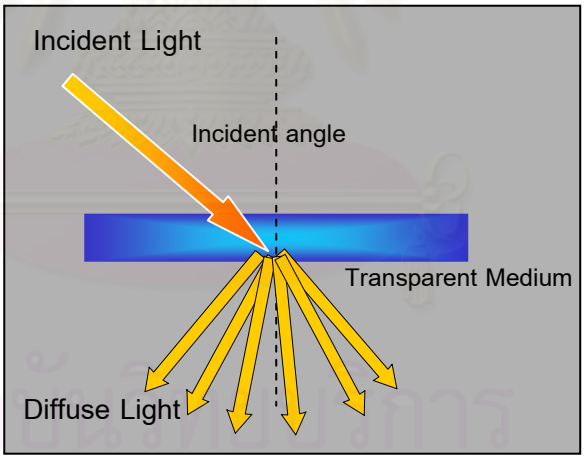
ชนิดของตัวกลางที่แสงส่องทะลุผ่านได้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ตัวกลางชนิดโปร่งใส (Transparent Medium) การส่องผ่านในลักษณะนี้ จะมีการหักเห (Reflected) ของแสงเกิดขึ้น หรือมีการเปลี่ยนทิศทางของแสง (Bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง โดยสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดอีกด้านหนึ่งได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกใส เป็นต้น



ภาพที่ 2 - 8 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางชนิดโปร่งใส
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 12)

ตัวกลางชนิดโปร่งแสง (Translucent Method) การส่องผ่านของแสงในลักษณะนี้ จะเป็นแบบกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงในอีกด้านหนึ่งได้



ภาพที่ 2 - 9 แสดงการส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางชนิดโปร่งแสง
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 12)

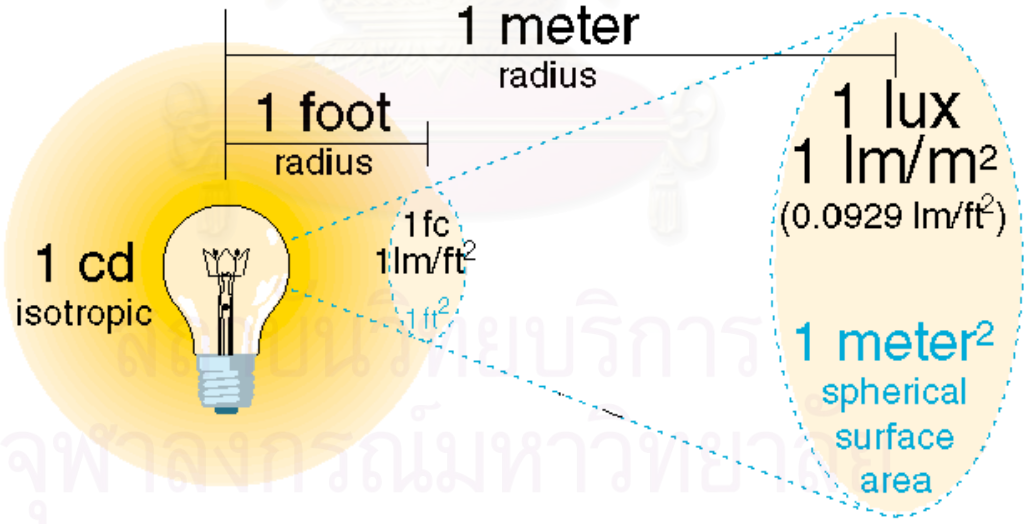
การส่องผ่านของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่แสงตกกระทบ มีค่าดัชนีการหักเหของแสงมากกว่าสภาพโดยรอบของวัสดุนั้น เช่น กระจกมีค่าดัชนีการหักเห 1.52 ซึ่งมากกว่าอากาศโดยรอบที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสง เท่ากับ 1 ดังนั้นแสงจะส่องทะลุผ่านกระจกออกมาได้ แต่เมื่อแสงผ่านตัวกลางผิวเรียบจะเกิดการหักเห หรือสะท้อนกลับ การหักเหหรือสะท้อนกลับของแสงจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ถ้ามุมตกกระทบของแสงน้อย แสงก็จะผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีก

ตัวกลางหนึ่ง ถ้ามุมตกกระทบของแสงมีค่ามากเกินกว่า ค่าของมุมวิกฤต แสงจะไม่ผ่านตัวกลางและไม่สะท้อนกลับด้วย (ในกรณีนี้มุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต) และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงจะสะท้อนออกมา

2. 3 **ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง** (Illuminance Theory)

แสงเมื่อส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง และตกกระทบกับวัตถุ หรือพื้นที่ใดๆ เป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา จะทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นที่แสงสะท้อนออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่มีการสะท้อนของแสง ก็จะไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้นได้ ซึ่งปริมาณแสงที่ตกกระทบกับวัตถุหรือตกกระทบพื้นที่นั้นๆ เรียกว่าการส่องสว่าง หรือความสว่าง (Illuminance) ของแสง

2.3.1 **ปริมาณแสง** (Luminous Flux) เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของกำลังการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Power of Llight Source) หรือในรูปของปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen)



ภาพที่ 2 - 10 ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux)

(กิตติพงศ์ เอี่ยมรัตนวงศ์, 2547: 14)

2.3.2 **การส่องสว่าง** (Illuminance) คือปริมาณแสง 1 หน่วย ที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใดๆ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per Unit of Area) ซึ่งเป็นการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงภายในวงกลม เมื่อทรงกลมนั้นมีรัศมี 1 ฟุตหรือ 1 เมตร ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งตกกระทบลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณการส่องสว่างที่ได้จะเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (footcandle) ในทำนองเดียวกัน หากทรงกลมนั้น มีขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณการส่องสว่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตรหรือ 1 ลักซ์ (lux)

การส่องสว่างในหน่วยของลักซ์ (lux) เมื่อเทียบกับในหน่วยของ ฟุตแคนเดิล (footcandle)

1 lux	=	0.0929 footcandle	**(หรือประมาณ 0.1 ฟุตแคนเดิล)**
1 footcandle	=	10.764 lux	**(หรือประมาณ 10 ลักซ์)**

ค่าการส่องสว่างของแสง บนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง และจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางที่เกิดจากระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (Foot-candle) มีสมการดังนี้

$$\text{lux(fc)} = \frac{\text{cp intensity}}{\text{distance}^2}$$

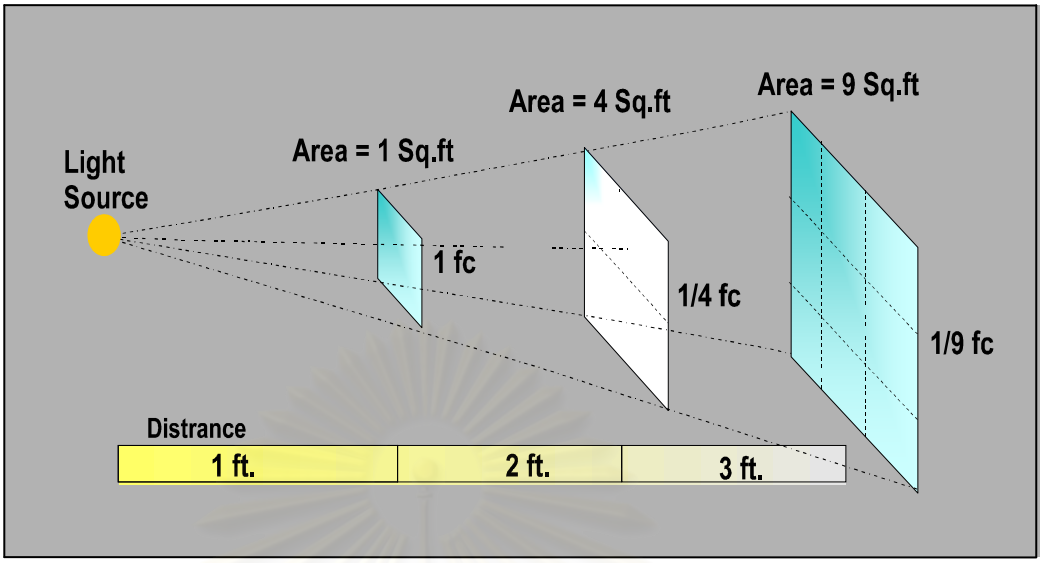
เมื่อ

lux (fc) = ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นผิวมีหน่วยเป็น (lux) หรือฟุตแคนเดิล (fc)

cp intensity = ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ที่พิจารณา มีหน่วยเป็น แคนเดลา (cd)

distance = ระยะจากพื้นที่ที่พิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแสง หน่วย เมตร หรือฟุต

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 915)



ภาพที่ 2 - 11 แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ตามกฎกำลังสองผกผัน ที่ระยะทางต่างๆ จากแหล่งกำเนิดแสง (Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 915)

ตัวอย่างปริมาณการส่องสว่างสำหรับพื้นที่และการทำงานต่างๆกัน ตามมาตราฐาน CIE (International Commission on Illuminanation)

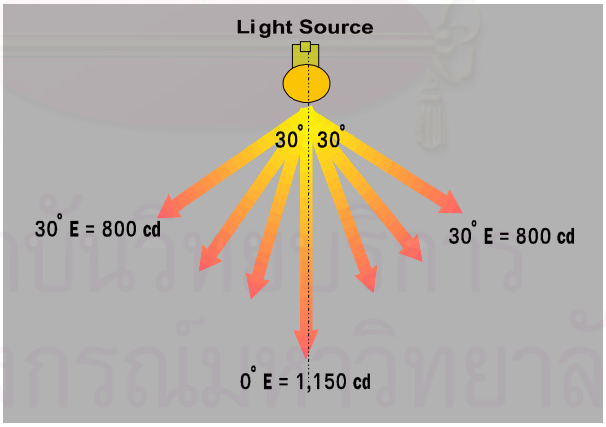
ความส่องสว่าง (lux)	ชนิดของพื้นที่ใช้งาน
20 – 30 – 50	ทางเดิน และ พื้นที่ใช้งานภายนอกอาคาร
50 – 100 – 150	ทางเดินภายในอาคาร และพื้นที่ใช้งานระยะเวลาสั้นๆ
100 – 150 – 200	ห้องที่ไม่ได้ใช้ทำงานแบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน
200 – 300 – 500	งานที่ใช้สายตาไม่มาก ชิ้นงานขนาดใหญ่
300 – 500 – 750	งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น งานสำนักงาน
500 – 750 – 1000	งานที่ใช้สายตามาก เช่น งานเขียนแบบ
750 – 1000 – 1500	งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น ห้องผ่าตัดของแพทย์
1000 – 1500 – 2000	งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ
มากกว่า 2000	งานที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานมากเป็นพิเศษ

ตารางที่ 2 - 1 แสดงค่าความส่องสว่าง ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตราฐาน CIE (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 1-6)

2.3.3 **ความเข้มของการส่องสว่าง** (Luminous Intensity) คือปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง (Solid Angle) ใดๆ ในทิศทางหนึ่งๆ แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยฟลักซ์ความสว่าง (Luminous Fflux) ออกมารอบทิศทางมีหน่วยเป็นลูเมน (lumen) ซึ่งจะแสดงถึงค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ หรือบางทีเรียกว่ากำลังการส่องสว่าง (Candle Power) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (candela) หรือลูเมนต่อสเตอเรเดียน (lumen per steradian) ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเล็กมาก เสมือนแหล่งกำเนิดแสงนั้นเป็นจุด (Point Source)

หากพิจารณานำแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (lumen) และเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา (cd) จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, 2540: 19)

แคนเดลา (Candela) คือหน่วยของความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบนพื้นผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลตินั่ม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุม ที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง



ภาพที่ 2 - 12 แสดงความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 14)

2.4 ทฤษฎีอื่น ๆ ของแสง

2.4.1 **ความจ้าของแสงสว่าง** (Luminance) เมื่อแสงส่องกระทบถูกวัตถุใดๆ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตาของเรา ทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นๆ หากแสงที่เข้าสู่ตาเรามีค่าความสว่างมากจะเรียกว่ามีความจ้ามาก ความจ้าของแสงสว่าง ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการสะท้อน หรือส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุใดๆ ทำให้วัตถุนั้นเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสง และความสามารถในการปรับตัวของสายตา

ความจ้าเป็นปริมาณที่เกิดขึ้นระหว่างความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (footlambert) หรือแคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$fL = fc \times RF$$

หรือ

$$L\ (cd/m^2) = \frac{E\ (lux) \times RF}{\pi}$$

เมื่อ fL = ความจ้าของแสงสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต

fc = ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

RF = ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 937)

$1\ cd/m^2 = 0.2919$ footlambert

1 footlambert $= 3.4263\ cd/m^2$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Category of Visual Task	Required Luminance	
	cd/ m^2	fL (footlambert)
Casual	10 - 20	3 - 6
Ordinary	20 - 100	6 - 30
Moderate	100 - 200	30 - 60
Difficult	200 - 400	60 - 120
Severe	Above 400	Above 120

ตารางที่ 2-2 แสดงระดับความรู้สึกของมนุษย์ต่อการรับรู้ความจ้าบนวัตถุ

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 937)

Item	Luminance in cd / m^2	Luminance in fL (footlambert)
Recommended road luminance	1 - 2	0.30 – 0.60
Minimum discernible, chromatic	2 - 3	0.60 – 0.90
Clearly discernible human feathers	15 - 20	4.40 – 5.80
Preferred wall luminance	25 - 150	7.25 – 43.50
Preferred ceiling luminance	50 - 250	14.50 – 72.50
Preferred task luminance	100 - 500	29 - 145
Permissible luminaire Luminance (depending on position in field of vision)	1000 - 7000	290 - 2030

ตารางที่ 2-3 แสดงการส่องสว่างของวัตถุกับการรับรู้ของมนุษย์

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 932)

2.4.2 **ความเปรียบต่าง** (Contrast) คือค่าความจ้าของแสงสว่างของวัตถุ (Luminance) หรือเหตุการณ์ที่ต้องการมอง เมื่อเทียบกับความจ้าของแสงสว่างรอบข้าง ยิ่งมีความเปรียบต่างมาก การมองเห็นวัตถุนั้นก็จะง่ายขึ้น ในขณะที่ความต้องการปริมาณแสง และเวลาในการรับภาพจะน้อยลง เช่น วัตถุสีขาวบนพื้นสีดำจะมองเห็นได้ง่ายกว่า วัตถุสีดำบนพื้นสีดำหรือสีเข้ม ซึ่งมีความเปรียบต่างน้อย อย่างไรก็ตามหากเหตุการณ์ที่เราพิจารณามีค่าความเปรียบต่างมากเกินไป เมื่อเทียบกับสภาพรอบข้าง ก็จะทำให้สายตาเกิดการปรับตัวมากเกินไป และอาจเป็นผลเสียกับสายตา ซึ่งลักษณะการที่สายตาต้องปรับตัวอย่างรวดเร็ว เราจะเรียกว่า แสงบาดตา (Glare)

ความเปรียบต่างสามารถกำหนด เป็นอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุ และของสภาพรอบข้างของวัตถุนั้นๆ เมื่อพิจารณาจากจุดที่ทำการสังเกต มีสูตรดังนี้

$$C = \frac{L_T - L_B}{L_B} \quad \text{หรือ} \quad \frac{L_B - L_T}{L_B} \quad \text{หรือ} \quad \left| \frac{L_B - L_T}{L_B} \right|$$

เมื่อ C = ความเปรียบต่าง (Contrast)

L_B = ค่าความจ้าของแสงสว่าง (Luminance) ของสภาพแวดล้อม

L_T = ค่าความจ้าของแสงสว่าง (Luminance) ของวัตถุ

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 931)

ค่าความเปรียบต่างยิ่งมาก การมองเห็นวัตถุก็จะง่ายขึ้น แต่หากค่าความเปรียบต่างมีค่ามากเกินไปก็จะเกิดเป็นแสงจ้า (Glare)

ภาพที่ 2 -13 ความเปรียบต่าง (Contrast) ของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียงในการมองเห็นวัตถุ

(ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 1-11)

อัตราส่วนความเปรียบต่างสูงสุดสำหรับการใช้งานในลักษณะต่างๆ

อัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างพื้นที่ใช้งานกับพื้นที่ใกล้เคียง	3 : 1
อัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างพื้นที่ใช้งานกับพื้นที่ห่างไกลออกไปที่มืดกว่า	10 : 1
อัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างพื้นที่ใช้งานกับพื้นที่ห่างไกลออกไปที่สว่างกว่า	1 : 10
อัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างช่องแสงหรือหน้าต่างกับผนังใกล้เคียง	20 : 1
อัตราส่วนความเปรียบต่างสูงที่สุดที่อยู่ในขอบเขตการมองเห็น	40 : 1
อัตราส่วนความเปรียบต่างสูงสุดเมื่อต้องการเน้นที่วัตถุ	50 : 1

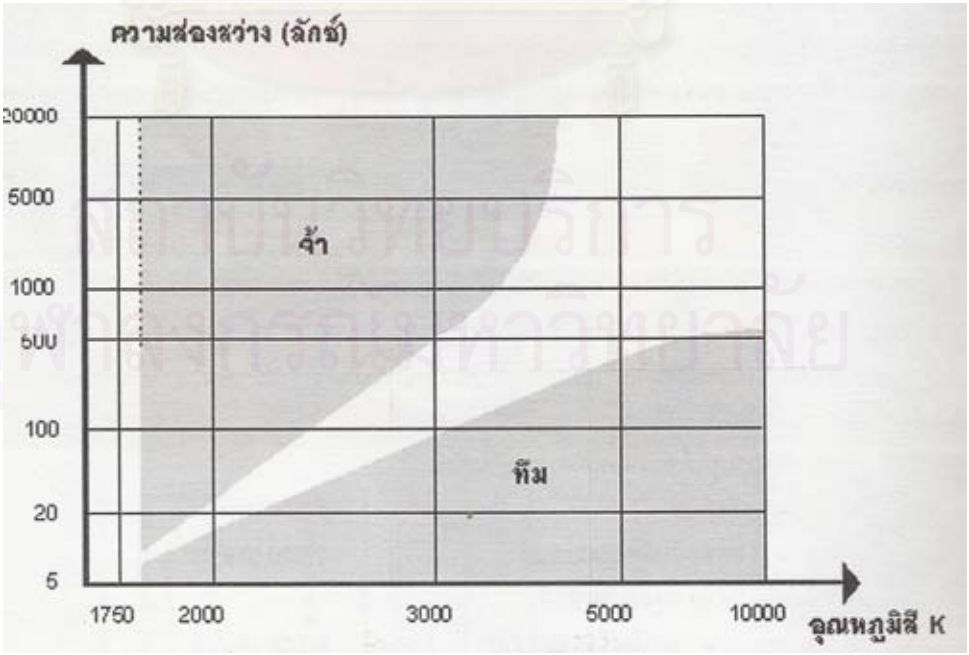
(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 958)

2.4.3 **อุณหภูมิสีของแสง** การบอกสีทางด้านแสงสว่าง ระบุด้วยอุณหภูมิสี ซึ่งหมายถึงสีที่เกิดจากการเผาไหม้วัสดุสีดำ (Blackbody) ซึ่งมีการดูดซับความร้อนได้สมบูรณ์ด้วยอุณหภูมิที่กำหนด เช่น หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์คูลไวท์มีอุณหภูมิสี 6500 องศาเคลวิน หมายถึง เมื่อเผาวัตถุสีดำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 6500 เคลวิน วัตถุนั้นจะเปล่งแสงออกมาเป็นสีขาวปนน้ำเงินหรือเรียกว่าสีคูลไวท์เป็นต้น

ตัวอย่างอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ

- เทียนไข 1900 เคลวิน
- หลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ 2800 เคลวิน
- หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และคอมแพคฟลูออเรสเซนต์
  - วอร์มไวท์ (Warm White) 3500 เคลวิน
  - คูลไวต์ (Cool White) 4500 เคลวิน
  - เดย์ไลท์ (Daylight) 6500 เคลวิน

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสีของแสงและความส่องสว่าง การเลือกชนิดของหลอดไฟที่ต้องการนำไปใช้ใช้ควรมีสัมพันธ์กันระหว่างความส่องสว่างและอุณหภูมิสีของแสงจากหลอดไฟดังนี้



ภาพที่ 2 - 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสีและระดับความส่องสว่าง

(ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 1-16)

พิจารณาจากภาพซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิสีและระดับการส่องสว่าง ความหมายของกราฟหมายถึง หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงต่ำควรใช้กับการส่องสว่างต่ำ หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงสูงควรใช้กับการส่องสว่างสูง และถ้าใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงต่ำกับการส่องสว่างสูงจะทำให้รู้สึกแสงจ้า และถ้าใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงสูงกับการส่องสว่างต่ำจะรู้สึกทึม

ตัวอย่างการเลือกสีของแสงจากหลอดไฟให้สัมพันธ์กับระดับการส่องสว่างของการใช้งานในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้เป็นเพียงข้อแนะนำเท่านั้นโดยขึ้นอยู่กับสไตล์การตกแต่งอาคารด้วย

- บ้านพักอาศัย โรงแรม การส่องสว่างเฉลี่ยของแสงบรรยากาศ 100 ลักซ์ ควรใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงอยู่ในระหว่าง 2400 ถึง 3000 องศาเคลวินซึ่งตรงกับค่าอุณภูมิสีของหลอดไฟชนิดอินแคนเดสเซนต์ ฟลูออเรสเซนต์ และคอมแพคฟลูออเรสเซนต์สีวอร์มไวท์
- ร้านอาหารบรรยากาศไฟสลัว การส่องสว่าง 20 ลักซ์ จึงนิยมจุดเทียนไขที่มีอุณหภูมิสีของแสงอยู่ในช่วงระหว่าง 1900 ถึง 2200 องศาเคลวิน
- สำนักงาน การส่องสว่าง 500 ลักซ์ ควรใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงอยู่ในช่วงระหว่าง 3000 ถึง 7000 องศาเคลวิน ซึ่งตรงกับค่าอุณภูมิสีของแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และคอมแพคฟลูออเรสเซนต์สีคูลไวท์ และเดย์ไลท์
- ห้องเขียนแบบ การส่องสว่าง 700 ลักซ์ ควรใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงมากกว่า 3300 องศาเคลวิน ซึ่งตรงกับค่าอุณภูมิสีของแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และคอมแพคฟลูออเรสเซนต์สีคูลไวท์ และเดย์ไลท์

2.4.4 **ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง** ในพื้นที่ทำงานที่ต้องการการส่องสว่างสม่ำเสมอควรมีอัตราการส่องสว่างต่ำสุด ต่อการส่องสว่างเฉลี่ยไม่เกิน 0.8 ตัวอย่างเช่น ในห้องทำงานที่ต้องการการส่องสว่างเฉลี่ยที่ 500 ลักซ์ บริเวณที่มีการส่องสว่างน้อยที่สุดไม่ควรต่ำกว่า 0.8 ของ 500 นั่นคือไม่ควรต่ำกว่า 400 ลักซ์

2. 5 **ความรู้พื้นฐานเรื่องหลอดไฟ**

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ส่องสว่างภายในอาคารในงานวิจัยที่ศึกษาระบบแสงประดิษฐ์นี้คือหลอดไฟ โดยหลอดไฟมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณลักษณะแตกต่างกัน ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่างกัน ให้แสงสว่างที่มีคุณภาพต่างกัน ฉะนั้นการนำหลอดไฟมาใช้ จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของความต้องการการส่องสว่างและเรื่องคุณภาพของแสงในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

2.5.1 **ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกหลอดไฟ**การเลือกใช้หลอดไฟเพื่อใช้งานต้องพิจารณาหลายๆองค์ประกอบร่วมกันได้แก่

- **ค่าฟลักซ์การส่องสว่าง** (Luminous flux) คือปริมาณแสงที่ส่องออกมาจากหลอดไฟ หน่วยเป็นลูเมน โดยทั่วไปปริมาณแสงจากหลอดไฟชนิดเดียวกันจะแปรผันตรงกับกำลังวัตต์
- **ค่าประสิทธิผล** (Efficacy) คืออัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอดไฟต่อกำลังวัตต์ที่ใช้ หลอดที่มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างสูง หมายความว่า หลอดไฟนี้ให้ปริมาณแสงออกมามากแต่ใช้พลังงานวัตต์ต่ำ ซึ่งค่ากำลังมี 2 ลักษณะ คือ กำลังของหลอด และกำลังของวงจรหลอดรวมบัลลาสต์ จึงทำให้มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด และ ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของวงจร
- **ความถูกต้องของสี** (Color Rendering) คือสีที่ส่องไปกระทบวัตถุ ให้ความถูกต้องของสีของวัตถุมากน้อยเพียงใด หลอดที่มีความถูกต้องเท่ากับ 100 หมายความว่าเมื่อใช้หลอดนี้ส่องวัตถุชนิดหนึ่งแล้วสีของวัตถุที่เห็นไม่มีความผิดเพี้ยนของสี
- **อุณหภูมิสี** (Color Temperature) หมายถึง สีของหลอดไฟเทียบกับสีที่เกิดเนื่องจากการเผาวัตถุดำในอุดมคติให้ร้อนที่อุณหภูมินั้นมีหน่วยเป็นองศาเคลวิน
- **อายุการใช้งาน** (Life Time) หมายถึง อายุการใช้งานของหลอดไฟโดยเฉลี่ยของหลอดไฟ หน่วยเป็นชั่วโมง

2.5.2 **ประเภทของหลอดไฟ** หลอดไฟแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ดังนี้

- **หลอดไฟอินแคนเดสเซนต์** เป็นหลอดไฟมีไส้ที่มีประสิทธิผล (Efficacy) ต่ำ ซึ่งมีค่าประสิทธิผลประมาณ 10-15 ลูเมนต่อวัตต์ และมีอายุการใช้งานสั้น ประมาณ 1000 – 3000 ชม. หลอดไฟประเภทนี้มีอุณหภูมิสีของแสงประมาณ 2800 องศาเคลวิน แต่ให้แสงที่มีค่าความถูกต้องของสีเท่ากับ100
- **หลอดไฟปล่อยประจุ** เป็นหลอดไฟที่ไม่ต้องใช้ไส้หลอด หลอดไฟในตระกูลนี้มีหลอดไฟปรอทความดันไอต่ำ หลอดไฟปรอทความดันไอสูง หลอดไฟโซเดียมความดันไอต่ำ หลอดไฟโซเดียมความดันไอสูง และหลอดไฟเมทัลเฮไลด์
- **หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์** เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำชนิดหนึ่ง สีของหลอดไฟ โดยทั่วไปนิยมใช้ 3 สี คือ เดย์ไลท์ (Daylight) , คูลไวท์ (Cool White) และวอร์มไวท์ (Warm White) หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์มีหลากหลายรูปร่างทั้งแบบ หลอดไฟตรงมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่นิยมใช้ในงานกันทั่วไป คือแบบหลอดไฟตรง T8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร ขนาดพลังงานไฟฟ้าที่นิยมใช้คือ 18 และ 36 วัตต์ และหลอดไฟตรง T5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร แบ่งตามพลังงานไฟฟ้ามีหลายขนาดตั้งแต่ 14 ,21 ,28 และ35 วัตต์ โดยหลอดไฟ T5 จะมีประสิทธิผลสูงกว่า T8 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์อีกแบบคือแบบวงกลม ขนาด 22,32 และ 40 วัตต์ ประสิทธิผล (efficacy) การส่องสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ค่อนข้างสูงคือ ประมาณ 50 -100 ลูเมนต่อวัตต์ ซึ่งถือว่าสูงพอสมควร และช่วยทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ มีอายุการใช้งาน 8,000 - 20,000 ชม. ให้แสงที่มีค่าความถูกต้องของสีประมาณ 60 ถึง 95
- **หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์** เป็นหลอดไฟปล่อยประจุความดันไอต่ำ โดยทั่วไปนิยมใช้ 3 สีคือ เดย์ไลท์ (Daylight) , คูลไวท์ (Cool White) และวอร์มไวท์ (Warm White) เช่นเดียวกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ แบบที่ใช้งานกันมากมีทั้งชนิดต่อบัลลาสต์ภายนอก คือหลอดไฟเดี่ยว (Single Tubular ,TC-S) มีขนาดวัตต์ 10,13,18,26 วัตต์ และ ชนิดขั้วเกลียวที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน มีขนาดตั้งแต่ 4-25 วัตต์ เป็นหลอดไฟที่พัฒนาขึ้นมาแทนที่ หลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ และมีประสิทธิผลสูงกว่าหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ คือ ประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ และอายุการใช้งานประมาณ 3000 - 12000 ชม.

- **หลอดไฟโซเดียมความดันไอต่ำ** หลอดไฟประเภทนี้มีสีเหลืองจัดและมีประสิทธิผลมากที่สุดในบรรดาหลอดไฟทั้งหมด คือมีประสิทธิผลประมาณ120 - 200 ลูเมนต่อวัตต์ แต่ความถูกต้องของสีน้อยที่สุด ข้อดีของแสงสีเหลือง เป็นสีที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ไวที่สุด หลอดไฟประเภทนี้จึงเหมาะเป็น ไฟถนน มีอายุการใช้งานของหลอดนานประมาณ 16000 ชม. หลอดมีขนาดวัตต์ 18,35,55,90,135 และ180 วัตต์
- **หลอดไฟโซเดียมความดันไอสูง** หลอดไฟโซเดียมความดันไอสูงมีประสิทธิผลรองจาก หลอดไฟโซเดียมความดันไอต่ำ คือ มีประสิทธิผลประมาณ 70-90 ลูเมนต่อวัตต์ แต่ความถูกต้องของสีดีกว่าหลอดไฟโซเดียมความดันไอต่ำ คือ ประมาณ 20 และมีอุณหภูมิสีประมาณ 2500 เคลวิน เป็นอุณหภูมิสีต่ำเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการการส่องสว่างมาก เช่น ไฟถนน ไฟบริเวณ ซึ่งต้องการการส่องสว่างประมาณ 5-30 ลักซ์ และอายุการใช้งานประมาณ 24000 ชม.มีขนาดวัตต์ 50,70,100,150,250,400 และ 1000 วัตต์
- **หลอดไฟปรอทความดันไอสูง** หรือนิยมเรียกว่า หลอดไฟแสงจันทร์ มีประสิทธิภาพสูงเท่ากับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ คือมีประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟประมาณ 50 - 80 ลูเมนต่อวัตต์ แสงที่ออกมามีความถูกต้องของสีประมาณ 60 ส่วนใหญ่ใช้แทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เมื่อต้องการวัตต์สูงๆ ในที่ที่มีเพดานสูง อุณหภูมิสีประมาณ 4000-6000 เคลวิน อายุการใช้งานประมาณ 8000 - 24000 ชม. มีขนาด 50,80,125,250,400,700 และ 1000 วัตต์
- **หลอดไฟเมทัลฮาไลด์** มีสเปกตรัมแสงครบทุกสีในช่วงที่ตาคนมองเห็นจึงทำให้ทุกสีของวัตถุที่ส่องด้วยหลอดชนิดนี้เด่น นอกจากความถูกต้องของสีสูงแล้ว แสงที่ออกมามีตั้งแต่ 3000 - 4500 เคลวิน ส่วนใหญ่นิยมใช้กับ ศูนย์การค้า สนามกีฬาที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์ มีอายุการใช้งาน 1000 - 12000 ชม. และมีขนาดวัตต์ 100,125,250,300,400,700 และ 1000 วัตต์

2. 6 ความรู้พื้นฐานเรื่องโคมไฟ

โคมไฟมีให้เลือกใช้มากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ประโยชน์ของโคมไฟ คือ ทำหน้าที่บังคับทิศทางของแสงให้ส่องไปในทิศทางที่ต้องการ ช่วยลดแสงบาดตาจากหลอดไฟ ทำให้คุณภาพของแสงสว่างดีขึ้น

2.6.1 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกโคมไฟ

- **ประสิทธิภาพของโคมไฟ** (Luminaire Efficiency) หรือ อัตราส่วนแสงจากโคม (Light Output Ratio) คือ อัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกจากดวงโคม ต่อปริมาณแสงที่ออกจากหลอดไฟ ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามาก นั่นคือประสิทธิภาพของโคมไฟในการสะท้อนแสงออกมาดี
- **แสงบาดตา** (Glare) เป็นค่าที่แสดงคุณภาพแสงของดวงโคม ควรเลือกดวงโคมที่มีแสงบาดตาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปดวงโคมที่ผลิตจากผู้ผลิตชั้นนำจะมีการผลิตที่ได้มาตรฐาน มีค่าแสงบาดตาน้อย
- **กราฟการกระจายแสงของโคมไฟ** การนำโคมไฟไปใช้งานให้เหมาะสม จำเป็นต้องพิจารณากราฟกระจายแสงของโคมไฟที่เหมาะสมกับงาน บางพื้นที่ต้องใช้โคมไฟที่มีลักษณะการกระจายแสงแบบส่องเน้น บางพื้นที่ต้องการใช้โคมไฟที่มีการกระจายแสงแบบให้ลำแสงกว้างหรือแบบปีกค้างคาว
- **ความปลอดภัยของโคมไฟ** โคมไฟที่ประหยัดพลังงานจะต้องมีความปลอดภัยในการใช้งานด้วย เช่น ต้องมีการต่อลงดินเพื่อไม่เป็นอันตรายกับผู้ที่ต้องสัมผัส และไม่มีคมจนเกิดอันตรายกับผู้สัมผัส
- **การระบายความร้อนของโคมไฟ** มีผลต่อประสิทธิภาพของโคมมาก เพราะถ้าไม่มีการระบายอากาศที่ดีจะทำให้ความร้อนสะสมทำให้อากาศภายในโคมไฟและหลอดไฟร้อนขึ้น ส่งผลให้ความสว่างที่เปล่งออกจากหลอดไฟน้อยลง บางครั้งลูเมนของหลอดไฟตกลงถึง 25 - 40 % ดังนั้นการเลือกโคมไฟต้องพิจารณาเรื่องการระบายอากาศในดวงโคมด้วย ซึ่งมักไม่ค่อยได้พิจารณาโคมไฟที่ประหยัดพลังงาน ควรมีการระบายความร้อนได้ดี หากมีอุณหภูมิสะสมในโคมไฟมากเกินไป อาจทำให้ปริมาณแสงที่ออกจากหลอดลดลง
- **อายุการใช้งาน** โคมไฟที่มีอายุการใช้งานยาวนานอาจประกอบจาก วัสดุที่สามารถใช้งานได้นานตามที่ต้องการโดยไม่ผุกร่อน ไม่เปลี่ยนรูปเมื่อมีการบำรุงรักษา

- **สถานที่ติดตั้ง** การเลือกโคมไฟแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับว่าต้องการนำไปใช้งานอะไร ต้องการคุณภาพแสงมากน้อยเพียงใด หรือเน้นในเรื่องปริมาณแสงอย่างเดียว ต้องการการป้องกันทางกล ป้องกันน้ำ ฝุ่นผง มากน้อยเพียงใด
- **วัสดุสะท้อนแสงในโคมไฟและคุณสมบัติของตัวสะท้อนแสง** วัสดุที่ใช้ในการควบคุมแสงมี 2 ชนิดคือ วัสดุสำหรับสะท้อนแสง และวัสดุสำหรับส่งผ่านแสง

  วัสดุสำหรับสะท้อนแสง อาจมีผิวมันหรือผิวด้าน ถ้าเป็นชนิดผิวมันจะสะท้อนแสงออกไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการตกกระทบของแสง เกิดเป็นการสะท้อนแสงแบบกระจกเงา แต่ถ้าเป็นวัสดุผิวหยาบก็จะกระจายแสงที่ตกกระทบลงมาออกเป็นหลายทิศทาง เกิดเป็นการสะท้อนแสงแบบกระจายแสง การออกแบบความโค้งของตัวสะท้อนแสงของดวงโคม เพื่อให้ได้แสงออกมาเพื่อใช้ตามที่ต้องการในแต่ละดวงโคม โดยมีแสงบาดตาน้อย หรือ การออกแบบการส่งผ่านเพื่อให้แสงหักเหออกไปในทิศทางที่ต้องการ เช่น ตัวกรองแสงในดวงโคมส่องถนน เป็นต้น

  วัสดุส่งผ่านแสง อาจทำด้วยแก้ว หรือ พลาสติก มีไว้เพื่อส่งผ่านแสงออกไปในทิศทางที่ต้องการ โดยมีลักษณะผิวให้กระจายแสง หลากหลายแบบ เช่น แบบผิวส้ม แบบผิวเรียบ แบบผิวปริสเมติก เป็นต้น

2.6.2 **ชนิดของโคมไฟ** พิจารณาได้จากลักษณะทิศทางการให้แสงจากโคมไฟดังนี้

โคมไฟส่องลง (Downlight Luminaire) คือ โคมไฟที่ให้แสงลงด้านล่างมากกว่า 90% เหมาะสำหรับใช้งานส่องสว่างทั่วไป อาจจะเป็นชนิดฝัง ติดลอย แขวน หรือกึ่งฝังกึ่งลอย

- **โคมไฟส่องลงหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์**
  - ใช้กับงานเฉพาะที่ต้องการความสวยงาม
  - ใช้กับงานที่เปิดใช้เป็นครั้งคราว
  - ใช้กับงานที่ต้องการปรับหรี่แสง
- **โคมไฟส่องลงหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์**
  - ใช้กับงานที่ต้องการเปิดใช้งานนานๆ
  - โคมไฟที่ใช้เป็นชนิดที่ถูกออกแบบมาสำหรับหลอดคอมแพค-ฟลูออเรสเซนต์โดยเฉพาะ

- **โคมไฟส่องลงหลอดไฟปล่อยประจุความเข้มสูง**
    - ใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูงหรือบริเวณที่มีเพดานสูง
    - ใช้กับงานที่ต้องการเปิดใช้งานนานๆ
    - ใช้เวลาในการจุดหลอดนานประมาณ 3-10 นาที

โคมไฟส่องขึ้น (Uplight Luminaire) คือ โคมไฟที่ให้แสงขึ้นไปด้านบนมากกว่า 90% เพื่อให้แสงสะท้อนที่เพดาน และแสงดังกล่าวก็จะตกกระทบมาที่พื้นที่ทำงาน ดวงโคมดังกล่าวควรใช้ร่วมกับเพดานที่มีสีอ่อน หรือค่าการสะท้อนแสงสูง มักใช้กับบริเวณที่ต้องการความสม่ำเสมอของแสง สำหรับบริเวณที่การส่องสว่างน้อย ประมาณ 200-300 ลักซ์ และสำหรับห้องคอมพิวเตอร์ที่ไม่ต้องการแสงสะท้อนเนื่องจากโคมไฟส่องลง

ดวงโคมส่องขึ้น มีคุณสมบัติและการใช้งานที่ควรพิจารณา ดังนี้

- มีความสม่ำเสมอของแสงและทำให้ห้องที่แคบดูกว้างและมีบรรยากาศดี
- ดวงโคมส่องขึ้นโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพต่ำ แต่มีคุณภาพของแสงสูง คือไม่มีแสงบาดตา ทำให้เหมาะกับงานที่ต้องการคุณภาพแสงสูง เช่นห้องคอมพิวเตอร์

2. 7 **ความรู้พื้นฐานเรื่องบัลลาสต์**

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นและมีความสำคัญในวงจรแสงสว่าง เพราะนอกจาก จะช่วยในการทำงานของวงจรให้สมบูรณ์แล้ว ยังมีผลต่อปริมาณแสงสว่าง อายุการใช้งาน และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในวงจรด้วย หน้าที่ของบัลลาสต์มีอยู่ 2 อย่าง ที่สำคัญ คือ ช่วยสร้างให้เกิดแรงดันเพียงพอในการจุดหลอดก๊าซดีสชาร์จให้ติด ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรขณะสตาร์ท และทำงาน และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอด ให้มีค่าเหมาะสม

บัลลาสต์แกนเหล็ก มีน้ำหนักมากราคาถูก ค่าการสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์แกนเหล็กที่ใช้กับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 9 วัตต์ต่อบัลลาสต์ 1 ตัว ค่าการสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์แกนเหล็กที่ใช้กับหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 3 วัตต์ต่อบัลลาสต์ 1 ตัว

บัลลาสต์การสูญเสียต่ำ บัลลาสต์การสูญเสียต่ำหรือเรียกอีกอย่างว่า บัลลาสต์โลว์ลอส เป็นบัลลาสต์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปกับการทำงานของบัลลาสต์น้อยกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก ค่าการสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์การสูญเสียต่ำที่ใช้กับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 6 วัตต์ต่อบัลลาสต์ 1ตัว

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ช่วยลดการใช้กำลังไฟฟ้าในระบบส่องสว่าง โดยลดค่าความสูญเสียพลังงานของ บัลลาสต์ ทำให้อายุการใช้งานของหลอดไฟนานขึ้นกว่าการใช้บัลลาสต์แกน

เหล็ก ค่าการสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 3 วัตต์ต่อบัลลาสต์ 1ตัว ค่าการสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 1 วัตต์ต่อบัลลาสต์ 1ตัว

2.8 การคำนวณการส่องสว่าง

2.8.1 **การคำนวณแบบจุดต่อจุด** (Point by Point) คือการคำนวณหาการส่องสว่างทีละจุดที่ตำแหน่งที่ต้องการ เช่น การคำนวณการส่องสว่างเนื่องจากดวงโคมส่องสว่างแบบสปอตเพื่อใช้กับรูปปั้นหรือรูปภาพหรือในบางบริเวณเพื่อหาค่าการส่องสว่างใต้โคมที่จุดที่ต้องการ สำหรับการคำนวณแบบนี้เป็นวิธีที่คิดหาปริมาณการส่องสว่างจากหลอดไฟและดวงโคมโดยตรงทำให้ง่ายต่อการคิดคำนวณหาระดับการส่องสว่าง ณ จุดใดใดในห้อง แต่หากต้องการคำนวณหลายจุดหรือมีแหล่งกำเนิดแสงจำนวนมากจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณนานมาก

สูตรสำหรับการคำนวณการส่องสว่างแบบจุดต่อจุดมีสมการดังนี้

$$E = \frac{CP}{r^2} \cos \theta$$

เมื่อ E = ระดับการส่องสว่าง (ลักซ์), (ฟุตแคนเดิล)

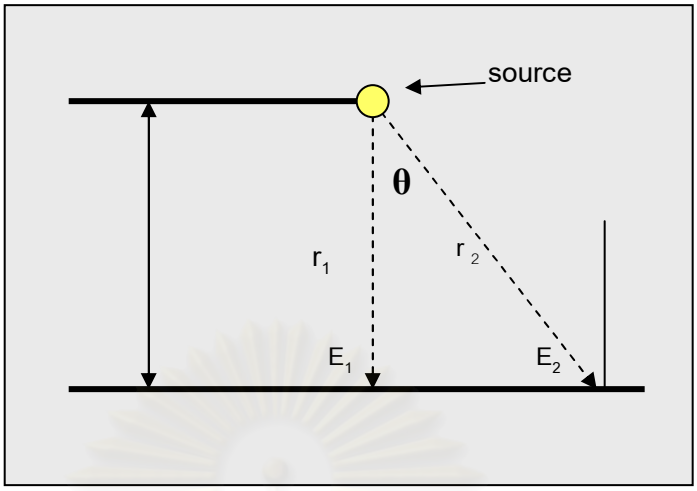
CP = ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (แคนเดลา)

r = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่ต้องการคำนวน (เมตร), (ฟุต)

θ = มุมที่รังสีของแสงกระทำต่อพื้นผิวของจุดที่ต้องการคำนวน (องศา)

(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 284)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-15 แสดงรูปประกอบการคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุดในแนวนอน

(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 282)

การส่องสว่างใต้ดวงโคม หาได้จาก

$$E_1 = \frac{CP}{r_1^2}$$

เมื่อ E_1 = ระดับการส่องสว่าง (ลักซ์), (ฟุตแคนเดิล)

CP = ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (แคนเดลา)

r_1 = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่ต้องการคำนวน (เมตร), (ฟุต)

(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 284)

การส่องสว่างในแนวนอน ณ จุดใดๆ หาได้จาก

$$E_2 = \frac{CP \cos \theta}{r_2^2}$$

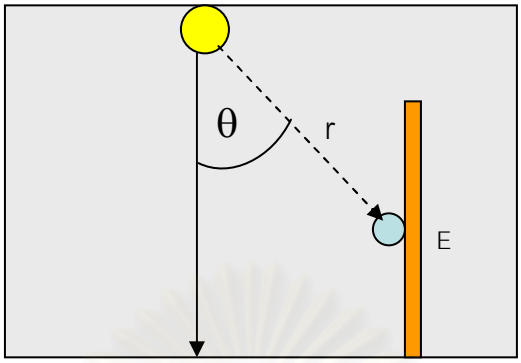
เมื่อ E_2 = ระดับการส่องสว่าง (ลักซ์), (ฟุตแคนเดิล)

CP = ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (แคนเดลา)

r_2 = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่ต้องการคำนวน (เมตร), (ฟุต)

θ = มุมที่รังสีของแสงกระทำต่อพื้นผิวของจุดที่ต้องการคำนวน (องศา)

(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 284)



ภาพที่ 2-16 แสดงรูปประกอบการคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุดในแนวตั้ง

(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 285)

การส่องสว่างในแนวตั้ง ณ จุดใดๆ หาได้จากสูตร

$$E = \frac{CP \sin \theta}{r^2}$$

เมื่อ E_2 = ระดับการส่องสว่าง (ลักซ์), (ฟุตแคนเดิล)

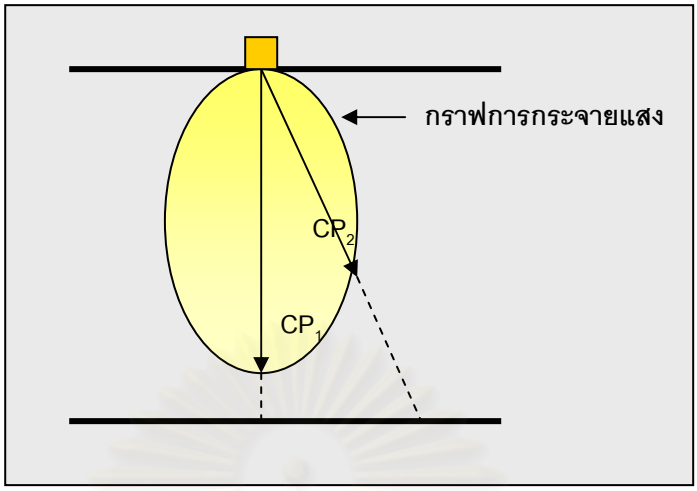
CP = ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (แคนเดลา)

r = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่ต้องการคำนวน (เมตร), (ฟุต)

θ = มุมที่ตำแหน่งที่ต้องการคำนวนกระทำกับแหล่งกำเนิดแสง (องศา)

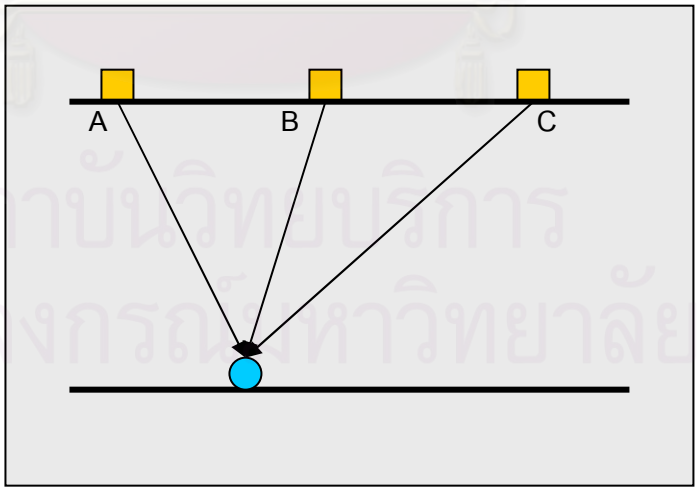
(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 285)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-17 แสดงการคำนวณจุดต่อจุดจากดวงโคม
(ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 4-32)

จากภาพที่ 2 – 17 เมื่อต้องการคำนวณการส่องสว่างที่จุดใดๆก็ต้องหาความเข้มแสง (แคนเดลา) จากกราฟการกระจายแสงของดวงโคมในทิศทางที่ส่องไปที่จุดที่ต้องการหาก่อนที่จะใช้สูตรในสมการข้างต้นต้องอาศัยค่าความเข้มแสงจากดวงโคมในทิศทางที่ต้องการคำนวณการส่องสว่าง



ภาพที่ 2-18 แสดงการหาการส่องสว่างเนื่องจากหลายดวงโคม
(ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 4-32)

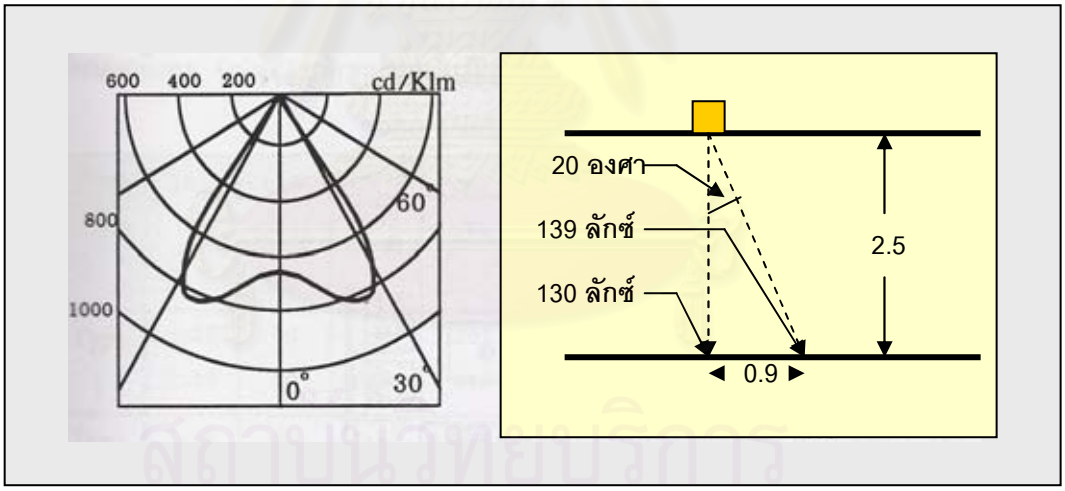
ในกรณีที่มีดวงโคมหลายดวงโคมสามารถหาการส่องสว่างที่จุดใดๆ เนื่องจากดวงโคมแต่ละดวงโคมแล้วนำมารวมกัน จากรูปต้องหาการส่องสว่างเนื่องจากดวงโคม A, Bและ C ที่จุด P แล้วนำมารวมกัน เช่น A, B และ C ได้ระดับการส่องสว่าง 50, 60 และ 10 ลักซ์ ดังนั้นในจุด P มีค่าการส่องสว่าง 50+60+10 = 120 ลักซ์

พิจารณาจากภาพที่ 2 – 19 ซึ่งเป็นตัวอย่างกราฟกระจายแสงของดวงโคม หลอดไฟอินแคนเดสเซนต์100 วัตต์ GLS มีปริมาณแสง1300 ลูเมน สมมุติต้องการหาการส่องสว่าง ที่พื้นที่ใต้ดวงโคมสำหรับความสูง 2.5 เมตร และหาการส่องสว่างที่พื้นที่ห่างจากดวงโคมทำมุม 20 องศา

จากรูปได้ความเข้มแสงที่ใต้ดวงโคม 625 cd/klm หลอดไฟมีปริมาณแสง 1.3 กิโลลูเมน

ดังนั้นความเข้มแสงของดวงโคมมีค่า = 625x1.3 = 813 แคนเดลา

การส่องสว่างใต้ดวงโคม $= \frac{813}{6.25}$ = 130 ลักซ์



ภาพที่ 2-19 แสดงกราฟกระจายแสงของดวงโคม หลอดไฟ 100วัตต์ GLS
(ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 4-33)

ความเข้มแสงที่มุม 20 องศา = 810 cd/klm

ความเข้มแสงที่มุม 20 องศาของดวงโคม = 810x1.3 =1053 แคนเดลา

การส่องสว่างที่พื้น $= \frac{1053}{7.06} \cos 20$

= 140 ลักซ์

(ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 4-33)

2.8.2 **วิธีการคำนวณหาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างแบบจุดต่อจุดโดยวิธีการใช้ค่าตัวคูณประกอบ** (Multiplying Factor) วิธีการคำนวณหาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างใช้การคำนวณโดยวิธีการใช้ค่าตัวคูณประกอบ (multiplying factor) เพื่อช่วยในการคำนวณให้ง่ายและใช้เวลาน้อยลงมีสูตรในการคำนวณมีดังนี้

$$E = \frac{CP \times Multi}{100}$$

เมื่อ E = ปริมาณแห่งการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (footcandle)

CP = ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (แคนเดลา)

Multi = ค่าตัวคูณประกอบ (multiplying factor)

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545: 166)

การคำนวณวิธีนี้จะต้องมีตารางค่าตัวคูณประกอบ เพื่อช่วยในการหาค่าของมุม θ และค่าตัวคูณประกอบ (multiplying factor)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	26	32
4	0°0' 6.250	14° 5.707	27° 4.472	37° 3.200	45° 2.210	51° 1.524	56° 1.066	60° .764	63° .599	66° .419	68° .320	72° .198	75° .107	79° .047	81° .022	83° .012
5	0°0' 4.000	11° 3.771	22° 3.202	31° 2.522	39° 1.904	45° 1.414	50° 1.050	54° 0.785	58° 0.595	61° 0.458	63° 0.358	67° 0.228	72° 0.126	76° 0.057	79° 0.027	81° 0.015
6	0°0' 2.778	9° 2.673	18° 2.372	27° 1.987	34° 1.600	40° 1.260	45° 0.982	49° 0.766	53° 0.600	56° 0.474	59° 0.378	63° 0.249	68° 0.142	73° 0.066	77° 0.032	79° 0.017
7	0°0' 2.041	8° 1.980	16° 1.814	23° 1.585	30° 1.336	36° 1.100	41° 0.893	45° 0.722	49° 0.583	52° 0.473	55° 0.385	60° 0.261	65° 0.154	71° 0.074	75° 0.036	78° 0.020
8	0°0' 1.563	7° 1.527	14° 1.427	21° 1.283	27° 1.118	32° 0.953	37° 0.800	41° 0.666	45° 0.552	48° 0.458	51° 0.381	56° 0.267	62° 0.163	68° 0.080	73° 0.040	76° 0.022
9	0°0' 1.235	6° 1.212	13° 1.148	18° 1.054	24° 0.943	29° 0.825	34° 0.711	38° 0.607	42° 0.515	45° 0.437	48° 0.370	53° 0.267	59° 0.168	66° 0.085	71° 0.043	74° 0.025
10	0°0' 1.000	5°43' 0.985	11° 0.943	17° 0.879	22° 0.801	27° 0.716	31° 0.631	35° 0.550	39° 0.476	42° 0.411	45° 0.354	50° 0.263	56° 0.171	63° 0.089	69° 0.046	73° 0.027
11	0°0' 0.826	5°12' 0.816	10° 0.787	15° 0.742	20° 0.686	24° 0.623	29° 0.559	32° 0.496	36° 0.437	39° 0.383	42° 0.335	48° 0.255	54° 0.171	61° 0.092	67° 0.049	71° 0.028
12	0°0' 0.694	4°46' 0.687	9° 0.668	14° 0.634	18° 0.593	23° 0.546	27° 0.497	30° 0.448	34° 0.400	37° 0.356	40° 0.315	45° 0.246	51° 0.169	59° 0.094	65° 0.051	69° 0.030
13	0°0' 0.592	4°24' 0.587	9° 0.571	13° 0.547	17° 0.517	21° 0.481	25° 0.447	28° 0.404	32° 0.366	35° 0.329	38° 0.295	43° 0.235	49° 0.166	57° 0.096	63° 0.053	68° 0.032
14	0°0' 0.510	4°5' 0.506	8° 0.495	12° 0.477	16° 0.454	20° 0.426	23° 0.396	27° 0.365	30° 0.334	33° 0.304	36° 0.275	41° 0.223	47° 0.162	55° 0.096	62° 0.054	66° 0.033

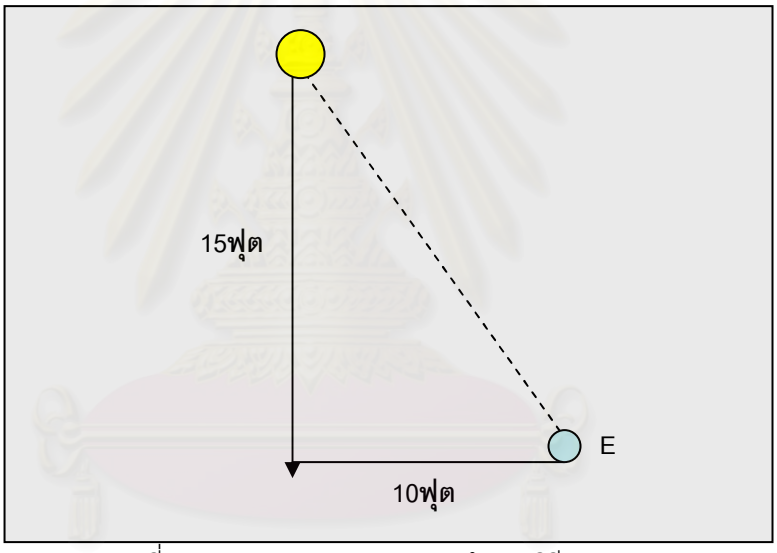
15	0°0'	3°49'	8°	11°	15°	18°	22°	25°	28°	31°	34°	39°	45°	53°	60°	65
	0.444	0.442	0.433	0.419	0.401	0.380	0.356	0.331	0.305	0.380	0.256	0.212	0.157	0.096	0.055	0.034
16	0°0'	3°35'	7°	11°	14°	17°	21°	24°	27°	29°	32°	37°	43°	51°	58°	63°
	0.391	0.388	0.382	0.371	0.357	0.339	0.321	0.300	0.280	0.259	0.238	0.300	0.152	0.095	0.056	0.035
17	0°0'	3°22'	7°	10°	13°	16°	19°	22°	25°	28°	30°	35°	41°	50°	57°	62°
	0.346	0.344	0.339	0.331	0.319	0.306	0.290	0.274	0.256	0.239	0.222	0.189	0.146	0.094	0.057	0.036
18	0°0'	3°11'	6°	9°	13°	16°	18°	21°	25°	27°	29°	34°	40°	48°	55°	61°
	0.309	0.307	0.303	0.297	0.287	0.276	0.264	0.250	0.236	0.221	0.206	0.178	0.140	0.092	0.057	0.036
19	0°0'	3°1'	6°	9°	12°	15°	18°	20°	23°	25°	28°	32°	38°	46°	54°	59°
	0.277	0.276	0.273	0.267	0.260	0.251	0.240	0.229	0.217	0.205	0.192	0.167	0.134	0.090	0.057	0.037
20	0°0'	2°51'	5°43'	9°	11°	14°	17°	19°	22°	24°	27°	31°	37°	45°	52°	58°
	0.250	0.249	0.246	0.242	0.236	0.228	0.219	0.210	0.200	0.190	0.179	0.158	0.128	0.088	0.057	0.037
21	0°0'	2°44'	5°26'	8°	11°	13°	16°	18°	21°	23°	25°	30°	36°	44°	51°	57°
	0.227	0.226	0.224	0.220	0.215	0.210	0.201	0.194	0.185	0.176	0.167	0.144	0.122	0.086	0.056	0.038
22	0°0'	2°36'	5°10'	8°	10°	13°	15°	18°	20°	22°	25°	29°	34°	42°	50°	55°
	0.207	0.206	0.205	0.201	0.196	0.192	0.185	0.179	0.171	0.164	0.155	0.140	0.114	0.084	0.056	0.038
23	0°0'	2°29'	4°58'	7°	10°	12°	15°	17°	19°	21°	24°	28°	33°	41°	49°	54°
	0.189	0.189	0.187	0.184	0.181	0.176	0.171	0.165	0.159	0.153	0.146	0.132	0.111	0.081	0.055	0.038
24	0°0'	2°23'	4°45'	7°	10°	12°	14°	16°	18°	21°	23°	27°	32°	40°	47°	53°
	0.174	0.173	0.172	0.170	0.166	0.163	0.158	0.154	0.148	0.143	0.137	0.124	0.106	0.079	0.054	0.037
25	0°0'	2°17'	4°34'	7°	9°	11°	14°	16°	18°	20°	22°	26°	31°	39°	46°	52°
	0.160	0.160	0.158	0.157	0.154	0.151	0.147	0.143	0.138	0.133	0.128	0.117	0.101	0.076	0.053	0.037
27	0°0'	2°7'	4°14'	6°	8°	10°	12°	15°	17°	18°	20°	24°	29°	37°	44°	50°
	0.137	0.137	0.136	0.135	0.133	0.130	0.128	0.124	0.121	0.117	0.113	0.105	0.092	0.071	0.051	0.037
30	0°0'	1°54'	3°50'	5°43'	8°	9°	11°	13°	15°	17°	18°	22°	27°	34°	41°	50°
	0.111	0.111	0.111	0.109	0.108	0.107	0.105	0.103	0.000	0.098	0.095	0.089	0.080	0.064	0.048	0.036
33	0°0'	1°36'	3°11'	5°12'	7°	9°	10°	12°	14°	15°	17°	20°	24°	31°	38°	44°
	0.092	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.087	0.086	0.084	0.082	0.080	0.076	0.069	0.058	0.045	0.034
36	0°0'	1°36'	3°11'	4°46'	6°	8°	9°	11°	13°	14°	16°	18°	23°	29°	36°	42°
	0.077	0.077	0.077	0.076	0.076	0.075	0.074	0.073	0.072	0.070	0.069	0.066	0.061	0.052	0.041	0.032
40	0°0'	1°26'	2°52'	4°17'	5°43'	7°	9°	10°	11°	13°	14°	17°	21°	27°	33°	39°
	0.063	0.062	0.062	0.062	0.061	0.060	0.060	0.059	0.058	0.057	0.055	0.051	0.045	0.037	0.037	0.030
45	0°0'	1°16'	2°33'	3°49'	3°7'	6°	8°	9°	10°	11°	13°	15°	18°	29°	30°	35°
	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.048	0.048	0.047	0.047	0.046	0.045	0.042	0.038	0.032	0.027
50	0°0'	1°9'	2°17'	3°26'	4°34'	5°43'	7°	8°	9°	10°	11°	14°	16°	22°	27°	33°
	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.039	0.039	0.039	0.039	0.038	0.038	0.037	0.035	0.032	0.028	0.024
55	0°0'	1°2'	2°5'	3°7'	4°10'	5°9'	6°	7°	8°	9°	10°	12°	15°	20°	25°	30°
	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.031	0.030	0.027	0.024	0.021
60	0°0'	0°57'	1°55'	2°52'	3°50'	2°46'	5°43'	7°	8°	9°	9°	11°	14°	18°	23°	28°
	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.026	0.025	0.024	0.021	0.019
70	0°0'	0°49'	1°38'	2°34'	3°16'	4°5'	4°54'	5°43'	7°	7°	8°	10°	12°	16°	20°	24°
	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.019	0.018	0.017	0.015

ตารางที่ 2-4 ตารางแสดงค่าตัวคูณประกอบ (Multiplying Factor)

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545: 166)

ค่าที่อ่านได้จากตารางในแนวดิ่งเป็นค่าความสูงจากดวงโคมถึงพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ (ฟุต) และค่าที่อ่านได้ในแนวนอนเป็นค่าระยะที่อยู่ห่างจากจุดใต้หลอดไฟตามที่ต้องการวัด(ฟุต) ตัวเลขด้านบนจะเป็นค่ามุม (θ) และตัวเลขด้านล่างจะเป็นค่าตัวคูณประกอบ วิธีหาค่าตัวคูณประกอบนั้นทำได้ด้วยการลากเส้นระยะตามความสูงของดวงโคมหรือหลอดไฟ ในแนวนอนและลากเส้นระยะทางที่ต้องการวัดค่าในแนวตั้งที่ต้องการคำนวณหาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างลงมาตัดกันซึ่งจะเป็นช่องค่าองศาและค่าตัวคูณประกอบ ก็จะได้ค่าทั้งหมดที่ต้องการในช่องนั้น

ตัวอย่าง การคำนวนการส่องสว่างแบบจุดต่อจุดโดยวิธีการใช้ค่าตัวคูณประกอบ หลอดไฟอยู่สูงจากพื้น 15 ฟุต หลอดไฟ 5000 แคนเดลามีการกระจายแสงแบบสม่ำเสมอทุกทิศทางให้คำนวนหาปริมาณการส่องสว่าง ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดใต้หลอดไฟออกไปในแนวระดับ 10 ฟุต ดังรูป



ภาพที่ 2-20 แสดงภาพประกอบการคำนวนวิธีการส่องสว่างแบบจุดต่อจุดโดยวิธีการใช้ค่าตัวคูณประกอบ

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545: 167)

ค่า Multiplying Factor จากการเทียบในตารางที่ 2-4 ที่ความสูง 15 ฟุต ระยะจากจุดใต้ดวงโคม 10 ฟุต คือ 0.256

$$E = \frac{CP \times Multi}{100}$$

$$E = \frac{5000 \times 0.256}{100}$$

$$E = 12.8 \text{ ฟุตแคนเดิล}$$

ฉะนั้นปริมาณการส่องสว่างมีค่าเท่ากับ 12.8 ฟุตแคนเดิล

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545: 167)

2.8.3 **การคำนวนด้วยวิธีลูเมน** (Lumen Method)

การคำนวณด้วยวิธีลูเมนใช้สมการ คือ

$$F = \frac{E \times A}{CU \times LLD \times LDD}$$

เมื่อ F = ปริมาณแสงจากหลอดไฟ (ลูเมน)

E = ระดับการส่องสว่าง (ลักซ์)

A = พื้นที่ใช้งาน (ตารางเมตร)

CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (%)
(coefficient of Utilization)

LLD = ค่าตัวประกอบความเสื่อมของหลอดไฟ (%)
(Lamp Lumen Depreciation)

LDD = ค่าตัวประกอบความสูญเสียแสงสว่างที่ออกจากดวงโคม (%)
(Luminaire dirt depreciation)
(M.David Egan, Victor W. Olgyay, 2002: 288)

ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

- คำนวณค่า CR (อัตราส่วนโพรงของห้อง)
- หาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของ เพดาน กำแพง และพื้น ในกรณีทั่วไปที่ไม่ทราบค่าให้ใช้ค่าเฉลี่ย 70/50/20 ตามลำดับ
- นำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและค่า CR ไปหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน CU จากตารางของผู้ผลิต หรือจากตารางมาตรฐาน IES กำหนดไว้ในตารางในกรณีที่ผู้ผลิตไม่ได้ให้ตารางสัมประสิทธิ์การใช้งานมาให้
- แทนค่า CU ลงในสมการเพื่อหาจำนวนหลอดไฟหรือการส่องสว่าง

การคำนวณหาค่า CR (cavity ratio)

$$CR = \frac{5h \times (W+L)}{(W \times L)}$$

เมื่อ CR = อัตราส่วนโพรงของห้อง (cavity ratio)

h = ระยะจากดวงโคมถึงพื้นที่ใช้งาน (เมตร)

W = ความกว้างของห้อง (เมตร)

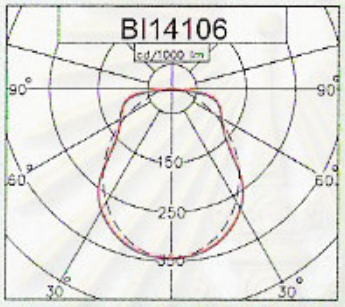
L = ความยาวของห้อง (เมตร)

(M.David Egan, Victor W. Olgyay, 2002: 289)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง ค่า CU จากผู้ผลิตดวงโคม

Light Output Ratio(LOR)=90.7%



0-180 deg. S/Hm=1.22
90-270 deg. S/Hm=1.15
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.33

Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	260	26.0	28.6
0- 40	422	42.2	46.5
0- 60	707	70.7	77.9
0- 90	905	90.5	99.8
90-120	2	0.2	0.2
90-130	2	0.2	0.2
90-150	2	0.2	0.2
90-180	2	0.2	0.2
0-180	907	90.7	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	106	106	106	106	101	101	101	97	97	97	93	93	93	91
1	96	91	87	84	87	84	81	84	81	79	80	78	76	74
2	87	80	74	69	76	71	67	73	69	65	70	67	64	62
3	79	70	63	57	67	61	56	65	60	55	62	58	54	52
4	72	62	55	49	60	53	48	58	52	47	56	51	47	45
5	67	56	48	42	54	47	42	52	46	41	50	45	41	39
6	62	50	43	37	49	42	37	47	41	36	46	40	36	34
7	57	46	38	33	44	38	33	43	37	32	42	36	32	30
8	53	42	34	29	41	34	29	40	33	29	38	33	29	27
9	50	39	31	26	37	31	26	36	30	26	36	30	26	24
10	47	36	29	24	35	28	24	34	28	24	33	28	24	22

ค่า CU

ภาพที่ 2-21 แสดงค่า CU จากผู้ผลิตดวงโคม

(Modular International Co.,Ltd.)

2.9 การออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร

แสงสว่างภายในอาคารมีความสำคัญสองประการ คือ แสงสว่างเพื่อการใช้งาน ทำให้ผู้ใช้อาคารมองเห็นและสามารถทำกิจกรรมต่างๆได้อย่างสะดวกและปลอดภัย และแสงสว่างเพื่อการตกแต่ง ในปัจจุบันการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารจำเป็นต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน

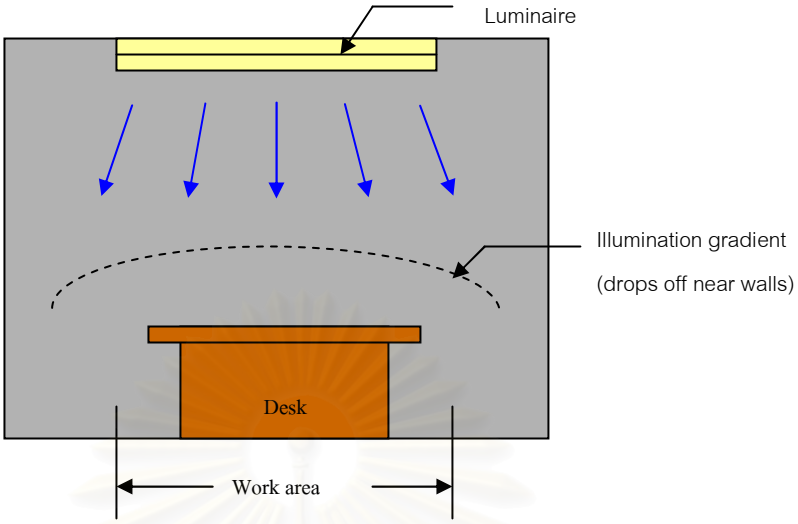
การประหยัดพลังงานในระบบส่องสว่างจะต้องควบคุมให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดในขณะที่ไม่ควรละเลยด้านประสิทธิภาพในการกระทำกิจกรรมและความปลอดภัย เช่น ประหยัดพลังงานแล้วไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงในการทำงานที่อาจเกิดอันตรายอันเนื่องจากปริมาณการส่องสว่างที่ไม่เพียงพอ เป็นต้น ดังนั้นผู้ที่จะประยุกต์ใช้ระบบแสงสว่างเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานต้องพิจารณาทั้งประสิทธิภาพการใช้พลังงานและปริมาณการส่องสว่างที่เหมาะสมกับกิจกรรมควบคู่กันไปเสมอ

ปริมาณการส่องสว่างที่เหมาะสมนั้นหมายถึง ต้องให้มีปริมาณการส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดจึงจะเกิดความสบายตา การออกแบบระบบส่องสว่างนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของห้อง และสไตล์การตกแต่ง ระบบการให้แสงสว่างโดยพื้นฐาน ประกอบด้วย ระบบ Primary Lighting System และระบบ Secondary Lighting System

2.9.1 Primary Lighting System คือ แสงสว่างพื้นฐานที่ใช้เพื่อการใช้งานของกิจกรรมหลัก เช่น บนพื้นที่อ่านหนังสือต้องการการส่องสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ เป็นต้น เมื่อได้การส่องสว่างที่โต๊ะอ่านหนังสือแล้วแสงสว่างส่วนอื่นๆ เช่น การส่องสว่างที่ผ้าม่านหรือผนัง เพื่อให้เกิดวงแสง หรือการส่องสว่างเน้นที่ต้นไม้ภายในห้องจะเป็นเพียงแสงรองคือแสงเพื่อประดับตกแต่ง

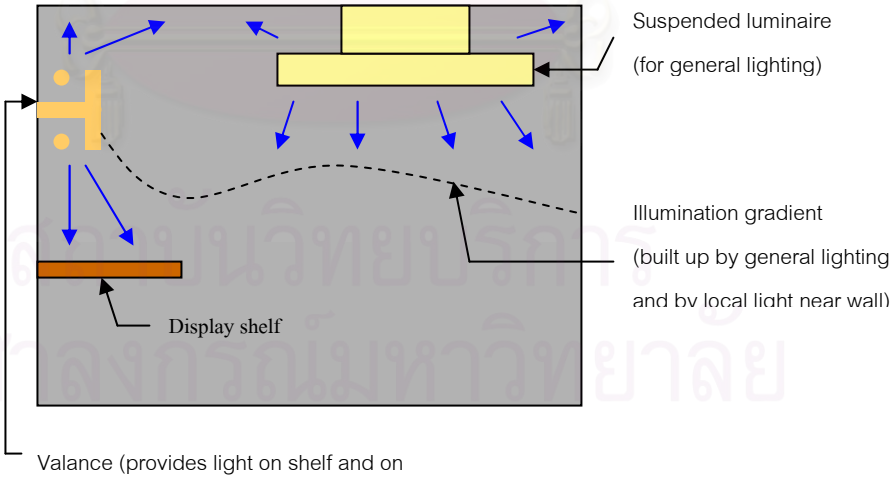
ระบบแสงหลักแบ่งออกได้เป็นรูปแบบต่างๆดังนี้

- แสงสว่างทั่วไป (General Lighting) คือการทำให้แสงกระจายทั่วไปเท่ากันทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งาน ซึ่งใช้กับการให้แสงสว่างไม่มากเกินไป แสงสว่างดังกล่าวไม่เน้นเรื่องความสวยงาม การให้แสงสว่างแบบสม่ำเสมอค่อนข้างสิ้นเปลืองพลังงานมาก



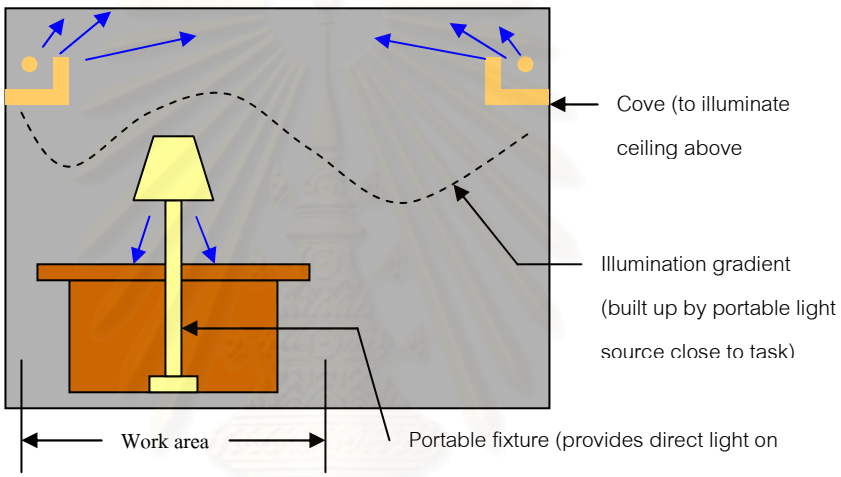
ภาพที่ 2-22 แสดงระบบแสงหลักรูปแบบแสงสว่างทั่วไป (General Lighting)
(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 221)

- แสงสว่างเฉพาะที่ (Localized Lighting) คือการทำให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณเฉพาะที่ทำงานเท่านั้น โดยไม่ต้องให้สม่ำเสมอเหมือนแบบแรก การให้แสงสว่างลักษณะนี้ประหยัดกว่าแบบแสงสว่างทั่วไป



ภาพที่ 2-23 แสดงระบบแสงหลักรูปแบบแสงสว่างเฉพาะที่ (Localized Lighting)
(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 221)

- แสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป (Localized Lighting and General Lighting) มักใช้กับงานที่ต้องการการส่องสว่างสูงซึ่งไม่สามารถให้แสงแบบทั่วไปได้เพราะเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก เช่น การให้แสงเพื่อส่องบริเวณทั่วไปและติดตั้งโคมตั้งโต๊ะส่องเฉพาะที่ทำงาน



ภาพที่ 2-24 แสดงระบบแสงหลักรูปแบบแสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป
(Localized Lighting and General Lighting)
(M.David Egan and Victor W. Olgyay, 2002: 221)

การออกแบบระบบส่องสว่างในอาคารพักอาศัยซึ่งมีลักษณะการใช้งานและความต้องการระดับการส่องสว่างเฉลี่ยในพื้นที่ใช้งานทั่วๆไปในปริมาณต่ำ แต่มีบางกิจกรรมที่ต้องการระดับการส่องสว่างที่สูงมากในพื้นที่ใช้งานใกล้เคียง ดังนั้นเพื่อเป็นการไม่สิ้นเปลืองพลังงาน ระบบที่เหมาะสมกับการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัยมากที่สุดคือระบบแสงสว่างเฉพาะที่ (Localized Lighting) ตัวอย่างเช่น ในห้องนั่งเล่นที่มีระดับการส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ 100 ลักซ์ ควรใช้ไฟส่องเน้นในบริเวณที่มีการอ่านหนังสือเพิ่มอีก 400 ลักซ์ เพื่อให้ ณ จุดที่มีการอ่านหนังสือมีระดับการส่องสว่างรวมเท่ากับ 500 ลักซ์

2.9.2 Secondary Lighting System คือแสงนอกเหนือจากแสงหลักเพื่อให้เกิดความสวยงาม เพื่อสร้างบรรยากาศ ซึ่งแยกออกได้ดังนี้

- แสงสว่างแบบส่องเน้น (Accent Lighting) เป็นการทำให้แสงแบบส่องเน้นที่วัตถุใดวัตถุหนึ่งเพื่อให้เกิดความสนใจโดยทั่วไปมักใช้ดวงโคมสปอต
- แสงสว่างแบบเอฟเฟก (Effect Lighting) หมายถึงแสงเพื่อสร้างบรรยากาศที่น่าสนใจ แต่ไม่ได้ส่องเน้นวัตถุ เพื่อเรียกร้องความสนใจ เช่น ดวงโคมที่ติดตั้งที่เพดาน เพื่อสร้างรูปแบบของแสงที่กำแพงเป็นต้น
- แสงสว่างตกแต่ง (Decorative Lighting) เป็นแสงที่ได้จากดวงโคมหรือหลอดไฟที่สวยงามเพื่อสร้างจุดสนใจในการตกแต่งภายใน
- แสงสว่างทางสถาปัตย์ (Architectural Lighting) แสงสว่างเพื่อให้สัมพันธ์กับงานทางด้านสถาปัตยกรรม เช่น การให้แสงไฟจากหลืบ การให้แสงจากที่ซ่อนหลอดไฟ
- แสงสว่างตามอารมณ์ (Mood Lighting) อาศัยการใช้สวิตซ์หรือตัวหรี่ไฟเพื่อสร้างบรรยากาศของแสงให้ได้ระดับการส่องสว่างตามที่ต้องการ

2.9.3 **การออกแบบระบบส่องสว่างในอาคารที่พักอาศัย**

ความหมายของอาคารพักอาศัย

อาคารพักอาศัย คือ อาคารซึ่งโดยปกติบุคคลใช้อยู่อาศัยได้ทั้งกลางวันและกลางคืนไม่ว่าจะเป็นการอยู่อาศัยอย่างถาวรหรือชั่วคราว

รูปแบบของแสงภายในอาคารพักอาศัย

ลักษณะการออกแบบแสงสว่างทั่วๆไปในอาคารที่พักอาศัยโดยเฉพาะระบบแสงหลักหรือแสงเพื่อการใช้งานเมื่อพิจารณาถึงด้านความสบายทางสายตาและประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานแล้ว รูปแบบที่เหมาะสมของการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัย คือการออกแบบระบบแสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป (Loalized Lighting and General Lighting) คือ การออกแบบให้มีแสงบรรยากาศ (Ambient Light) คือปริมาณการส่องสว่างในพื้นที่ใช้งานให้เหมาะสมกับระดับการส่องสว่างโดยเฉลี่ยขั้นต่ำตามมาตรฐานของกิจกรรมหลักในพื้นที่นั้นๆ และมีการให้แสงสว่างเฉพาะจุดเป็นการเน้นในส่วนพื้นที่ๆต้องการระดับการส่องสว่างสูงเป็นพิเศษ การใช้รูปแบบการออกแบบระบบส่องสว่างรูปแบบนี้เป็นการประหยัดพลังงานมากกว่ารูปแบบการให้แสงสว่างแบบสม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง (General Lighting) เพราะไม่มีการสูญเสียพลังงานในบริเวณที่มีความต้องการปริมาณการส่องสว่างน้อย สำหรับระดับการส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัยในงานวิจัยนี้ใช้มาตรฐาน IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) เนื่องจาก

ได้มีการระบุเกณฑ์ระดับการส่องสว่างเฉลี่ยทั้งในระนาบแนวตั้งและระนาบแนวนอนของแต่ละพื้นที่ใช้งานโดยจำแนกความต้องการระดับการส่องสว่างออกเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มถูกกำหนดขึ้นตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับอายุของผู้ใช้งานพื้นที่นั้นๆประกอบกับค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในพื้นที่นั้น

ระดับการส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัยในพื้นที่ทั่วๆไปในส่วนของบริเวณที่ไม่มีการใช้งานหลักที่แน่นอนหรือแสงที่เป็นแสงบรรยากาศ กำหนดระดับการส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำในระนาบแนวนอนคือ 50 – 75 -100 ลักซ์ ตามมาตรฐานระดับการส่องสว่างของ IESNA

ห้องพักผ่อน

<u>ระดับการส่องสว่าง</u>

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน(Task Light) คือ 20 - 30 - 50 ลักซ์

ห้องพักผ่อนหรือห้องเอนกประสงค์ เป็นห้องที่มีการใช้งานหลากหลายใช้ระดับการส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำเท่ากับระดับการส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำทั่วไปภายในอาคารพักอาศัย คือที่ไม่เกิน 100 ลักซ์ อุณหภูมิสีของแสงที่แนะนำควรอยู่ในช่วงอุณหภูมสีต่ำคือสีวอร์มไวท์เนื่องจากหากใช้สีที่มีอุณหภูมิสีของแสงสูงเช่นสีคูลไวท์ หรือเดย์ไลท์ อาจจะทำให้บรรยากาศภายในห้องดูหม่นลง เพราะมีปริมาณการส่องสว่างต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสไตล์การตกแต่งของห้องและรสนิยมของเจ้าของอาคารประกอบกัน เช่นสไตล์การตกแต่งที่ใช้องค์ประกอบของอาคารส่วนใหญ่รวมทั้งเฟอร์นิเจอร์เป็นสีขาวตามสไตล์โมเดิร์นอาจเหมาะสมกับแสงสีคูลไวท์ หรือเดย์ไลท์มากกว่าสีวอร์มไวท์ เป็นต้น เมื่อพิจารณาเฉพาะกิจกรรมหลักคือการพักผ่อน สนทนา ดูโทรทัศน์ ฟังดนตรี อ่านหนังสือ พบว่าอาจมีบางกิจกรรมที่ต้องการระดับความส่องสว่างที่สูงกว่ามาตรฐานของห้องพักผ่อน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีความสม่ำเสมอของแสงทั่วไปเท่ากันทั้งหมด บริเวณใดต้องการแสงมากควรใช้การเพิ่มไฟส่องเฉพาะจุด เช่น การอ่านหนังสือแบบผ่อนคลายบนเก้าอี้ที่ระดับการส่องสว่างที่เหมาะสมคือ 500 ลักซ์ในระนาบแนวนอน จำเป็นต้องเพิ่มไฟส่องเน้นเฉพาะในทิศทางที่เหมาะสมไม่ทำให้เกิดแสงบาดตาทั้งแสงบาดตาโดยตรงจากหลอดไฟและดวงโคมรวมทั้งแสงบาดตาที่สะท้อนจากกระดาษหรือหนังสือที่อ่านเข้าสู่ตา ตำแหน่งของไฟส่องเน้นเพื่อการอ่านหนังสือที่เหมาะสม คือส่องจากด้านบนเยื้องทางด้านหลังเหนือไหล่ซ้ายหรือขวา กิจกรรมที่พบมากในห้องพักผ่อนอีกชนิดได้แก่การนั่งดูโทรทัศน์จะต้องระวังแสงบาดตาสะท้อนจากหลอดไฟตกกระทบหน้าจอโทรทัศน์แล้วสะท้อนเข้าสู่ตาทำให้มองพื้นที่บางส่วนบนหน้าจอได้ไม่ชัดเจน และข้อสำคัญที่ต้องระมัดระวัง คือความเปรียบต่างของระดับความจ้าของหน้าจอโทรทัศน์กับฉากหลังได้แก่ผนังของห้อง หรืออาจเป็น

ช่องแสงด้านหลัง หากมีความต่างกันมากเกินไปเนื่องจากฉากหลังมืดหรือสีของผนังเข้มมากจะทำให้สายตาปรับตัวไม่ทันเกิดอาการมองเห็นเป็นจุดบอดชั่วคราว วิธีการแก้ไขในกรณีที่ฉากหลังมืดกว่าหน้าจอโทรทัศน์ คือเพิ่มความสว่างที่ฉากด้านหลังเพื่อปรับให้ค่าความเปรียบต่างลดลงโดยการใช้สีของฉากหลังที่มีค่าการสะท้อนแสงมากขึ้น คือสีอ่อนหรือเพิ่มระดับการส่องสว่างด้านหลังและด้านข้างของโทรทัศน์โดยใช้แสงไฟเพื่อลดความเปรียบต่างลง การแก้ไขในกรณีที่ฉากหลังสว่างกว่าหน้าจอโทรทัศน์มากเกินไปหากเกิดจากด้านหลังมีแสงจากภายนอก อาจเป็นแสงธรรมชาติหรือไฟจากถนน ส่องผ่านช่องแสงเข้ามาก็ควรใช้ม่านหรือมู่ลี่ปรับแสงช่วยลดปริมาณแสงจากภายนอกให้ลดลงได้

ภาพที่ 2 – 25 แสดงการจัดแสงภายในห้องพักผ่อน
(Lisa Skolnik, 2001: 20)

จากภาพที่2-25 แสดงการใช้ดวงโคมส่องเน้นเพื่อเพิ่มระดับการส่องสว่างในบริเวณอ่านหนังสือ โดยที่ในพื้นที่ใกล้เคียงยังคงมีระดับการส่องสว่างต่ำ โดยอัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างบริเวณที่อ่านหนังสือกับพื้นผิวโดยรอบคือพื้น และผนังใกล้เคียงไม่ควรเกิน 3 ต่อ 1 เช่น ถ้า Luminance บริเวณที่อ่านหนังสือเท่ากับ 60 footlambert ดังนั้นเพื่อความสบายตา Luminance ของพื้นผิวโดยรอบพื้นที่นั่งอ่านหนังสือจึงไม่ควรต่ำกว่า 20 footlambert

ภาพที่ 2 - 26 แสดงการจัดแสงภายในห้องพักผ่อนที่มีโทรทัศน์

(http://www. cibse.org)

จากภาพที่2-26 แสดงให้เห็นการใช้แสงไฟช่วยเพิ่ม luminance หรือความจ้าของผนังด้านหลังของโทรทัศน์เพื่อลดความเปรียบต่างระหว่างผนังกับหน้าจอโทรทัศน์ที่มีค่า Luminance สูง หากค่า Luminance ของหน้าจอโทรทัศน์เท่ากับ 75 footlambert ดังนั้นค่า Luminance ของผนังด้านหลังไม่ควรต่ำว่า 1 ใน 3 ของหน้าจอคือ 25 footlambert

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องรับประทานอาหาร

ปริมาณการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ห้องรับประทานอาหารควรใช้แหล่งกำเนิดแสงได้แก่หลอดไฟชนิดที่ให้ความถูกต้องของสีของแสง CRI (Color Rendering Index) สูง และมีสเปกตรัมสีของแสงครบทุกสีเนื่องจากจะทำให้อาหารบนโต๊ะดูน่ารับประทาน หลอดไฟที่ให้ค่า CRI สูง คือ หลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ซึ่งมีค่าดัชนีความถูกต้องของสีถึง100 แต่เนื่องจากเป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิผลต่ำทำให้ไม่ประหยัดพลังงาน ดังนั้นจึงควรใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิดพิเศษที่มีค่า CRI สูง ปัจจุบันหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป มีค่าความถูกต้องของสีประมาณ 85 แต่หลอดไฟชนิดพิเศษมีค่าความถูกต้องของสีมากกว่า 95 และมีสเปกตรัมสีของแสงครบทุกสี ระดับการส่องสว่างที่ไม่เกิน 100 ลักซ์อุณหภูมิสีของแสงที่แนะนำควรอยู่ในช่วงอุณหภูมสีต่ำ คือ สีวอร์มไวท์ ตำแหน่งของดวงโคมควรอยู่กึ่งกลางเหนือโต๊ะอาหารและควรหลีกเลี่ยงการจัดวางตำแหน่งของดวงโคมโดยให้ดวงโคมอยู่ด้านหลังของผู้รับประทานอาหารเพราะจะทำให้เกิดเงาของผู้รับประทานอาหารตกลงบนโต๊ะอาหาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2 - 27 แสดงการจัดแสงภายในห้องรับประทานอาหาร
(Sally Storey, 2000: 40)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากภาพที่2-27 แสดงการออกแบบระบบส่องสว่างที่มีดวงโคมส่องลงบนโต๊ะรับประทานอาหารแยกออกจากไฟที่เป็นแสงบรรยากาศตามระบบการให้แสงแบบเฉพาะจุด (Localized Lighting) อัตราส่วนเปรียบต่างระหว่างพื้นผิวบนโต๊ะกับผนังที่อยู่ห่างออกไปในกรณีที่บริเวณผนังมืดกว่า อัตราส่วนเปรียบต่างไม่ควรเกิน 10 ต่อ 1 เช่น ถ้าบนโต๊ะมี Luminance เท่ากับ 5 footlambert ดังนั้น Luminance บนผนังที่ห่างออกไปไม่ควรต่ำกว่า 0.5 footlambert

ห้องครัว

<u>ระดับการส่องสว่าง</u>

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 200 – 300 -500

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ระดับความส่องสว่างภายในครัวสูงมากเนื่องจากมีการใช้งานเพื่อมองวัตถุที่มีขนาดเล็กและมีการใช้ของมีคม ดังนั้นความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยจากการล้าของสายตาหรืออยู่ในภาวะของแสงที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ ข้อควรระวังสำหรับพื้นที่ที่มีระดับการส่องสว่างสูง คือ เรื่องความจ้าของแสง และการเกิดแสงบาดตาอันเกิดจากการใช้วัสดุพื้นผิวที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง เช่น ลามิเนทสีขาวเป็นมันวาวค่าการสะท้อนแสงสูงกว่า 80 เปอร์เซนต์ หรือสเตนเลสพื้นผิวเป็นมันวาวค่าสะท้อนแสงสูงกว่า 90 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงดังกล่าวเป็นพื้นผิวสำหรับพื้นที่ที่ใช้ทำงาน สำหรับแหล่งกำเนิดแสงได้แก่ หลอดไฟ ควรเป็นชนิดที่ให้ความถูกต้องของสีของแสง CRI สูงและมีสเปกตรัมสีของแสงครบทุกสี เนื่องจากจะทำให้สามารถจัดวาง และตกแต่งอาหารให้ดูน่ารับประทานและเพื่อสามารถจำแนกชนิดของวัตถุดิบที่มีขนาดและสีใกล้เคียงกันได้ โดยไม่เกิดการผิดพลาด ควรใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิดพิเศษที่มีค่า CRI สูงและมีสเปกตรัมสีของแสงครบทุกสี ระดับความส่องสว่าง 500 ลักซ์ เหมาะสมกับหลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีของแสงอยู่ในช่วงระหว่าง 3000 ถึง 7000 องศาเคลวิน ซึ่งตรงกับค่าอุณภูมิสีของแสงจากหลอดไฟสีคูลไวท์และเดย์ไลท์ สำหรับตำแหน่งของหลอดไฟ และดวงโคมควรอยู่ในตำแหน่งตรงกับพื้นที่ที่ต้องการระดับการส่องสว่างสูงเช่นอยู่เหนือเคาน์เตอร์หรืออยู่เหนือโต๊ะที่ใช้เตรียมอาหาร โดยพื้นที่ส่วนที่เหลือเป็นแสงบรรยากาศที่มีระดับการส่องสว่างไม่สูงมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2 - 28 แสดงการจัดแสงภายในห้องครัว

(Sally Storey, 2000: 53)

ภาพที่ 2 - 29 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นภายในห้องครัว

(Sally Storey, 2000: 53)

จากภาพที่ 2-28 และ 2-29 แสดงจัดแสงในห้องครัวที่มีระบบการจัดแสงแบบส่องเน้นเฉพาะในตำแหน่งที่ต้องการระดับการส่องสว่างที่สูงเช่นบนเคาน์เตอร์ประกอบและปรุงอาหาร เตาปรุงอาหาร และอ่างล้างภาชนะแยกออกจากระบบแสงบรรยากาศ (Ambient Light) ที่มีระดับการส่องสว่างต่ำกว่าเพราะเป็นเพียงแสงเพื่อให้มีการมองเห็นทั่วๆไปภายในห้องครัว และในภาพยังแสดงให้เห็นการใช้วัสดุพื้นผิวของครัวที่ต่างกันโดยการใช้วัสดุพื้นผิวที่เป็นมันวาวในตำแหน่งที่มีระดับการส่องสว่างสูงทำให้เกิดแสงบาดตา ในขณะที่การใช้วัสดุที่มีพื้นผิวสีเข้มจะช่วยลดแสงบาดตาลงได้ทำให้มีความสบายตาในขณะทำงานมากกว่า ค่าความจ้าของพื้นผิวที่ไม่ทำให้เกิดความยากลำบากในการมองในตารางที่ 2 – 2 คือไม่ควรมากกว่า 60 footlambert เพราะหากเกินกว่านี้จะทำให้เกิดความไม่สบายตาและอาจเกิดอันตราย อัตราความเปรียบต่างระหว่างบนเคาน์เตอร์ประกอบอาหารกับผนังส่วนที่ติดกับเคาน์เตอร์หรือบริเวณใกล้เคียงไม่ควรเกิน 3 ต่อ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องซักรีด

ระดับการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน(Task Light) คือ 200 – 300 -500 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

การรีดผ้าเป็นกิจกรรมที่ใช้เวลานานและต้องเพ่งมองวัตถุคือเสื้อผ้าอย่างละเอียดจึงต้องการระดับการส่องสว่างที่สูง เพราะหากมีแสงไม่เพียงพอต่อความต้องการ อาจทำให้เกิดอาการล้าของกล้ามเนื้อดวงตาและเกิดความเครียดในขณะทำงาน เนื่องจากบนพื้นที่ใช้งานต้องการระดับการส่องสว่างค่อนข้างสูงจึงควรใช้ไฟส่องเน้นในส่วนเฉพาะบนพื้นที่ส่วนที่ใช้รีดผ้า ควรระวังเรื่องความเปรียบต่างจากความแตกต่างของพื้นที่ทำงานและฉากหลังเช่นบนโต๊ะรีดผ้ามีสีขาวแต่พื้นห้องและผนังห้องมีสีเข้มหรือมืดมากทำให้เกิดปัญหาการปรับแสงของดวงตา เนื่องจากระดับการส่องสว่างสูงในบริเวณที่ทำงานแต่บริเวณโดยรอบอาจมีระดับการส่องสว่างต่ำกว่า อัตราส่วนเปรียบต่างระหว่างพื้นผิวบนโต๊ะรีดผ้ากับพื้นที่ข้างเคียงไม่ควรเกิน 3 ต่อ 1 และผนังที่ห่างออกไปไม่ควรเกิน 10 ต่อ 1

ภาพที่ 2 - 30 แสดงการจัดแสงภายในห้องซักรีด

(http://www.cibse.org)

ห้องนอน

ระดับการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 20 – 30 -50 ลักซ์

การนอนเป็นกิจกรรมเพื่อผ่อนคลาย ต้องการระดับการส่องสว่างน้อยที่สุด แสงสว่างภายในห้องนอนเป็นเพียงแสงเพื่อให้มีการมองเห็นในการกระทำกิจกรรมอื่นๆ เช่น การเดิน การสนทนา เป็นต้น ตำแหน่งของหลอดไฟและดวงโคมเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณา ตำแหน่งของดวงโคมไม่ควรทำให้เกิดแสงบาดตาโดยตรงจากหลอดไฟในขณะที่กำลังนอนบนเตียง สีของแสงควรเป็นสีวอร์มไวท์ เพื่อให้เหมาะสมกับระดับการส่องสว่างที่ต่ำ อาจมีกิจกรรมการนั่งอ่านหนังสือบนเตียงซึ่งใช้ระดับการส่องสว่างสูงกว่าระดับการส่องสว่างทั่วไป ควรใช้ไฟส่องเน้นเฉพาะตำแหน่งที่อ่านหนังสือ ใช้ไฟหัวเตียงหรือดวงโคมอ่านหนังสือจากตำแหน่งด้านหลังเยื้องทางด้านข้างของผู้อ่านเพื่อไม่ให้แสงไฟรบกวนผู้ที่นอนข้างเคียง ในบางห้องนอนอาจมีกิจกรรมการดูโทรทัศน์จะต้องระวังการเกิดความเปรียบต่างในสัดส่วนที่สูงมากของหน้าจอโทรทัศน์ที่มีความจ้ามากกับฉากหลังที่มืดเกินไปซึ่งอาจเป็นผนังห้องหรือผ้าม่านสีเข้ม แนวทางการแก้ไข คือเพิ่มความส่องสว่างรอบๆและด้านหลังของโทรทัศน์หรือใช้สีของฉากหลังที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงขึ้น คือใช้สีอ่อนเพื่อลดความแตกต่างของแสง ภายในห้องนอนอาจมีโต๊ะสำหรับแต่งหน้าซึ่งลักษณะการจัดแสงควรใช้หลอดไฟทั้งสีวอร์มไวท์ และสีคูลไวท์หรือเดย์ไลท์โดยแยกวงจรการทำงานเพื่อสามารถเลือกใช้สีของแสงในการแต่งหน้าได้เหมาะสมกับแสงไฟในสถานที่ต่างกัน เช่น งานกลางคืนสถานที่ต่างๆมักใช้แสงไฟสีวอร์มไวท์ ส่วนกิจกรรมตอนกลางวันสีของแสงส่วนใหญ่เป็นสีคูลไวท์ หรือเดย์ไลท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2 - 31 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นเพื่ออ่านหนังสือภายในห้องนอน

(Lisa Skolnik, 2001: 46)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากภาพที่2-31 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นบริเวณใกล้กับตำแหน่งที่มีการอ่านหนังสือบนเตียงอาจทำให้เกิดความเปรียบต่างอย่างมากจากความจ้าบนหน้าหนังสือกับผนังที่มืดโดยรอบ ในกรณีที่มีปัญหาความเปรียบต่างสูงนี้การแก้ไขคือการเพิ่มแสงทั่วไปภายในห้องให้มีค่าการส่องสว่างมากขึ้น อาจใช้อุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าให้สามารถปรับหรี่แสงสว่างทั่วไป (Ambient Light) เพื่อที่จะควบคุมปริมาณแสงได้ตามที่ต้องการ

ห้องแต่งตัว

ระดับการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน(Task Light) คือ 200 – 300 -500 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ห้องแต่งตัวควรให้ความสำคัญกับสีของแสงจากหลอดไฟควรมีทั้งสีสีวอร์มไวท์ และสีคูลไวท์หรือเดย์ไลท์ เพื่อให้เหมาะสมกับแสงไฟของสถานที่ต่างๆเช่นงานกลางคืนอาจใช้แสงไฟสีวอร์มไวท์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนกลางวันแสงธรรมชาติและไฟภายในอาคารส่วนใหญ่เป็นสีคูลไวท์หรือเดย์ไลท์ และเนื่องจากผู้ใช้มักมีความละเอียดในการเลือกสีของเสื้อผ้าและเครื่องประดับให้เข้ากันแสงไฟภายในห้อง จึงควรมีระดับการส่องสว่างที่สูงและจำเป็นต้องใช้หลอดไฟชนิดที่มีค่าความถูกต้องของสีที่สูงด้วยเช่นกัน หากใช้หลอดไฟที่มีค่าความถูกต้องของสีต่ำทำให้สีสันของเสื้อผ้าและเครื่องสำอางดูผิดเพี้ยน ตำแหน่งของหลอดไฟและดวงโคมควรอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้มองเห็นใบหน้าและรูปร่างของผู้ใช้ห้องอย่างชัดเจน โดยอยู่ทางด้านหน้าของผู้ใช้เมื่อหันหน้ามองกระจก หากหลอดไฟและดวงโคมอยู่ทางด้านหลังจะเกิดเงาทำให้มองเห็นใบหน้าไม่ชัดเจน

ภาพที่ 2 - 32 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นที่ผนังภายในห้องแต่งตัว

(Lisa Skolnik, 2001:95)

ห้องน้ำ

<u>ระดับการส่องสว่าง</u>

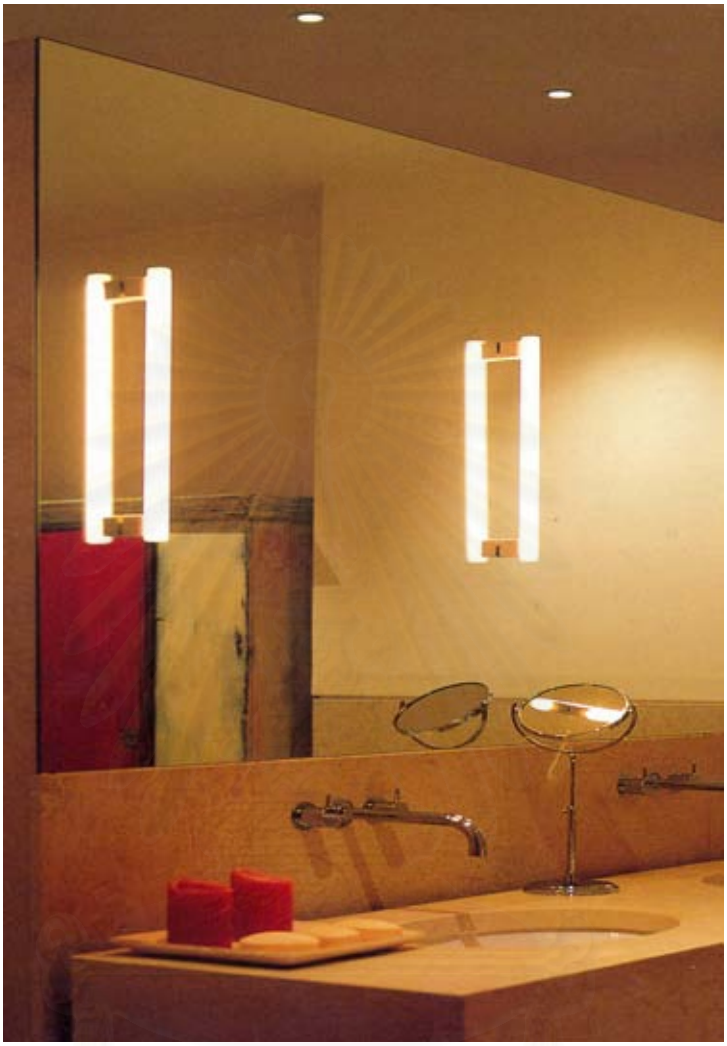
ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์ ที่บริเวณบนเคาน์เตอร์ล้างหน้า

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 20 – 30 -50 ลักซ์ ที่ระดับสายตา

ระดับการส่องสว่างโดยเฉลี่ยภายในห้องน้ำค่อนข้างต่ำ เนื่องจากกิจกรรมหลักเป็นกิจกรรมแบบผ่อนคลาย สีของแสงที่แนะนำควรเป็นสีวอร์มไวท์ มีพื้นที่บางส่วนในห้องน้ำเช่น บริเวณเคาน์เตอร์ อ่างล้างหน้าและกระจกส่องหน้ามีการใช้งานในกิจกรรมการโกนหนวด การแต่งหน้า ซึ่งมีความต้องการระดับการส่องสว่างที่สูงถึง 500 ลักซ์ในแนวระดับ ในตำแหน่งที่ต้องการระดับการส่องสว่างที่สูงเป็นพิเศษนี้ จึงต้องใช้ไฟส่องเน้นแยกออกจากไฟหลักในห้องน้ำ ตำแหน่งของหลอดไฟและดวงโคมเป็นสิ่งสำคัญควรอยู่ในทิศทางที่ส่องเห็นใบหน้าชัดเจน อาจมีทิศทางจากด้านหน้าหรือด้านข้างทั้ง 2 ด้าน แต่ต้องระวังการเกิดแสงบาดตาจากการสะท้อนแสงจากกระจกเข้าสู่ตาด้วย สำหรับหลอดไฟบริเวณหน้ากระจกที่อาจใช้สำหรับแต่งหน้าจำเป็นต้องมีค่าความถูกต้องของสีของแสงที่สูงเพื่อให้เหมาะสมกับกิจกรรมการแต่งหน้า หลอดไฟควรอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้การมองเห็นลักษณะรูปหน้าชัดเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2 - 33 แสดงการใช้ไฟส่องเน้นภายในห้องน้ำบริเวณหน้ากระจก
(Sally Storey, 2000: 73)

จากภาพที่2-33 แสดงการติดตั้งหลอดไฟในตำแหน่งที่ทำให้มีการมองเห็นรูปหน้าชัดเจนทั้งซ้ายและขวาเพื่อให้การแต่งหน้าและโกนหนวดทำได้อย่างสะดวกและปลอดภัย โดยมีไฟแสงบรรยากาศ (Ambient Light) อยู่บนเพดาน บนเคาน์เตอร์ใช้วัสดุที่มีสีและค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกับบนผนังทำให้ Luminance ของพื้นผิวทั้งสองใกล้เคียงกันอัตราส่วนความเปรียบต่างจึงต่ำ ทำให้เกิดความรู้สึกสบายตา

บันได

ระดับการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

แสงสว่างบนทางเดินและบันได เป็นแสงที่ทำให้มองเห็นลักษณะพื้นผิวของเส้นทางและสิ่งกีดขวางบนทางเดิน ในส่วนของบันไดจำเป็นต้องทำให้มองเห็นระยะของบันไดทั้งชานพัก ลูกตั้ง และลูกนอนชัดเจนทุกขั้น สำหรับขั้นบันไดหรือลูกนอนที่มีสีเข้มคือมีค่าการสะท้อนแสงต่ำทำให้มองเห็นได้ลำบากหรือมีวัสดุผิวสีเดียวกับพื้นราบอาจใช้ไฟเสริมเพื่อทำให้มองเห็นระดับที่ต่างกันได้ชัดเจนมากขึ้น

ภาพที่ 2 - 34 แสดงการจัดแสงไฟบันได

(Lisa Skolnik, 2001:99)

จากภาพที่2-34 แสดงการเพิ่มไฟส่องเน้นที่ขั้นบันไดเพื่อทำให้สามารถมองเห็นลูกตั้งและลูกนอนของบันไดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

พื้นที่ทางเดิน

ระดับการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 20 – 30 -50 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน (Task Light) คือ 20 – 30 -50 ลักซ์

ทางเดินภายในอาคารพักอาศัยในที่นี้หมายถึงพื้นที่ที่ใช้เดินผ่านจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่งอาจไม่ใช่ทางเดินที่มีลักษณะเป็นทางสัญจรยาว ดังนั้นแสงสว่างจึงเป็นเพียงแค่แสงบรรยากาศจากพื้นที่ใช้งานที่อยู่ติดกัน ระดับการส่องสว่าง 50 ลักซ์ เป็นระดับที่เพียงพอต่อการมองเห็นสิ่งกีดขวางบนพื้น และสามารถมองเห็นพื้นต่างระดับ อุณหภูมิสีของแสงที่แนะนำควรอยู่ในช่วงอุณหภูมิสีต่ำ คือ สีวอร์มไวท์ ข้อควรระวังสำหรับไฟทางเดินคือไม่ควรให้มีความต่างของระดับการส่องสว่างระหว่างทางเดินกับพื้นที่ใช้งานใกล้เคียงมากเกินไป

ห้องเก็บของ

ระดับการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (ambient light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน (task light) คือ 20 – 30 -50 ลักซ์ ที่ระดับพื้น

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน (task light) คือ 20 – 30 -50 ลักซ์ ที่ระดับสายตา

ห้องเก็บของไม่ต้องการระดับการส่องสว่างที่สูงมากนัก ไม่ต้องให้ความสำคัญกับคุณภาพของแสงมากเหมือนพื้นที่ใช้งานอื่นๆภายในบ้าน ควรใช้หลอดไฟและดวงโคมที่มีประสิทธิผลของแสงที่สูงและการกระจายแสงทั่วถึงทุกพื้นที่ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน พื้นที่ที่สว่างที่สุดได้แก่บนพื้นและที่ชั้นวางของควรมีความเปรียบต่างเปรียบเทียบกับพื้นผิวส่วนที่มืดกว่าและอยู่ห่างออกไปไม่เกิน 10 ต่อ 1

ห้องทำงาน

ระดับการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) คือ 50 – 75 -100 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งาน(Task Light) คือ 200 – 300 -500 ลักซ์

ปริมาณการส่องสว่างในแนวตั้งบนพื้นที่ใช้งาน (task light) คือ 50 – 75 - 100 ลักซ์

แสงในห้องทำงานเป็นแสงที่มีระดับความส่องสว่างสูงในตำแหน่งที่มีการทำงาน ดังนั้น ตำแหน่งของหลอดไฟและดวงโคมหลักในห้อง จึงควรอยู่ตรงกับตำแหน่งของโต๊ะทำงานเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ของแสงได้มากที่สุด โดยต้องคำนึงถึงแสงบาดตาจากหลอดไฟและดวงโคม ซึ่งควรหลีกเลี่ยงเป็นอย่างยิ่ง เมื่อระดับการส่องสว่างสูงมาก ผลที่ตามมาก็คือความจ้าอันเกิดจากแสงสะท้อนวัตถุบนโต๊ะทำงานเข้าสู่ตา ไม่ว่าจะเป็นวัสดุพื้นผิวของโต๊ะ กระดาษสีขาว หน้าหนังสือ สิ่งเหล่านี้เป็นผลเสียต่อดวงตาและทำให้เกิดสภาวะไม่สบายทางการมอง ความแตกต่างของแสงที่สูงมากขณะก้มหน้าอ่านและเขียนหนังสือกับแสงขณะเงยหน้ามองผนังห้องที่อยู่ไกลออกไปซึ่งเป็นเสมือนฉากหลัง หากมีความเปรียบต่างกันมากเกินไปสายตาจะปรับตัวไม่ทัน ซึ่งต้องแก้ไขโดยการเพิ่มระดับการส่องสว่างของแสงที่ฉากหลังโดยอาจใช้ผนังสีอ่อน เพื่อเพิ่มค่าการสะท้อนแสง ทำให้ความเปรียบต่างลดลง ในการทำงานที่มีการเขียนหนังสือควรระวังเงาของมืออันเกิดจากตำแหน่งของหลอดไฟและดวงโคมไม่เหมาะสมตัวอย่างเช่น หากถนัดมือขวาใช้มือขวาเขียนหนังสือ ตำแหน่งของหลอดไฟและดวงโคมที่เหมาะสมคือ จากตำแหน่งด้านบนเยื้องทางด้านซ้ายโดยแสงส่องผ่านเหนือไหล่ซ้ายของผู้ใช้งาน จะเป็นตำแหน่งที่ไม่เกิดแสงบาดตาสะท้อนเข้าสู่ตา สำหรับในห้องที่มีการใช้คอมพิวเตอร์มีสิ่งที่ต้องระวัง คือแสงบาดตาสะท้อนจากหน้าจอคอมพิวเตอร์เข้าสู่ตาขณะทำงาน จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง เกิดความเครียดขณะทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2 – 35 แสดงการจัดแสงภายในห้องทำงาน

(Sally Storey, 2000: 76)

ภาพที่ 2-35 แสดงการจัดแสงภายในห้องทำงานที่มีการใช้ไฟส่องเน้นเฉพาะตำแหน่งที่มีความต้องการปริมาณการส่องสว่างที่สูงได้แก่บนโต๊ะทำงาน อัตราส่วนเปรียบต่างระหว่างบนโต๊ะทำงานกับพื้นที่ข้างเคียงไม่ควรเกิน 3 ต่อ 1 และกับพื้นที่ห่างไกลออกไปไม่ควรเกิน 10 ต่อ 1 ในภาพแสดงให้เห็นการลดอัตราส่วนเปรียบต่างของ พื้นที่ใช้งานกับผนังโดยการใช้ไฟส่องลงบนผนังบริเวณใกล้เคียงให้ผนังโดยรอบมีค่า luminance สูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวทางการสร้างแบบประเมินการใช้แสงธรรมชาติในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น นายกิตติพงศ์ เอี่ยมรัตนวงศ์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้แสงธรรมชาติเพื่อทดแทนแสงประดิษฐ์ในอาคารปรับอากาศต้องคำนึงถึงภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ที่เพิ่มขึ้นจากความร้อนที่มากับแสงธรรมชาติ การใช้แสงธรรมชาติโดยทั่วไปมักพบปัญหาที่ระดับความส่องสว่างไม่สม่ำเสมอ บริเวณใกล้ช่องแสงมีระดับการส่องสว่างสูงและค่อยๆลดต่ำลงจนไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบประเมินสำหรับอาคารที่ใช้แสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้างโดยเปรียบเทียบค่าระดับการส่องสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติกับค่ามาตรฐาการส่องสว่างสากล (IES) เพื่อประเมินศักยภาพของแสงธรรมชาติภายในอาคารที่พิจารณา

การวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของตัวแปรในการนำแสงธรรมชาติด้านข้างมาใช้ภายในอาคารเท่านั้น โดยคำนวณหาการส่องสว่างภายในอาคารด้วยวิธี Sky Factor ของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ รูปแบบและอัตราส่วนของช่องแสง ความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้า การเปลี่ยนตำแหน่งและการโคจรของดวงอาทิตย์ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายนอกอาคาร ค่าความสกปรกของท้องฟ้าและสภาพบรรยากาศ ค่าการส่องผ่านของแสง พื้นที่สุทธิของช่องแสง เพื่อกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินค่าการส่องสว่าง (ลักซ์) และภาระการทำความเย็น (วัตต์ต่อตารางเมตร) เพื่อใช้สำหรับประเมินการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการวิจัยพบว่า การใช้แสงธรรมชาติด้านข้างในอาคารพักอาศัยที่เหมาะสม มีระดับการส่องสว่างเท่ากับ 250 ลักซ์ และภาระการทำความเย็นสูงสุดเท่ากับ 0.365 วัตต์ต่อตารางเมตร ในอาคารสำนักงานที่เหมาะสม มีระดับการส่องสว่าง เท่ากับ 350 ลักซ์ และภาระการทำความเย็นสูงสุดเท่ากับ 0.731 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยที่ไม่น้อยกว่าหรือมากกว่าค่ามาตรฐานดังกล่าว ถ้ามากกว่าค่ามาตรฐานแสดงว่ามีแสงสว่างที่มากไป มีปริมาณความร้อนสูง และถ้าน้อยกว่าค่ามาตรฐานแสดงว่ามีแสงสว่างที่น้อยไป ไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายใน

ผลการทดสอบแบบประเมินที่สร้างขึ้นกับอาคารพักอาศัยตัวอย่างจำนวน 2 หลัง ได้แก่ บ้านพักอาศัยทั่วไป และบ้านที่ออกแบบให้มีการประหยัดพลังงาน พบว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปจัดเป็นอาคารที่มีศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติในอาคารระดับ 2 เป็นระดับที่พอใช้ บ้านที่ออกแบบให้มีการประหยัดพลังงานจัดเป็นอาคารที่มีศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติในอาคารเบอร์ 4 เป็นระดับที่ดี และสำนักงานตัวอย่างจำนวน 2 หลัง ได้แก่สำนักงานทั่วไป และสำนักงานที่

ออกแบบให้มีการประหยัดพลังงาน พบว่าสำนักงานทั่วไปจัดเป็นอาคารที่มีศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติในอาคารระดับ 2 เป็นระดับที่พอใช้ สำนักงานที่ออกแบบให้มีการประหยัดพลังงานจัดเป็นอาคารที่มีศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติในอาคารเบอร์ 4 เป็นระดับที่ดี ผลที่ได้จากการทดสอบแบบประเมินที่สร้างขึ้นพบว่า การใช้แสงธรรมชาติในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องมีปริมาณการส่องสว่างภายในตามมาตรฐานที่กำหนด ไม่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นภายในอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3. 1 ขอบเขตของตัวแปรในการวิจัย

3.1.1 **ระดับความส่องสว่างภายในอาคาร** ในการวิจัยนี้ใช้ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำของพื้นที่ใช้งานของ IESNA (The Illuminating Society of North America) โดยข้อกำหนดระดับความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำของพื้นที่ใช้งานของ IESNA มีการแบ่งรูปแบบของกิจกรรมไว้เป็นกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มถูกกำหนดไว้ให้มีระดับความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของกิจกรรม และภายในกลุ่มยังได้มีการแบ่งระดับความส่องสว่างออกเป็น 3 ระดับ ขึ้นอยู่กับค่าคะแนนของ Weighting Factors ประกอบไปด้วย อายุของผู้กระทำกิจกรรม, ค่าการสะท้อนแสงภายในของพื้นที่หรือห้อง ดังนี้

IESNA Recommened Illuminance Values

Illuminance category	Ranges of illuminance maintained in service, lux (fc)	Type of activity
General illuminance thoughout room :		
A	20-30-50 (2-3-5)	-Public spaces with dark surrounding
B	50-75-100 (5-7.5-10)	-Simple orientation for short temporary visits -Working space where visual tasks are only
C	100-150-200 (10-15-20)	occasionally performed

Illuminance on task :		
D	200-300-500 (20-30-50)	-Performance of visual tasks of high contrast or large size:reading printed material, typed originals, hand writing in ink, and good xerog-raphy; rough bench and machine work;ordinary inspection;rough assembly
E	500-750-1000 (50-75-100)	-Performance of visual tasks of medium contrast or small size :reading medium pencil handwriting, poorly printed or reproduced material: medium bench and machine work;difficult inspection;medium assembly
F	1000-1500-2000 (100-150-200)	-Performance of visual tasks of low contrast or very small size reading handwriting in hard pencil on poor-quality paper and very poorly reproduced material; high difficult inspection
Illuminance on task,obtained by a combination of general and local (supplementary) lighting :		
G	2000-3000-5000 (200-300-500)	-Performance of visual tasks of low contrast and very small size over a prolonged period and fine assembly; very difficult inspection; fine bench and machine work
H	5000-7500-10000 (500-750-1000)	- Performance of visual tasks of very prolonged and exacting visual tasks: the most difficult inspection; extra -fine bench and machine work extra –fine assembly
I	10000-15000-20000 (1000-1500-2000)	- Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size: for example procedures

ตารางที่ 3-1 แสดงข้อแนะนำระดับความส่องสว่างมาตรฐาน IESNA

(M.David Egan and Victor W.Olgyay, 2002: 34)

Note : The IESNA recommended values are not used to determine appropriate illuminance in the architectural environment when design objectives invole focusing on merchandise, emphasizing room surface to attract attention, creating a relaxing mood, and so on.

Weighting Factors for IESNA Recommended Illuminance

Weighting Factors is the table below are determined on the basis of worker and task information. When the algebraic sum of weighting factors is -3 or -2, use the lowest value in the illuminance range ; when -1 to +1, use the middle value ; and when +2 or +3, use the highest value.

For illuminance categories A through C

Room and occupant characteristics	Weighting factor		
	-1	0	+1
Occupants' ages	Under 40	40 to 55	Over 55
Room surface reflactances	>70%	30 to 70%	<30%

For illuminance categories D through I

Task and worker characteristics	Weighting factor		
	-1	0	+1
Workers' ages	<40	40 to 50	>55
Speed and/or accuracy	Not important	Important	Critical
Reflectance of task background	>70%	30 to 70%	<30%

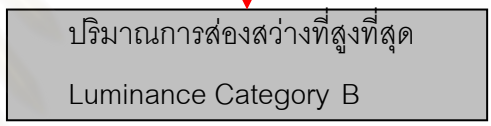
ตารางที่ 3-2 แสดงค่า Weighting factor ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างมาตรฐาน IESNA

(M.David Egan and Victor W.Olgyay, 2002: 35)

สำหรับการ Weighting เพื่อตัดสินว่าจะใช้ปริมาณการส่องสว่างค่าใดเป็นปริมาณการส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำในแต่ละพื้นที่นั้นสิ่งที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสำหรับอาคารพักอาศัย ได้แก่ อายุของผู้ใช้อาคาร ถ้าผู้ใช้อาคารมีอายุมากก็จำเป็นต้องใช้ปริมาณการส่องสว่างสูงขึ้น และค่าการสะท้อนแสงภายในต่ำก็ต้องใช้ปริมาณการส่องสว่างสูงขึ้น จากตาราง 3-2 หากค่าคะแนน -3 ถึง -2 ให้ใช้ปริมาณการส่องสว่างที่น้อยที่สุด หากค่าคะแนนอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ให้ใช้ปริมาณการส่องสว่างปานกลาง หากค่าคะแนน +2 ถึง +3 ให้ใช้ปริมาณการส่องสว่างที่สูงที่สุด

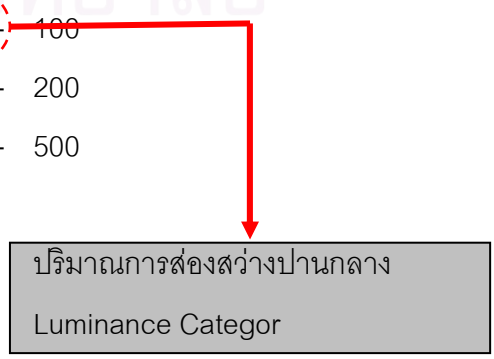
ตัวอย่างที่ 1 บ้านหลังที่ 1 มีผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปี และภายในบ้านใช้สีของเพดาน ผนัง และพื้นสีเข้ม มีค่าการสะท้อนแสงภายในต่ำเพียง 25 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจึงมีค่าคะแนน +2 จะต้องใช้ปริมาณการส่องสว่างที่สูงที่สุด ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) ในอาคารพักอาศัยจัดอยู่ใน luminance category B เมื่อมีค่าคะแนนในการ Weighting เท่ากับ 2 ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณการส่องสว่าง 100 ลักซ์

Luminance Category	Ranges of Illuminance Maintained in Service,lux
A	20 - 30 - 50
B	50 - 75 - 100
C	100 - 150 - 200
D	200 - 300 - 500



ตัวอย่างที่ 2 บ้านหลังที่ 2 มีอายุเฉลี่ยของผู้อยู่อาศัย 45 ปี และภายในบ้านใช้สีของเพดาน ผนัง และพื้นสีอ่อน มีค่าการสะท้อนแสงภายในสูงถึง 75 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจึงมีค่าคะแนน -1 จะต้องใช้ปริมาณการส่องสว่างช่วงกลาง ปริมาณการส่องสว่างทั่วไป (Ambient Light) ในอาคารพักอาศัยจัดอยู่ใน luminance category B เมื่อมีค่าคะแนนในการ Weighting เท่ากับ -1 ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณการส่องสว่าง 75 ลักซ์

Luminance Category	Ranges of Illuminance Maintained in Service,lux
A	20 - 30 - 50
B	50 - 75 - 100
C	100 - 150 - 200
D	200 - 300 - 500



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IESNA Lighting Design Guide

1.INTERIOR

LOCATION AND TASKS

Design Issues	Appearance of Space and Luminaires	Color Appearance(and color Contrast)	Daylighting Integration and Control	Direct Glare	Flicker (and Strobe)	Light Distribution on Surface	Light Distribution on Task Plane (Uniformity)	Luminance 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
Residences																							
General lighting																				B			
Conversation, relaxation and entertainment																				A		A	
Passage areas (circulation)																				A		A	
Specific visual tasks																							
Dining																				B			
Grooming																							
Make up and shaving																				D		B	
Dressing evaluation (mirror)																				D		B	

1.INTERIOR

LOCATION AND TASKS

Design Issues	Appearance of Space and Luminaires	Color Appearance(and color Contrast)	Daylighting Integration and Control	Direct Glare	Flicker (and Strobe)	Light Distribution on Surface	Light Distribution on Task Plane (Uniformity)	Luminance 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
Handcrafts and hobbies																							
Ordinary tasks (e.g., crafts)																				D		B	
Difficult task (e.g., sewing)																				E		C	
Critical task (e.g., workbench)																				F		D	
Easel hobbies																						D	
Ironing																				D			
Kitchen counter																							
Critical seeing (e.g., cutting)																				E		C	
General																				D		B	

1.INTERIOR

LOCATION AND TASKS

Design Issues	Appearance of Space and Luminaires	Color Appearance(and color Contrast)	Daylighting Integration and Control	Direct Glare	Flicker (and Strobe)	Light Distribution on Surface	Light Distribution on Task Plane (Uniformity)	Luminance 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
Kitchen range																							
Difficult seeing (e.g., cooking)																				E		C	
Kitchen sink																							
Difficult seeing																				E		C	
Noncritical (clean up)																				D		B	
Laundry																				D		A	
Music study (piano, organ)																				D		B	
Reading																							
In a chair (casual)																				D		B	

1.INTERIOR

LOCATION AND TASKS

Design Issues	Appearance of Space and Luminaires	Color Appearance(and color Contrast)	Daylighting Integration and Control	Direct Glare	Flicker (and Strobe)	Light Distribution on Surface	Light Distribution on Task Plane (Uniformity)	Luminance 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
In a chair (serious)																				E		C	
In bed (casual)																				D		B	
At desk																							
Casual																				D		A	
Serious																				E		C	
Sewing (see Residence: Handcrafts and Hobbies)																							
Table game																				D		B	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.INTERIOR

LOCATION AND TASKS

Design Issues	Appearance of Space and Luminaires	Color Appearance(and color Contrast)	Daylighting Integration and Control	Direct Glare	Flicker (and Strobe)	Light Distribution on Surface	Light Distribution on Task Plane (Uniformity)	Luminance 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
Service Spaces																							
(see Service Space in Section II, Industrial)																							
Stairway and corridors																				B			
Elevators (see Elevators)																							
Toilets and washrooms																				B		A	

ตารางที่ 3-3 แสดงข้อแนะนำการออกแบบระบบส่องสว่างของIESNA

(Mark S. Rea.2000: Interior 14-16)

Very Important

Important

Somewhat important

Blank = Not important or not applicable

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตาราง 3-3 ได้มีการกำหนดปริมาณการส่องสว่างพื้นที่ต่างๆภายในอาคารพักอาศัย ทั้งระนาบแนวตั้งและระนาบแนวนอนและมีข้อแนะนำเป็นแนวทางในการออกแบบระบบส่องสว่างด้านคุณภาพของแสง

ในกรณีการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัยพบว่าระบบแสงที่เหมาะสมและสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ดีคือแบบแสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป (Loalized Lighting and General Lighting) คือการออกแบบให้มีการใช้ไฟส่องเน้นเฉพาะบริเวณที่ต้องการปริมาณการส่องสว่างสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง เช่น การอ่านหนังสือในห้องพักผ่อนที่ต้องการปริมาณการส่องสว่างสูงถึง 500 ลักซ์ในขณะที่พื้นที่รอบๆใช้ปริมาณการส่องสว่างเฉลี่ยเพียง 100 ลักซ์เท่านั้น จึงใช้โคมไฟส่องเพิ่มในบริเวณที่อ่านหนังสืออีก 400 ลักซ์ เพื่อให้เฉพาะบริเวณดังกล่าวมีปริมาณการส่องสว่าง 500 ลักซ์เท่านั้นโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณการส่องสว่างทั่วทั้งห้องเป็น 500 ลักซ์

3.1.2 **อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่าง** ในการวิจัยนี้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัยได้แก่

- หลอดไฟ ประกอบไปด้วย
    - หลอดไฟอินแคนเดสเซนต์
    - หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
    - หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์
- บัลลาสต์ ประกอบไปด้วย
    - บัลลาสต์แกนเหล็กสำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
    - บัลลาสต์โลว์ลอสสำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
    - บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
    - บัลลาสต์เกนเหล็กสำหรับหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์
    - บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของบัลลาสต์	พลังงานสูญเสียในบัลลาสต์(วัตต์)
บัลลาสต์แกนเหล็กสำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	9
บัลลาสต์โลว์ลอสท์สำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	6
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	3
บัลลาสต์เกนเหล็กสำหรับหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	3
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	1

ตารางที่ 3-4 แสดงพลังงานสูญเสียในบัลลาสต์

(Osram, 2005/2006)

- โคมไฟ ในการคำนวนเพื่อหาระดับความส่องสว่างภายในอาคารนั้นหากใช้วิธีจุดต่อจุด (Point By Point) ข้อมูลสำคัญของดวงโคมที่ผู้คำนวนต้องทราบคือค่าประสิทธิผลโคมไฟ(Lumen Output Ratio : L.O.R.) และ กราฟการกระจายแสงของโคมไฟ(Curve Distribution) ซึ่งจะบอกค่าความเข้มแสงที่ออกจากดวงโคมในทิศทางต่างๆ แต่หากใช้การคำนวนวิธีลูเมน (Lumen Method) ผู้คำนวนต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (CU) เพื่อนำไปใช้หาปริมาณลูเมนใช้งานจริง เนื่องจากในการศึกษานี้ต้องการใช้ปริมาณพลังงานที่ออกจากโคมไฟที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาพภายในห้องจึงไม่สามารถใช้ค่า CU ในการคำนวณจึงใช้ค่าประสิทธิผลโคมไฟ(Lumen Output Ratio : L.O.R.)แทนในการคำนวณ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดสามารถดูได้จากเอกสารจากผู้ผลิตดวงโคมที่มีมาตรฐาน โคมไฟทั่วไปในอาคารพักอาศัยในปัจจุบันแบ่งประเภทได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภท (Classification)	ค่าประสิทธิผลโคมไฟ (Lumen Output Ratio : L.O.R.) (%)
1.โคมไฟหลอดไฟเปลือย	89 - 96
2.โคมไฟหลอดไฟเปลือยชนิดมีแผ่นสะท้อนแสง	88 - 91
3.โคมไฟแบบมีตะแกรงอลูมิเนียม	67 - 87
4.โคมไฟแบบมีผิวหน้าโคมพริสเมติก	60 - 73
5.โคมไฟแบบมีผิวหน้าโคมใส	78 - 91

ตารางที่ 3-5 การแบ่งประเภทโคมไฟ
(Modular International Co.,Ltd.)

3.1.3 **ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของพื้นผิวห้อง** คือค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยรวมทั้งห้องของเพดาน ผนังโดยรอบและพื้นของห้องหรือพื้นที่ใช้งานเป็นค่าที่นำไปใช้ในการ weighting ค่าคะแนนของระดับความส่องสว่าง ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยมีสูตรการคำนวนดังนี้

$$\rho w = \frac{A1\rho1 + A2\rho2 + A3\rho3 + \ldots\ldots\ldots + AN\rho N}{A1 + A2 + A3 + \ldots\ldots\ldots + AN} \quad \%$$

เมื่อ ρw = ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ย(%)

$\rho1 \ldots\ldots \rho N$ = ความสามารถสะท้อนแสงของพื้นผิว

$A1 \ldots\ldots AN$ = ขนาดพื้นที่

(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545: 232)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Medium Value Colors	%
White	80 - 85
Light gray	45 - 70
Dark gray	20 - 25
Ivory white	70 - 80
Ivory	60 - 70
Pearl gray	70 - 75
Buff	40 - 70
Tan	30 - 50
Brown	20 - 40
Green	25 - 50
Olive	20 - 30
Azure blue	50 - 60
Sky blue	35 - 40
Pink	50 - 70
Cardinal red	20 - 25
Red	20 - 40

ตารางที่ 3-6 แสดงค่าการสะท้อนแสงของสีต่างๆ

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 1066)

ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวสีต่างๆขึ้นอยู่กับความสะอาดและ ความเก่า ใหม่ของพื้นผิว พื้นผิวที่มีความสะอาดหมายถึงมีปริมาณฝุ่นละอองและคราบสกปรกน้อยค่าการสะท้อนแสงย่อมดีกว่าพื้นผิวที่สกปรก วัสดุที่ใหม่วัสดุพื้นผิวจะมีค่าการสะท้อนแสงดีกว่าวัสดุที่เก่ากว่า

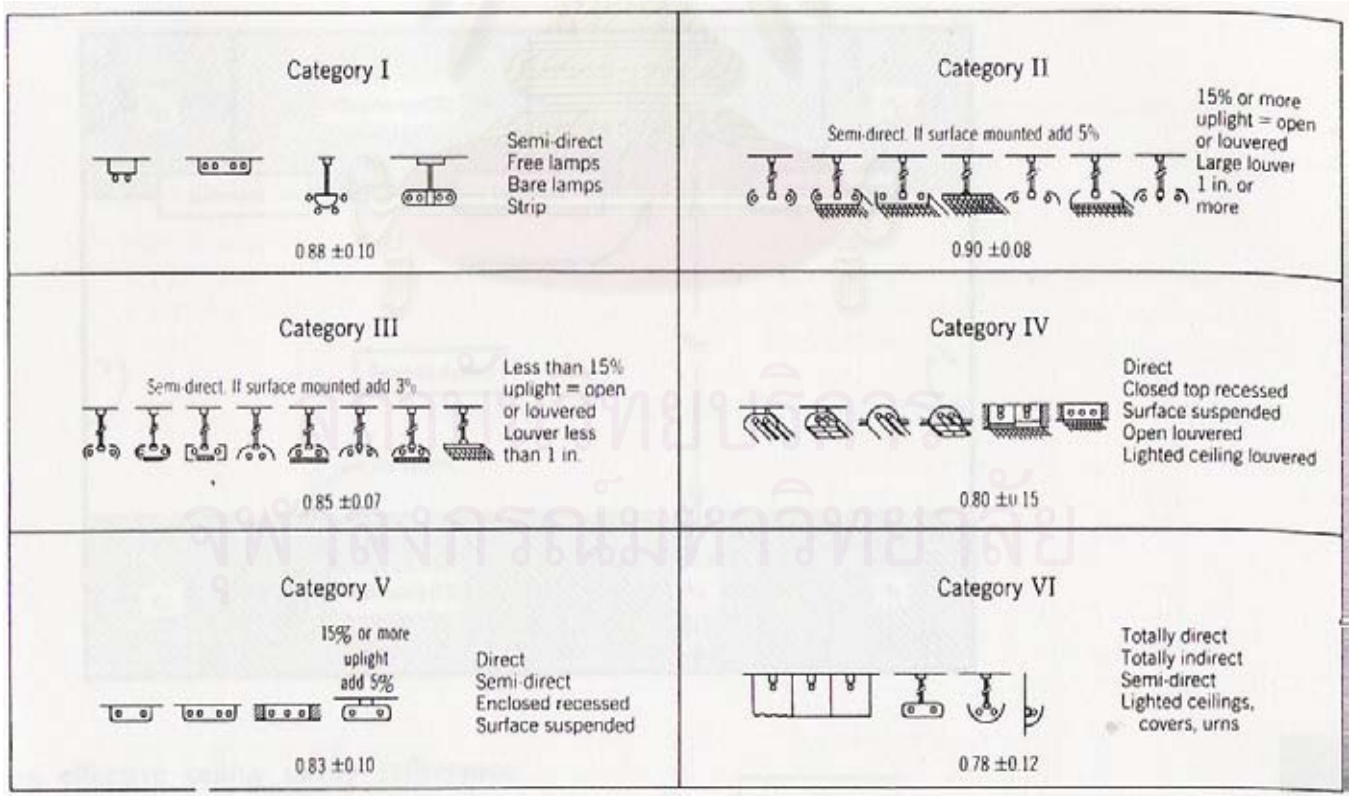
IES ได้มีข้อแนะนำสำหรับค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้องจะเห็นว่าค่าการสะท้อนแสงของเพดานควรมีค่ามากที่สุดคือไม่ควรต่ำกว่า 80% ค่าการสะท้อนแสงของผนังควรอยู่ระหว่าง 50% ถึง 70% ส่วนค่าการสะท้อนแสงของพื้นควรอยู่ระหว่าง 20% ถึง 50%

Illumination Levels	
Ceiling	80% minimum
walls	50 - 70%
Partitions	50 - 70%
Floor	20 - 40%
Desktops, furniture	25 - 45%
Window Blinds	40 - 60%

ตารางที่ 3-7 แสดงระดับค่าการสะท้อนแสง สำหรับพื้นผิวภายในห้องของ IES

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 1167)

3.1.4 ค่าตัวประกอบการสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากโคมไฟ (Luminaire Dirt Depreiation : LDD) เมื่อใช้งานโคมไฟไปนานๆความสามารถสะท้อนแสงสว่างก็จะลดลงเนื่องจากการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสกปรกของพื้นที่ติดตั้งและการรักษาความสะอาดของผู้ใช้อาคาร และขึ้นอยู่กับรูปแบบของโคมไฟซึ่ง IES จำแนกได้เป็น 6 กลุ่มและความสกปรกของห้องสามารถพิจารณาจากตารางเปอร์เซ็นความเสื่อมของโคมไฟดังนี้



ภาพที่ 3-1 แสดงการจัดกลุ่มโคมไฟของ IES

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 1108)

กลุ่มที่ 1 โคมไฟเปลือยหลอด

กลุ่มที่ 2 โคมไฟที่มีทิศทางการกระจายแสงขึ้นด้านบนมากกว่า 15% แบบเปิดหน้าโคมหรือมีช่องตะแกรงขนาดใหญ่กว่า 2.5 ซม.

กลุ่มที่ 3 โคมไฟที่มีทิศทางการกระจายแสงขึ้นด้านบนน้อยกว่า 15% แบบเปิดหน้าโคมหรือมีช่องตะแกรงขนาดเล็กกว่า 2.5 ซม.

กลุ่มที่ 4 โคมไฟที่มีทิศทางการกระจายแสงลงด้านล่าง ช่องแสงหรือตะแกรงเปิดเฉพาะด้านล่างและโคมฝังฝ้าแบบหน้าโคมตะแกรง

กลุ่มที่ 5 ดวงโคมแบบมีการครอบปิดทุกด้านด้วยกรอบโลหะและปิดช่องแสงด้วยวัสดุใสหรือวัสดุปริสเมติกกระจายแสง

กลุ่มที่ 6 โคมไฟชนิดอื่นนอกเหนือจากโคมไฟในกลุ่มที่1 ถึงกลุ่มที่ 5

ลักษณะโคมไฟ	ค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากโคมไฟ (LDD)		
	พื้นที่สกปรก	พื้นที่สะอาดปานกลาง	พื้นที่สะอาดมาก
กลุ่มที่ 1	0.78	0.88	0.98
กลุ่มที่ 2	0.82	0.90	0.98
กลุ่มที่ 3	0.78	0.85	0.92
กลุ่มที่ 4	0.65	0.80	0.95
กลุ่มที่ 5	0.73	0.83	0.93
กลุ่มที่ 6	0.66	0.78	0.90

ตารางที่ 3-8 แสดงค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากโคมไฟ ตามมาตรฐาน IES (Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 1108)

ความสกปรกภายในอาคารขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นละอองในอากาศทั้งภายในและโดยรอบอาคาร การกำหนดให้ห้องหรือพื้นที่ใช้งานมีระดับความสกปรกมากหรือน้อยพิจารณาได้จากสิ่งต่อไปนี้

พื้นที่สะอาดมาก คือ มีการดูแลรักษาความสะอาดเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอ, อยู่ในสภาพแวดล้อมที่สะอาดมากและมีความหนาแน่นของฝุ่นละอองในอากาศน้อย เช่นบริเวณที่มีต้นไม้ช่วยกรองฝุ่นละอองโดยรอบอาคาร อยู่ห่างไกลจากที่ที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง เช่น บริเวณที่มีการก่อสร้าง ถนน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นห้องปรับอากาศที่ฝุ่นละอองเข้าสู่ภายในได้น้อย

พื้นที่สะอาดปานกลาง คือ มีการดูแลรักษาความสะอาดปานกลาง, อยู่ในสภาพแวดล้อมที่สะอาดปานกลางและมีความหนาแน่นของฝุ่นละอองในอากาศปานกลาง

พื้นที่สกปรก คือ มีการดูแลรักษาความสะอาดน้อย, อยู่ในสภาพแวดล้อมที่สกปรกมีความหนาแน่นของฝุ่นละอองในอากาศมาก เช่นบริเวณที่มีการก่อสร้าง บริเวณที่อยู่ใกล้กับถนน อยู่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณฝุ่นละอองสูง ลักษณะการใช้งานเปิดโล่งฝุ่นละอองเข้าสู่อาคารได้มาก

เมื่อนำการแบ่งประเภทของดวงโคมในตารางที่ 3-5 มาหาค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมจากตารางที่ 3-8 ทำให้สามารถทราบค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่าง ของดวงโคมที่มีลักษณะต่างกันได้ดังนี้

ประเภทของโคมไฟ	ค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคม (LDD)		
	พื้นที่สกปรก	พื้นที่สะอาดปานกลาง	พื้นที่สะอาดมาก
1.ดวงโคมหลอดไฟเปลือย	0.78	0.88	0.98
2.ดวงโคมหลอดไฟเปลือยชนิดมีแผ่นสะท้อนแสง	0.65	0.80	0.95
3.ดวงโคมแบบมีตะแกรงอลูมิเนียม	0.65	0.80	0.95
4.ดวงโคมแบบมีผิวหน้าโคมพริสเมติก	0.73	0.83	0.93
5.ดวงโคมแบบมีผิวหน้าโคมใส	0.73	0.83	0.93

ตารางที่ 3-9 แสดงค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมประเภทต่างๆ

3.1.5 **ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่าง** ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างในอาคารคือค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่รวมพลังงานที่ต้องใช้ของหลอดไฟและบัลลาสต์ทั้งหมดในระบบแสงหลักคือแสงเพื่อการใช้งานต่อพื้นที่ใช้งาน โดยที่ไม่รวมอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแสงรองหรือแสงเพื่อการประดับตกแต่ง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

พลังงานระบบส่องสว่าง = $\frac{\text{พลังงานรวมของหลอดไฟ (วัตต์) + พลังงานรวมของบัลลาสต์ (วัตต์)}}{\text{พื้นที่ใช้งาน (ตารางเมตร)}}$

ตัวอย่างเช่น ในห้องนอนขนาด 15 ตารางเมตร ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลม ขนาด 40 วัตต์จำนวน 2 หลอด บัลลาสต์แกนเหล็กที่มีค่าการสูญเสียพลังงานตัวละ 9 วัตต์ ดังนั้น ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างในห้องนอนคือ

$$\frac{(40 \times 2) + (9 \times 2)}{15} = 6.53 \text{ วัตต์ต่อตารางเมตร}$$

3. 2 วิธีประเมินการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.1 การคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง

ในการคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง จะต้องกำหนดมาตรฐานปริมาณการส่องสว่างเพื่อที่จะสามารถคำนวณค่าการใช้พลังงาน (วัตต์ต่อตารางเมตร) โดยใช้ปริมาณการส่องสว่างที่ 100 ลักซ์ เพื่อง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ส่วนค่าของตัวแปรในการคำนวณนี้ประกอบด้วย ค่าพลังงานจากระบบส่องสว่างจากดวงโคม (ลูเมน) และพื้นที่ใช้งาน (ตารางเมตร)

$$\text{lux} = \frac{\text{lumen}}{\text{Square meters of area}}$$

$$E = \frac{L}{A}$$

หรือ

$$A = \frac{L}{E}$$

E = ปริมาณการส่องสว่าง (ลักซ์)

L = พลังงานของแสงสว่างที่ออกจากหลอดไฟฟ้าหรือดวงโคมไฟฟ้า (ลูเมน)

A = พื้นที่ (ตารางเมตร)

(Benjamin Stein and John S. Reynolds, 1992: 916)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างจริงที่ตกลงบนพื้นที่ใช้งาน ได้แก่ ค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากโคมไฟ และประสิทธิผลของดวงโคม โดยไม่นำตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมภายในห้อง เช่น อัตราส่วนโพรงห้อง ค่าการสะท้อนแสงภายใน และค่า CU ของโคมไฟมาใช้ในการคำนวณ จึงทำให้สมการเป็นดังนี้

$$E = \frac{(L \times L.O.R. \times LDD)}{A}$$

โดยที่

E = ปริมาณแห่งการส่องสว่าง (ลักซ์)

L = พลังงานของแสงสว่างที่ออกจากหลอดไฟฟ้าหรือดวงโคมไฟฟ้า (ลูเมน)

L.O.R. = ประสิทธิผลของดวงโคม (Light Output Ratio)

LDD = ค่าตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่างที่ออกจากโคมไฟ

A = พื้นที่ (ตารางเมตร)

- พลังงานไฟฟ้าที่นำมาพิจารณานั้นรวมพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดไฟและพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปกับการทำงานของบัลลาสต์
- การคิดหาปริมาณพลังงานต่อพื้นที่ คิดที่ปริมาณการส่องสว่าง 100 ลักซ์ ดังนั้นหน่วยของปริมาณพลังงานที่ใช้คือ วัตต์ต่อตารางเมตรต่อ 100 ลักซ์

3.2.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร

ในการคำนวณหาผลของค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคารต่อการใช้พลังงานในระบบส่องสว่าง จำเป็นต้องมีการทดลองโดยสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาผลของค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายในต่อปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) ภายในอาคาร และศึกษาอัตราส่วนเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บนระนาบใช้งาน (Working Plane) กับความจ้า (Luminance) บนผนังภายในอาคาร

อุปกรณ์ในการทดลอง

ใช้กล่องทดลองเป็นแบบจำลองห้องมาตราส่วน 1 : 10

1. กล่องทดลองขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 28 เซนติเมตร จำนวน 3 กล่อง

   1.1 กล่องที่มีผนังภายใน 4 ด้านและพื้นสีดำ (ค่าการสะท้อนแสง 0.05%)

1.2 กล่องที่มีผนังภายใน 4 ด้านและพื้นสีเทา (ค่าการสะท้อนแสง 0.40%)

1.3 กล่องที่มีผนังภายใน 4 ด้านและพื้นสีขาว (ค่าการสะท้อนแสง 0.85%)

2. พื้นที่ใช้งานจำลองขนาดกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูงจากพื้นกล่องทดลอง 7.5 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น

2.1 สีน้ำเงินเข้ม (ค่าการสะท้อนแสง 0.10%)

2.2 สีชมพู (ค่าการสะท้อนแสง 0.50%)

2.3 สีขาวครีม (ค่าการสะท้อนแสง 0.75%)

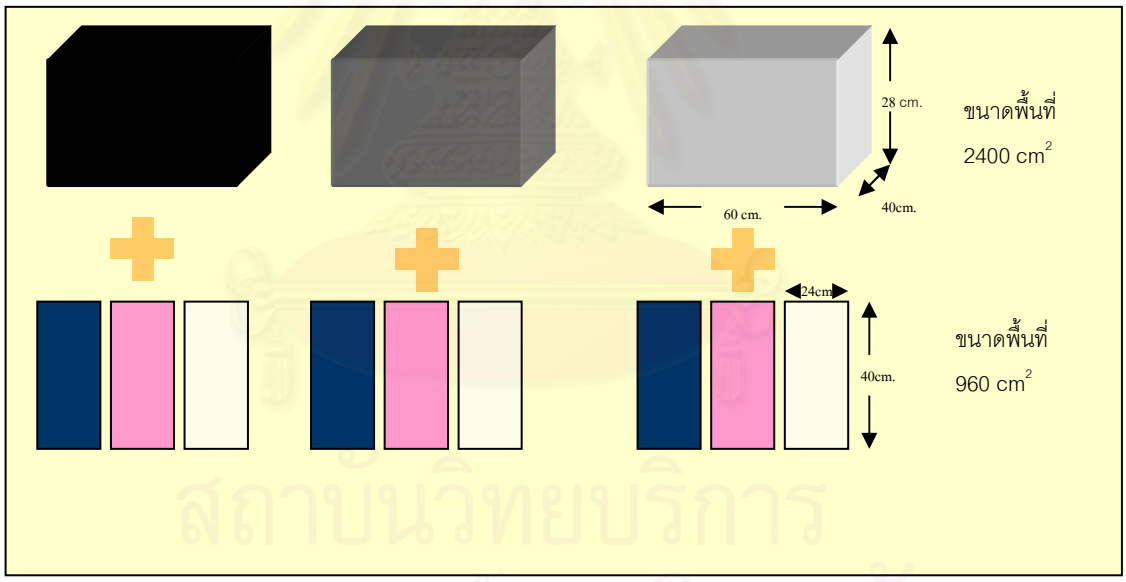
3. แผ่นพลาสติกฝ้ากระจายแสง

4.หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ขนาด 11 วัตต์ 600 ลูเมน

5. ท่อ P.V.C. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 เซนติเมตร

6. Luminance Meter

7. Illuminance Meter



ภาพที่ 3-2 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3-3 แสดงเครื่องวัดความจ้าบนวัตถุ Luminance Meter

ภาพที่ 3-4 แสดงเครื่องวัดปริมาณการส่องสว่าง Illuminance Meter

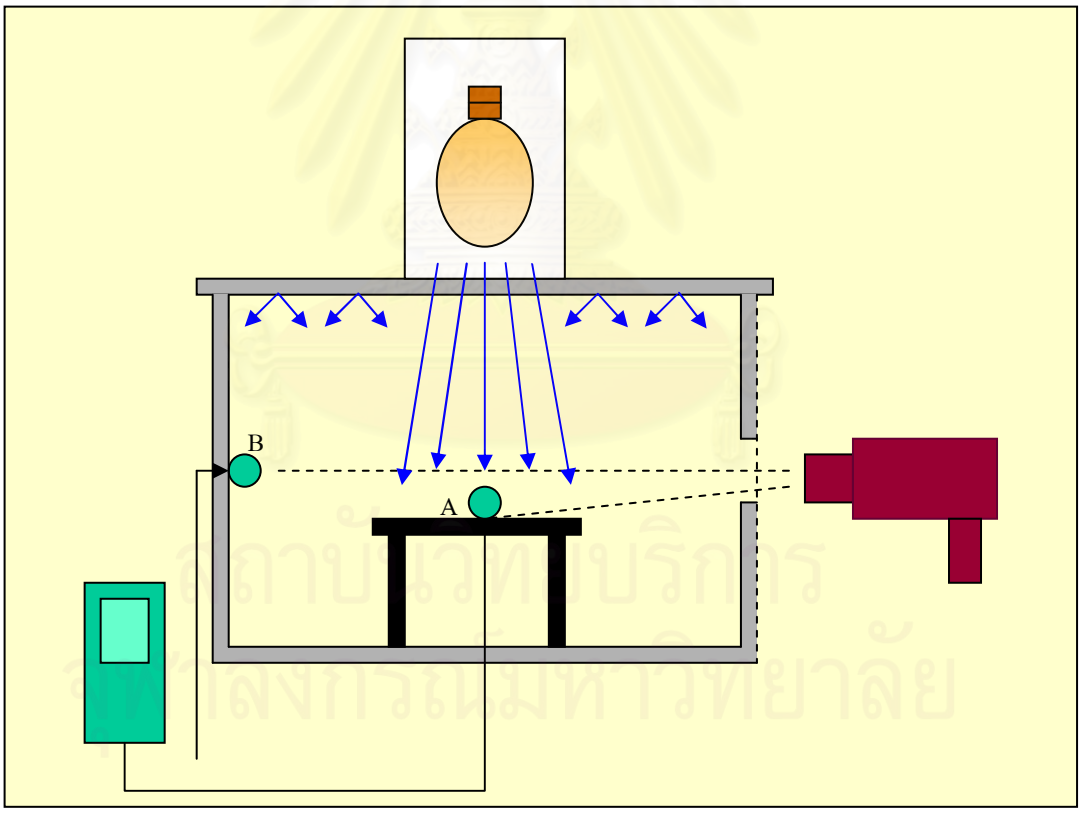
วิธีทดลอง

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3-3 โดยเริ่มจากกล่องที่มีผนังภายในสีดำ ทำการใส่ระนาบใช้งานจำลองสีน้ำเงินเข้มลงในกล่องทดลองโดยกำหนดให้มี Illuminance ณ ตำแหน่งกึ่งกลางระนาบใช้งานจำลองขณะที่ยังไม่เปิดไฟส่องเน้น 100 ลักซ์ หรือ 10 ฟุตแคนเดิล (Ambient Light จากเพดานที่ใช้แผ่นพลาสติกกระจายแสง) และมี Illuminance ณ ตำแหน่งกึ่งกลางระนาบใช้งานจำลอง 500 ลักซ์ หรือ 50 ฟุตแคนเดิลเมื่อเปิดไฟส่องเน้น แล้วทำการวัดและเก็บข้อมูล Illuminance ณ ตำแหน่งกึ่งกลางระนาบใช้งานจำลอง และบนผนังด้านในของกล่องทดลอง

2. ใช้ Luminance Meter วัดค่า Luminance ณ ตำแหน่งกึ่งกลางระนาบใช้งานจำลองและบนผนังด้านในของกล่องทดลอง

3. ทำซ้ำข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนระนาบใช้งานจำลองเป็นสีชมพูและสีขาวครีมตามลำดับ

4. ทำซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 3 โดยเปลี่ยนกล่องทดลองเป็นกล่องที่มีผนังภายในสีเทาและสีขาวตามลำดับ



ภาพที่ 3-5 แสดงลักษณะของกล่องทดลอง

ภาพที่ 3-6 แสดงเหตุการณ์ขณะทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3-7 แสดงพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีดำ

ภาพที่ 3-8 แสดงแสดงพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีขาว

ภาพที่ 3-9 แสดงการวัดปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีดำ

ภาพที่ 3-10 แสดงการวัดปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานในกล่องทดลองสีขาว

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4. 1 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง

อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร คือ การใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง คือ เป็นอุปกรณ์ที่มีการสูญเสียพลังงานในระบบน้อย ได้แก่

4.1.1 **หลอดไฟ** หลอดไฟที่มีประสิทธิผลสูงคือมีค่าลูเมนต่อวัตต์สูง จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าชนิดของหลอดไฟที่มีประสิทธิผลสูงคือหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ส่วนหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิผลต่ำ ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารที่ให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

4.1.2 **บัลลาสต์** บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในวงจรไฟฟ้าของระบบส่องสว่าง ปริมาณไฟฟ้าที่สูญเสียขึ้นอยู่กับชนิดของบัลลาสต์ในปัจจุบันบัลลาสต์ที่มีค่าการสูญเสียพลังงานต่ำที่สุดเมื่อกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟที่ใช้เท่ากันคือบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

4.1.3 **โคมไฟ** โคมไฟถือเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่เป็นตัวควบคุมแสงจากหลอดไฟลงสู่พื้นที่ใช้งาน ค่าประสิทธิผลของโคมไฟเป็นตัวชี้วัดความสามารถของโคมไฟในการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด สังเกตได้จากในปัจจุบันหลอดไฟมีค่าประสิทธิผลสูงขึ้นและค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่ได้หมายความว่าพลังงานแสงทั้งหมดนั้นจะตกลงสู่พื้นที่ใช้งานได้ทั้งหมด แต่เมื่อใช้หลอดไฟประสิทธิผลสูงควบคู่กับโคมไฟที่มีประสิทธิผลสูงจะเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

ตัวอย่างแสดงให้เห็นความสำคัญของดวงโคม

ใช้หลอดไฟประสิทธิผลสูงคือ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์T8 36 วัตต์ 3300 ลูเมนชนิดที่มีค่าประสิทธิผลถึง 95 ลูเมนต่อวัตต์ร่วมกับดวงโคมที่มี L.O.R. ประมาณ 55% เปรียบเทียบกับหลอดไฟค่าประสิทธผลปานกลางเช่น หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 11 วัตต์ 650 ลูเมน 59 ลูเมนต่อวัตต์ใช้ร่วมกับดวงโคมประสิทธิภาพสูง L.O.R. ประมาณ 89%

ชนิดแรกลูเมนออกจากดวงโคม 1815 ลูเมนได้ประสิทธิผลของทั้งระบบ 50 ลูเมนต่อวัตต์

ชนิดที่2ลูเมนออกจากดวงโคม 579 ลูเมนได้ประสิทธิผลของทั้งระบบ 53 ลูเมนต่อวัตต์

จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การใช้ดวงโคมที่มีประสิทธิผลสูงเป็นผลให้มีกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการคำนวณเพื่อหาค่าการใช้พลังงานต่ำที่สุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่าง

คือ การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงที่สุดและมีค่าการสูญเสียพลังงานต่ำที่สุด

หลอดไฟ : PHILIPS FLUORESCENT TL-D SUPER80 30 W/830 ES SLV/25 จำนวนเส้น แรงการส่องสว่าง 2850 ลูเมน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 30 วัตต์ ประสิทธิผล 95 ลูเมนต่อวัตต์

บัลลาสต์ : บัลลาสต์อิเล็คทรอนิกส์ พลังงานสูญเสีย 3 วัตต์

โคมไฟฟ้า : ค่า L.O.R = 0.96

LDD = 0.98

E = 100 ลักซ์

$$E = \frac{(L \times L.O.R. \times LDD)}{A}$$

$$A = \frac{(2850 \times 0.96 \times 0.98)}{100}$$

$$A = 26.81 \text{ ตารางเมตร}$$

พลังงานรวมหลอดไฟกับบัลลาสต์ 30 + 3 = 33 วัตต์

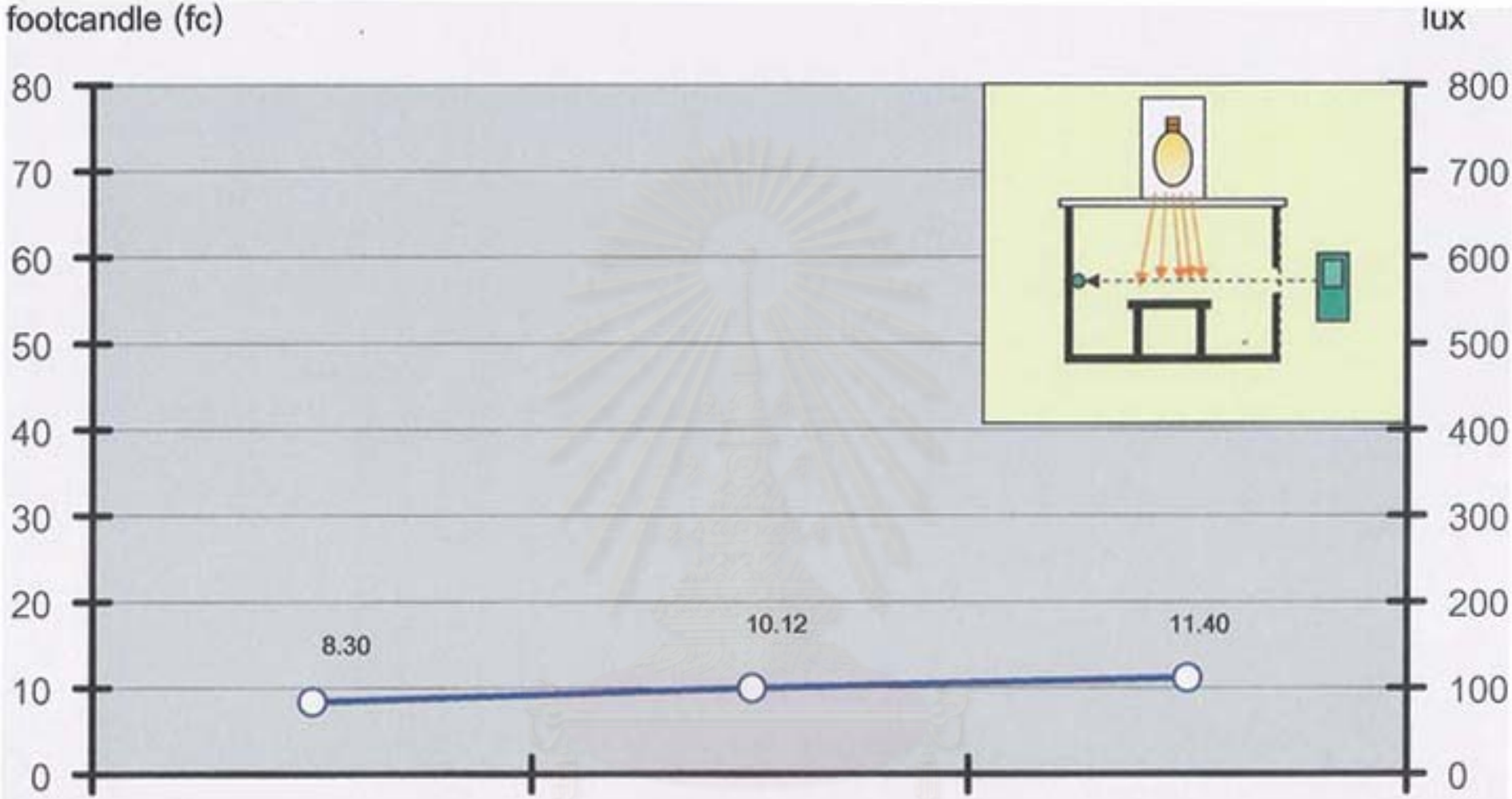
ประสิทธิภาพสูงสุดระบบส่องสว่าง $= \frac{33}{26.81} = 1.23$ วัตต์ต่อตารางเมตรต่อ100ลักซ์

ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดใช้พลังงาน 1.23 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อ 100 ลักซ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร

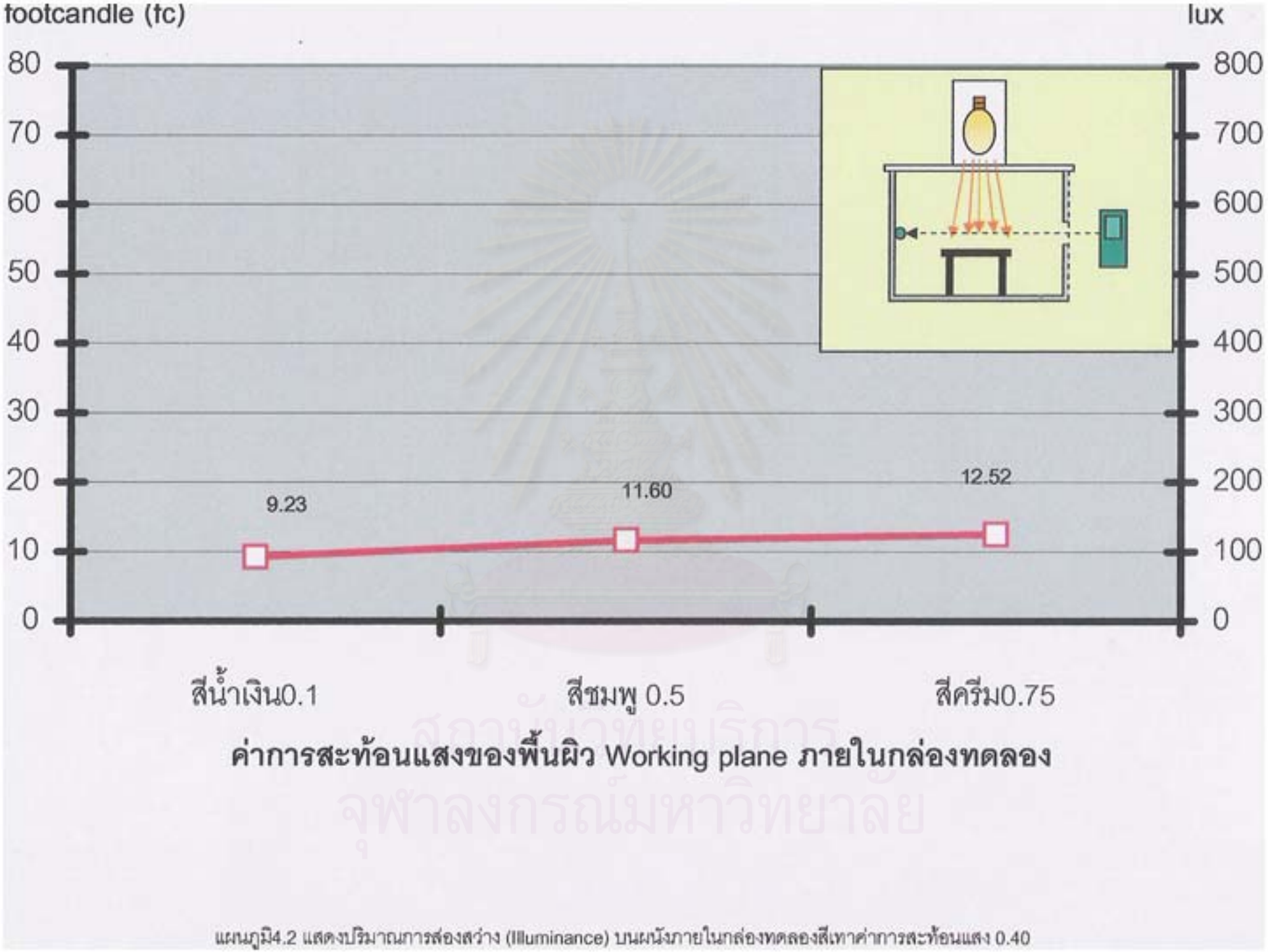
	Working plane		
	สีน้ำเงิน Reflectance 0.10	**สีชมพู** Reflectance 0.50	**สีครีม** Reflectance 0.75
กล่องทดลอง สีดำ Reflectance 0.05			
Illuminance บน Working plane (fc)	50.00	53.00	55.70
Illuminance บนผนัง (fc)	8.30	10.12	11.40
Luminance บน Working plane (fL)	2.89	20.56	28.52
Luminance บนผนัง (fL)	0.18	0.24	0.32
อัตราส่วนเปรียบต่าง Luminance บน Working plane กับ Luminance บนผนัง	16.06	85.67	89.13
กล่องทดลอง สีเทา Reflectance 0.40			
Illuminance บน Working plane (fc)	53.40	55.40	55.90
Illuminance บนผนัง (fc)	9.23	11.60	12.52
Luminance บน Working plane (fL)	3.18	22.60	31.30
Luminance บนผนัง (fL)	1.12	1.58	1.65
อัตราส่วนเปรียบต่าง Luminance บน Working plane กับ Luminance บนผนัง	2.84	14.30	18.97
กล่องทดลอง สีขาว Reflectance 0.85			
Illuminance บน Working plane (fc)	57.80	61.20	63.70
Illuminance บนผนัง (fc)	14.85	21.41	24.10
Luminance บน Working plane (fL)	4.07	27.74	33.45
Luminance บนผนัง (fL)	9.70	13.31	17.44
อัตราส่วนเปรียบต่าง Luminance บน Working plane กับ Luminance บนผนัง	2.38	2.08	1.92



ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

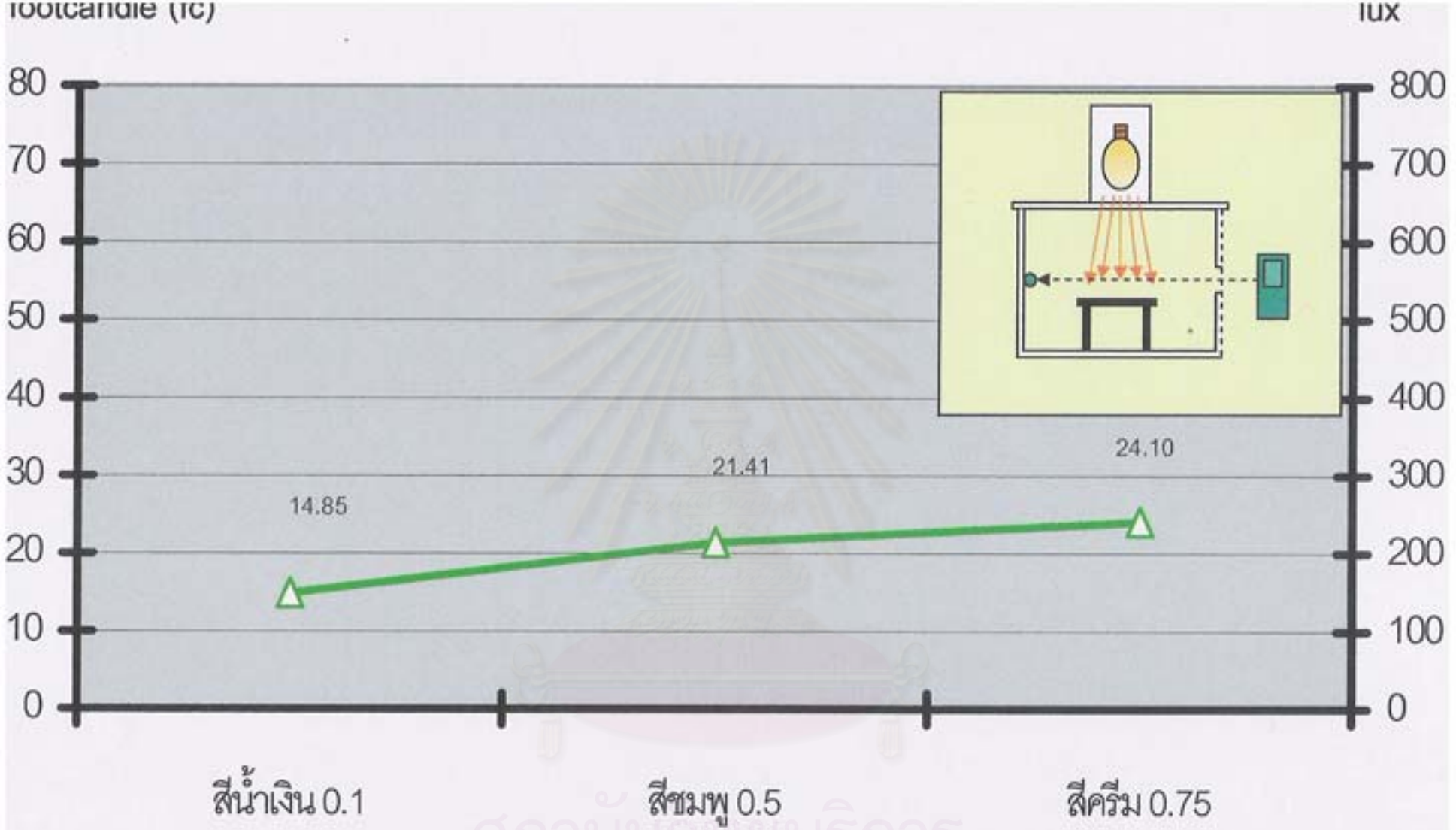
แผนภูมิ4.1 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีด้วยค่าการสะท้อนแสง 0.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



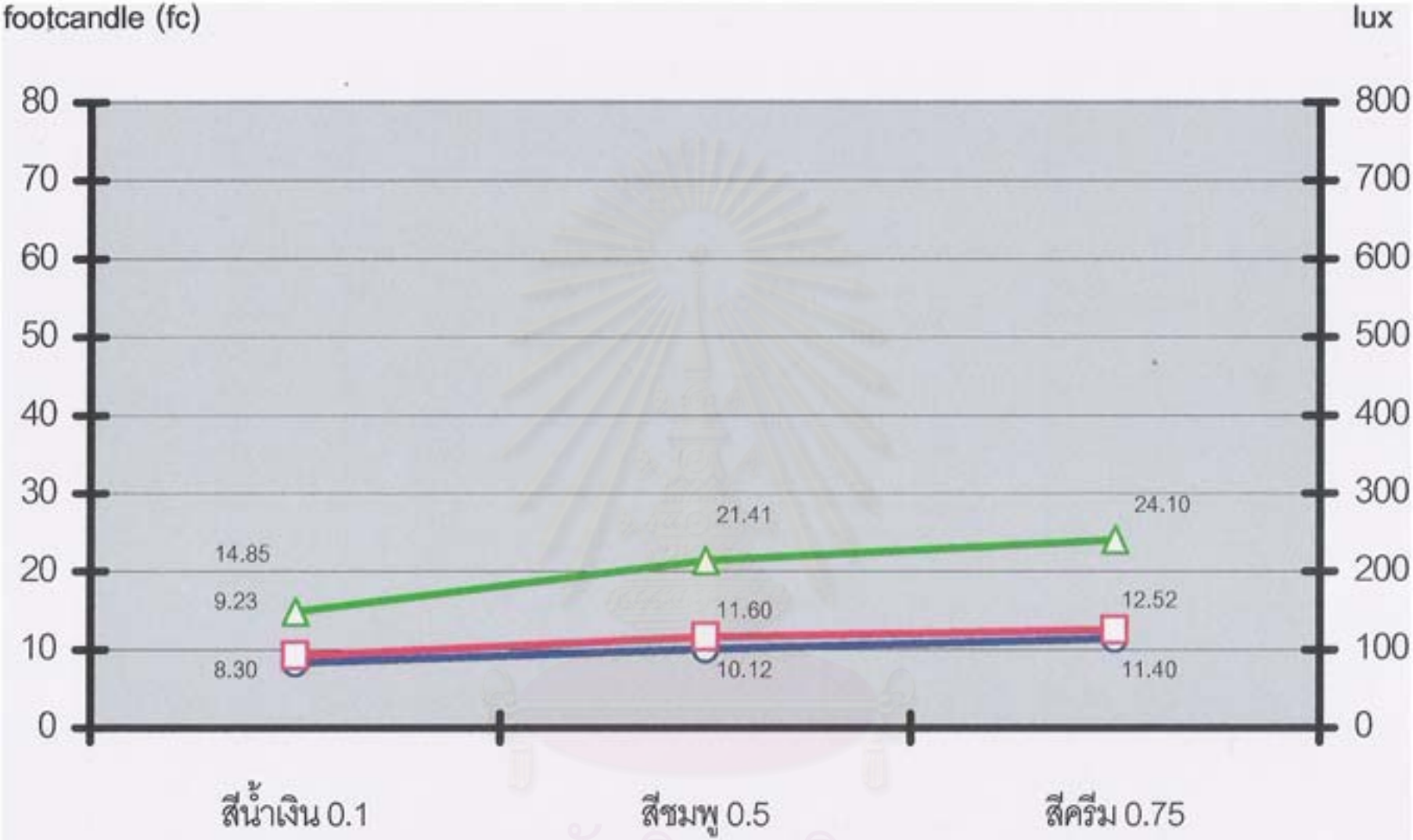
ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.2 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40

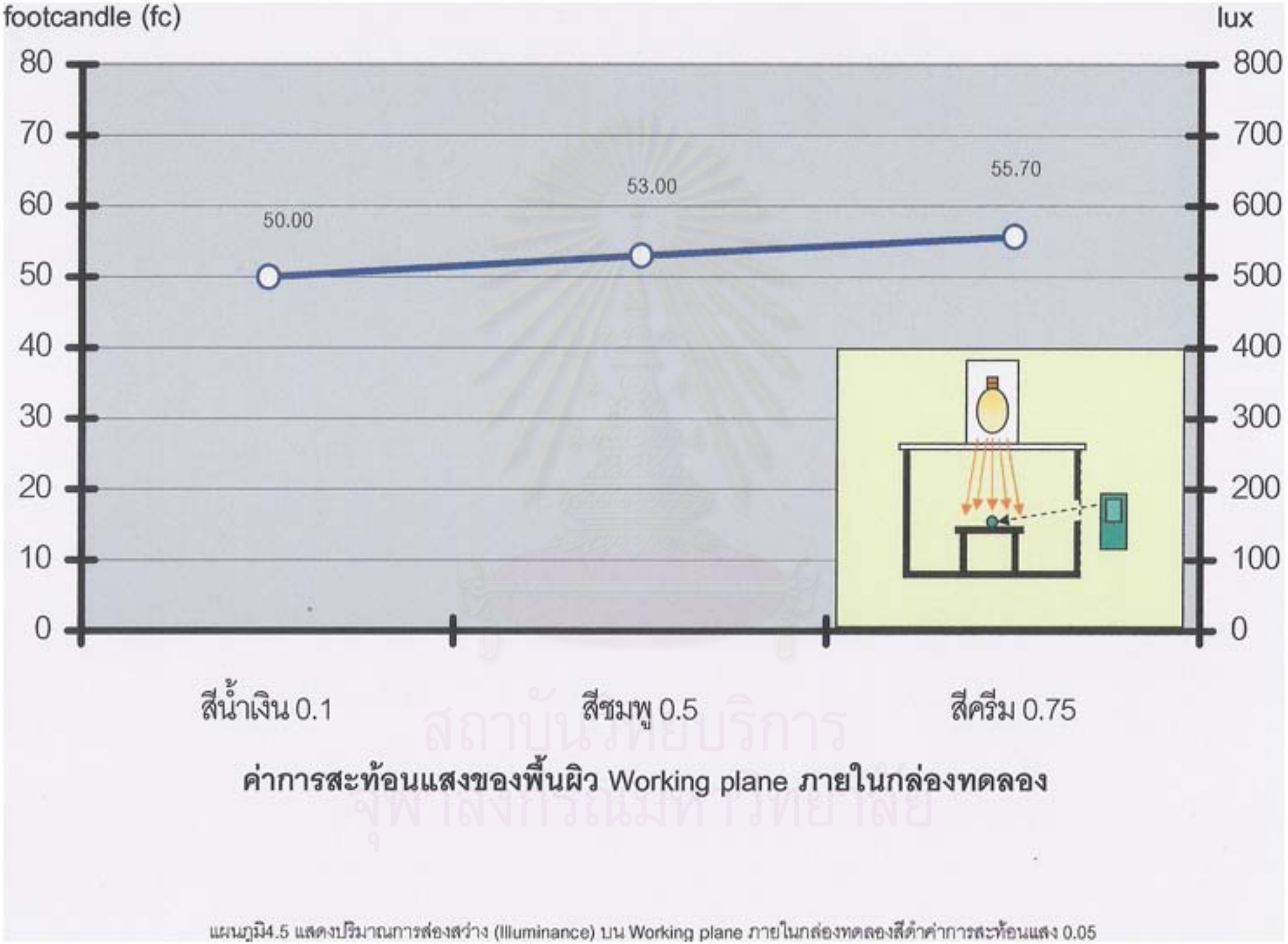


ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.3 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85

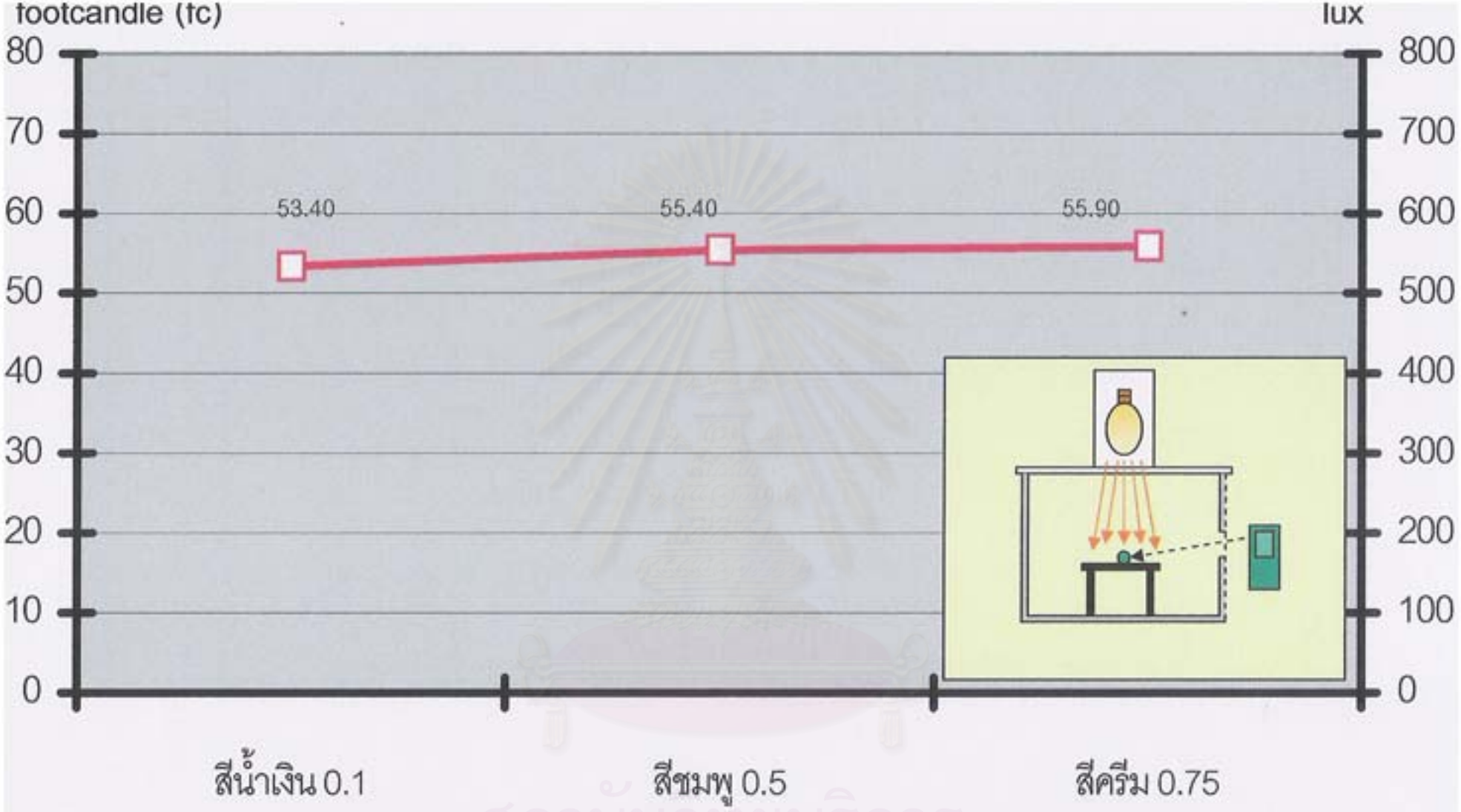


แผนภูมิ4.4 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05 สีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40 สีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85



ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

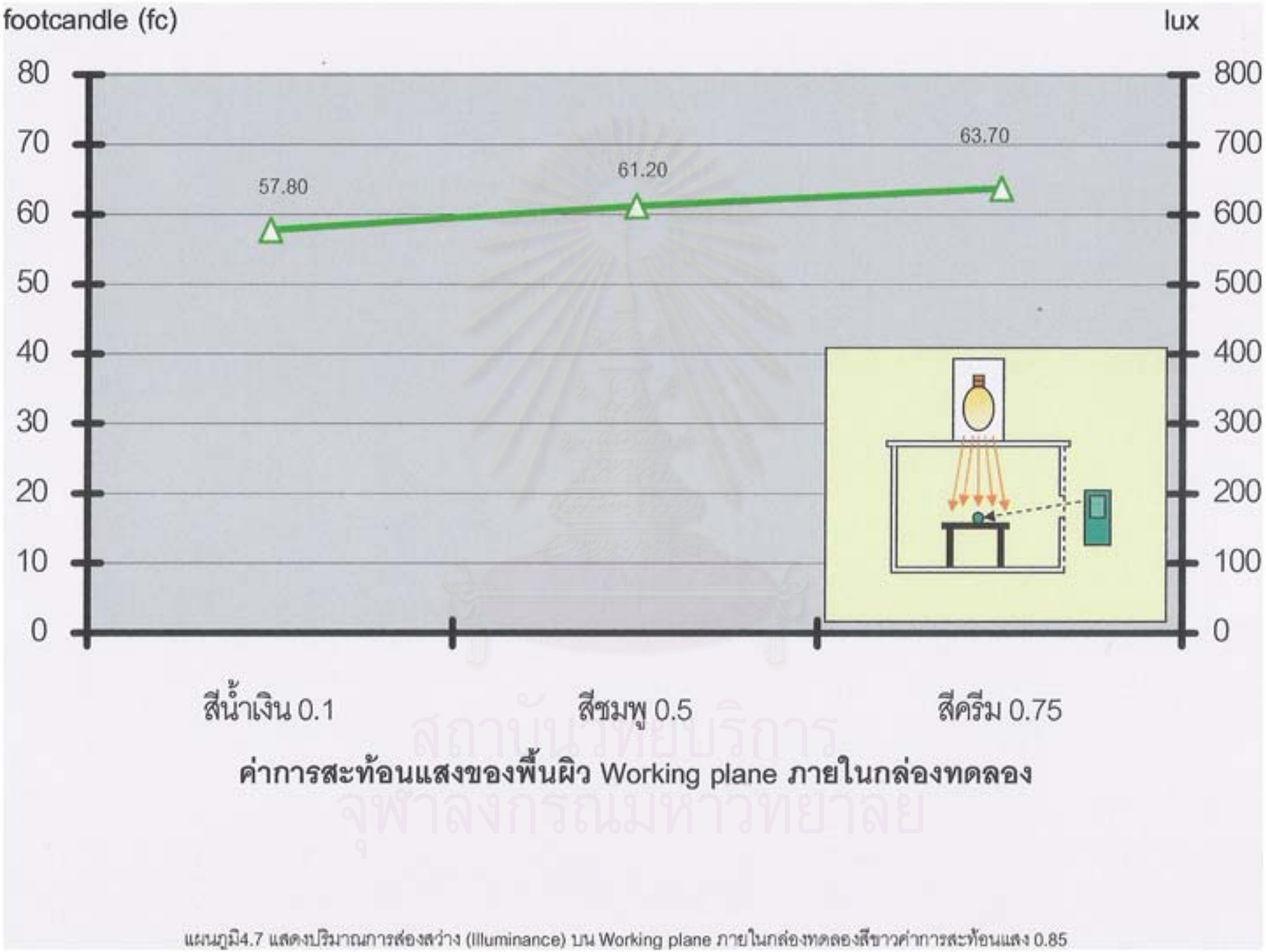
แผนภูมิ4.5 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05



ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

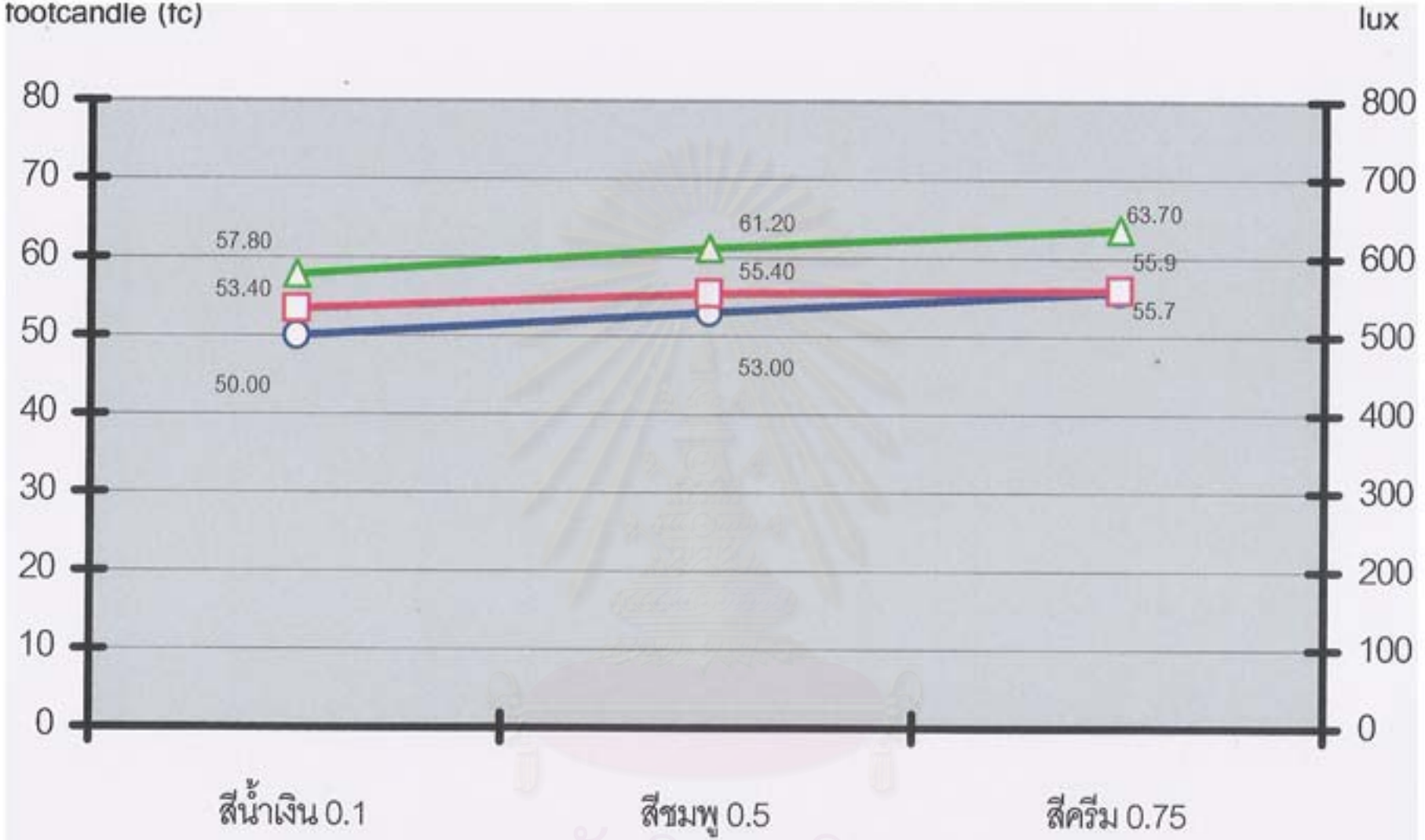
แผนภูมิ4.6 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40



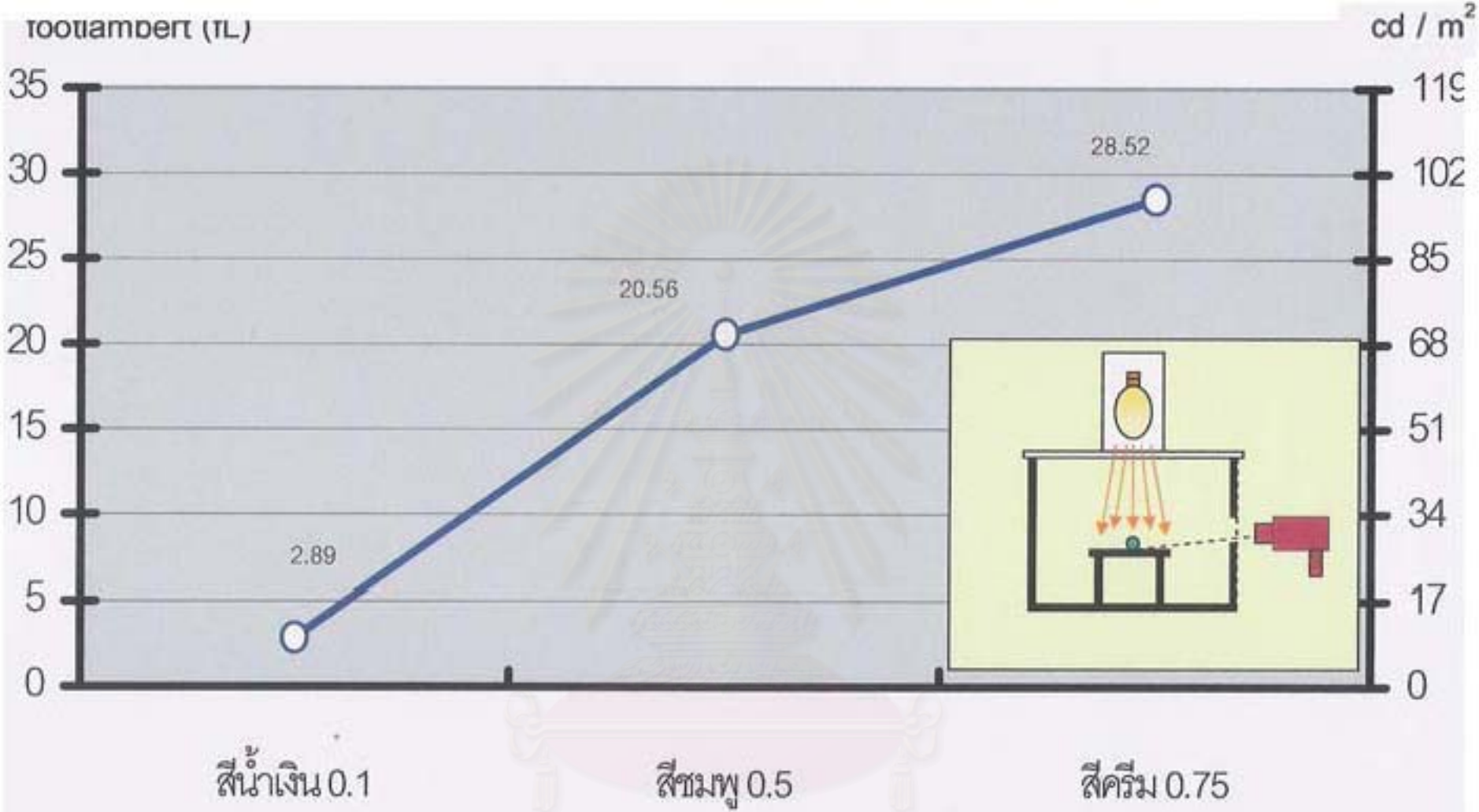
ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.7 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



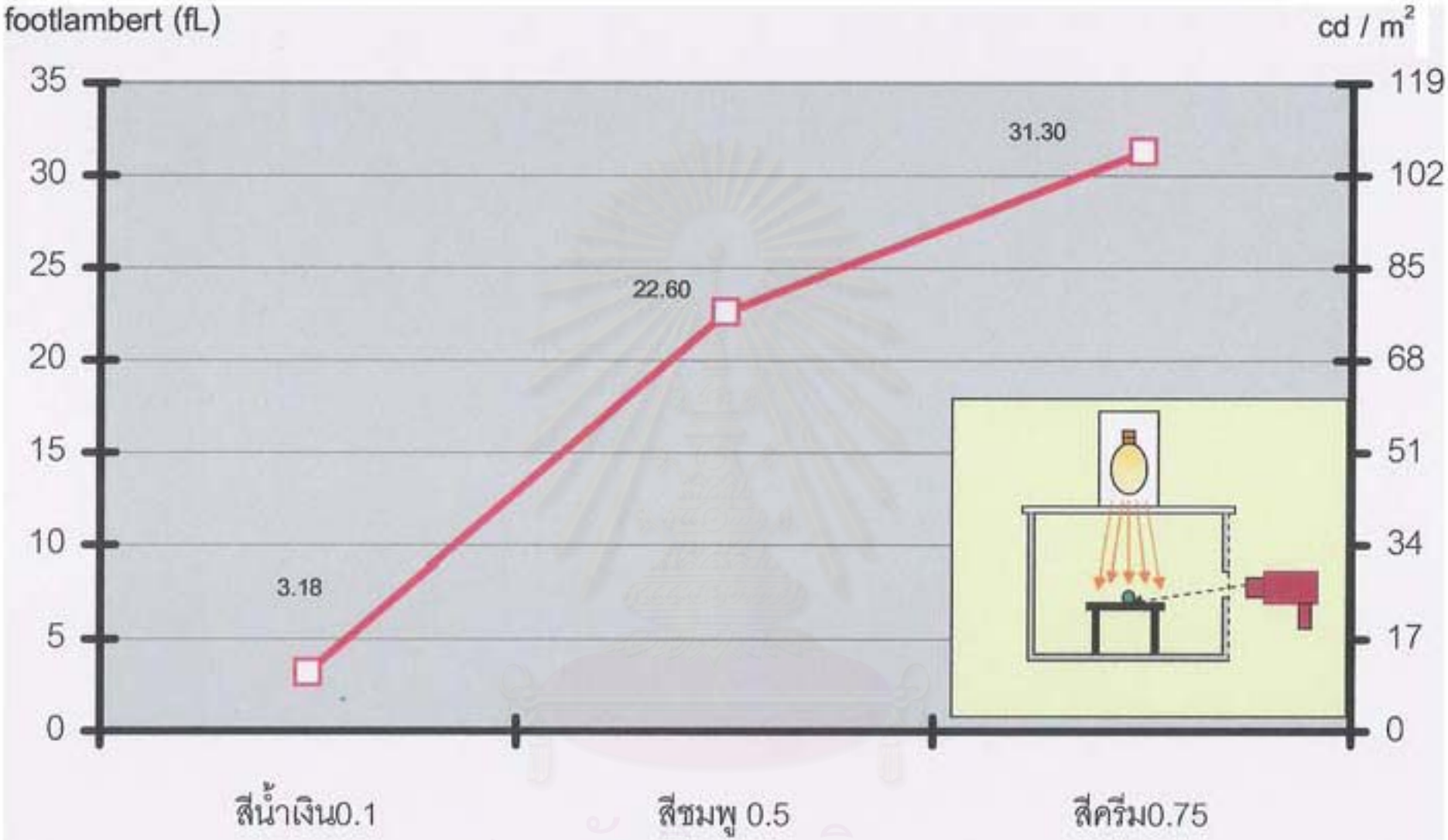
แผนภูมิ4.8 แสดงปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05 สีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40 สีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85



ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิ4.9 แสดงความจ้า (Luminance) บน Working planeภายในกล่องทดลอง
สีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05

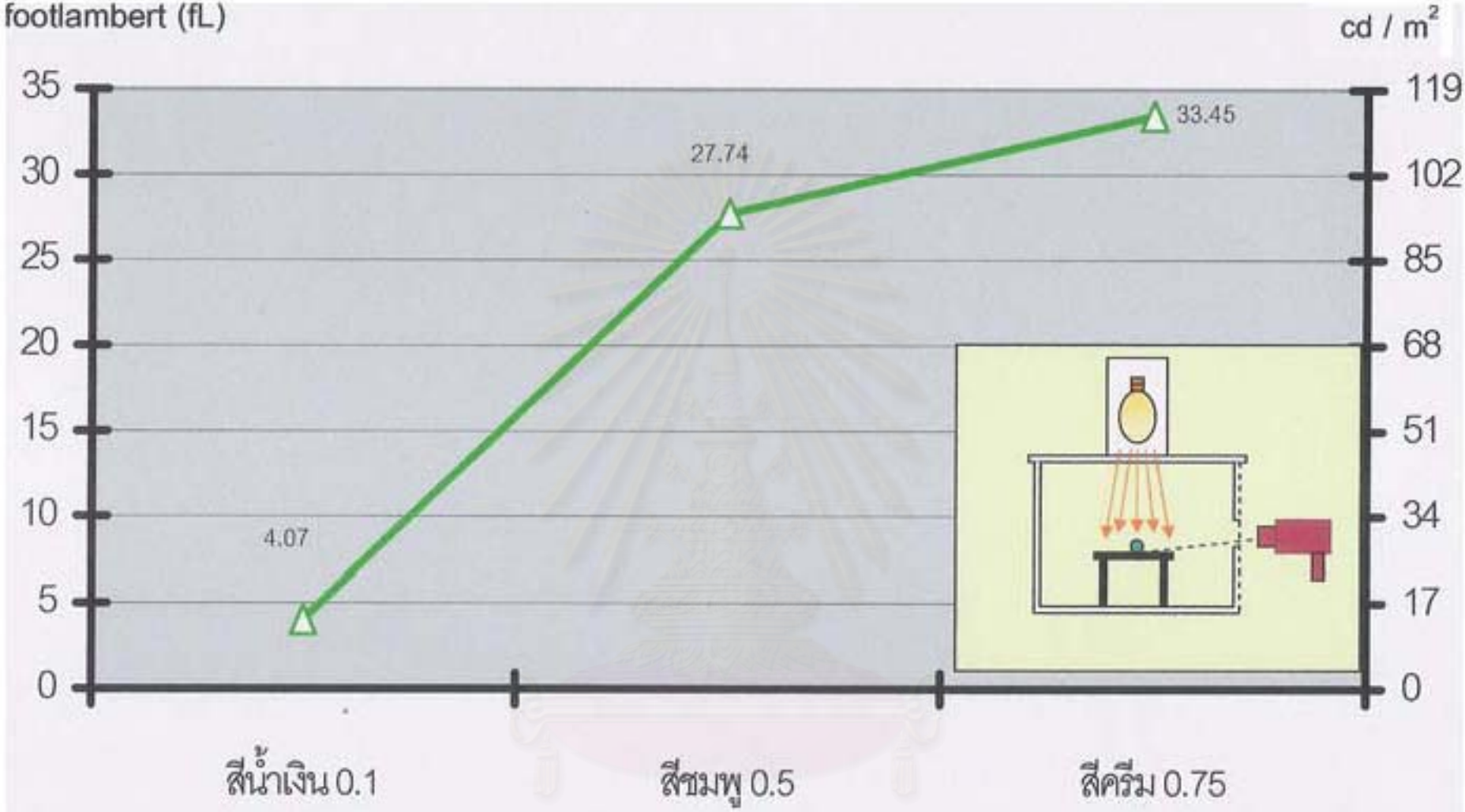


ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิ4.10 แสดงแสดงความจ้า (Luminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลอง

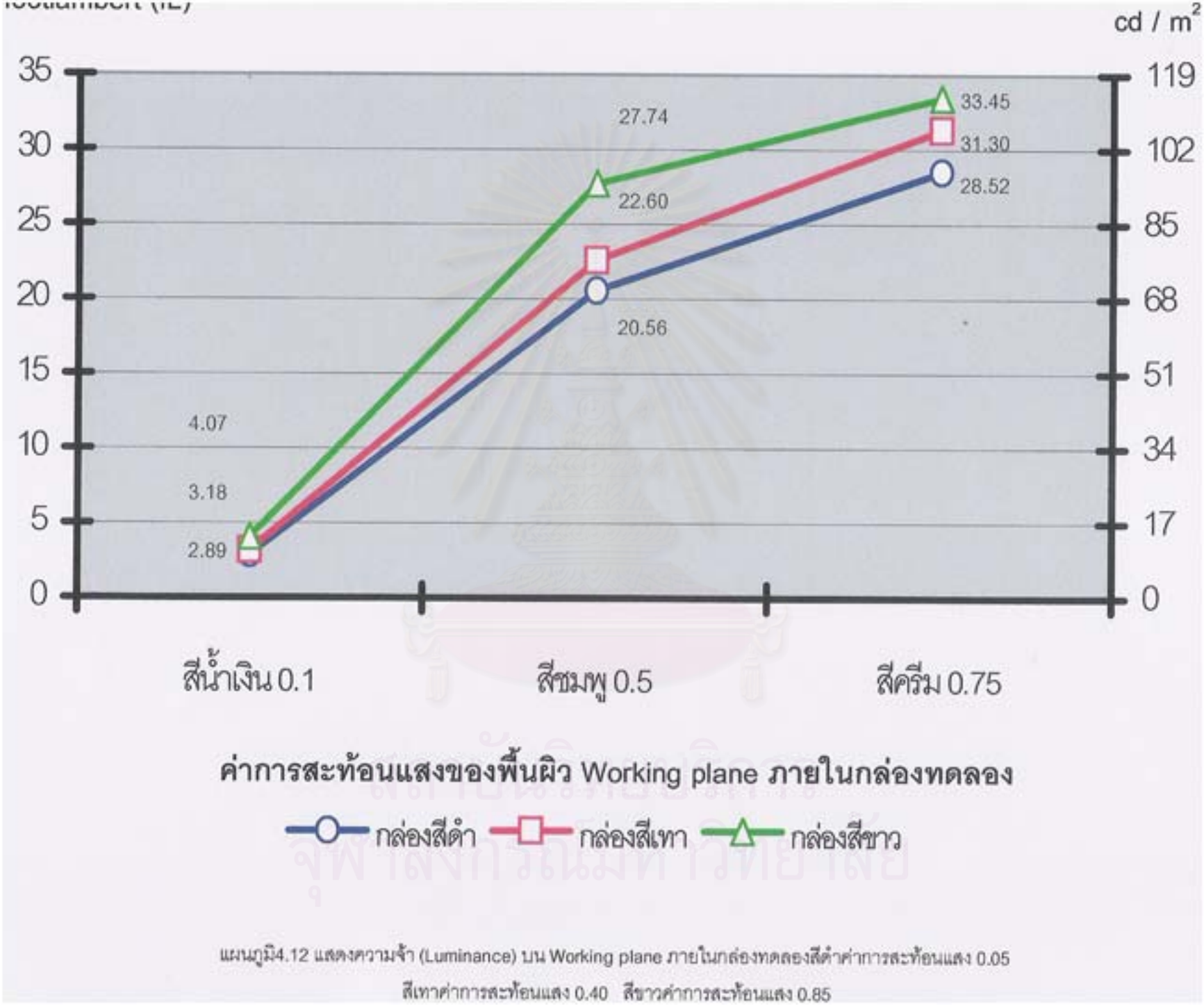
สีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40



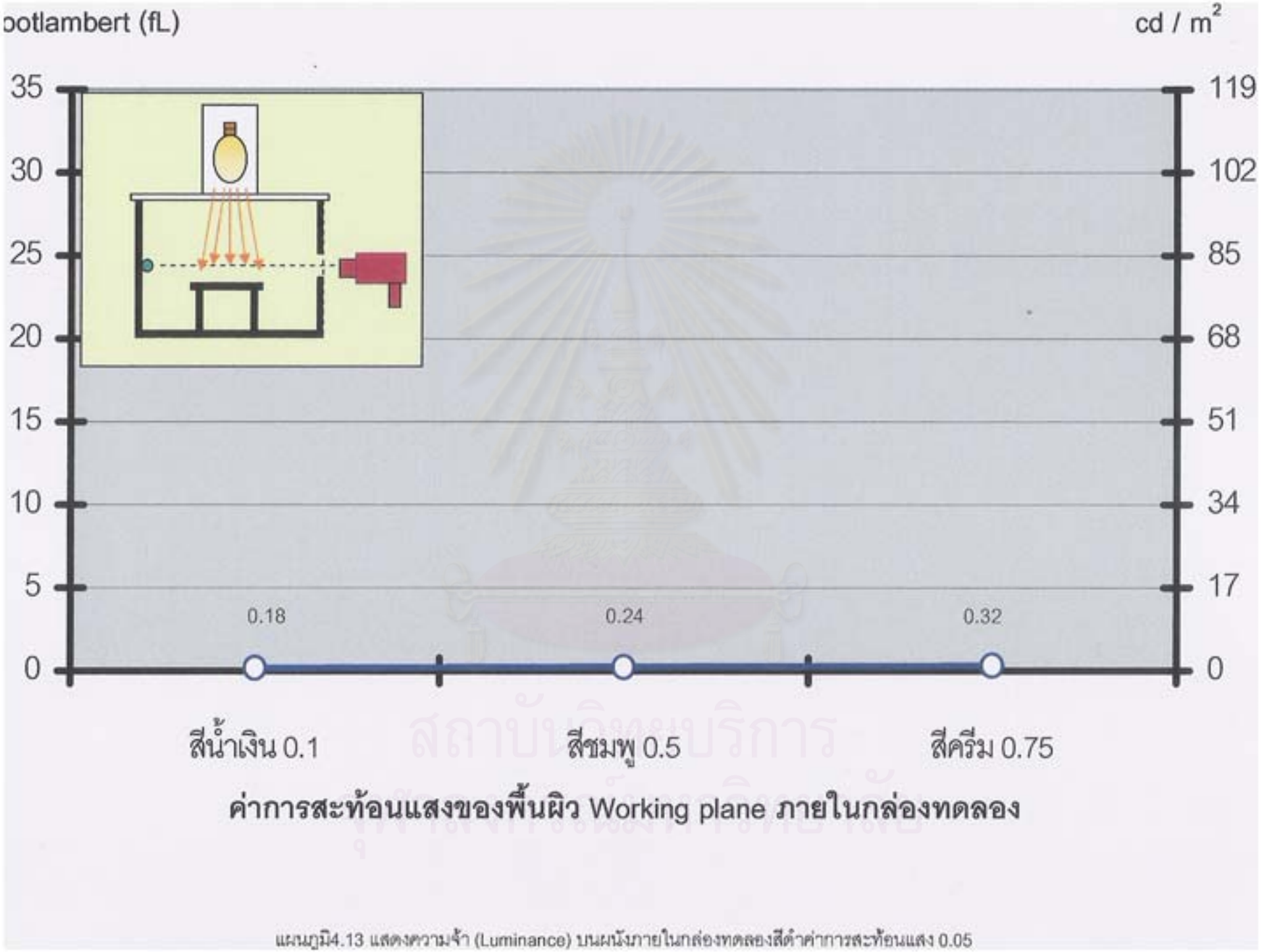
ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.11 แสดงแสดงความจ้า (Luminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลอง

สีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85

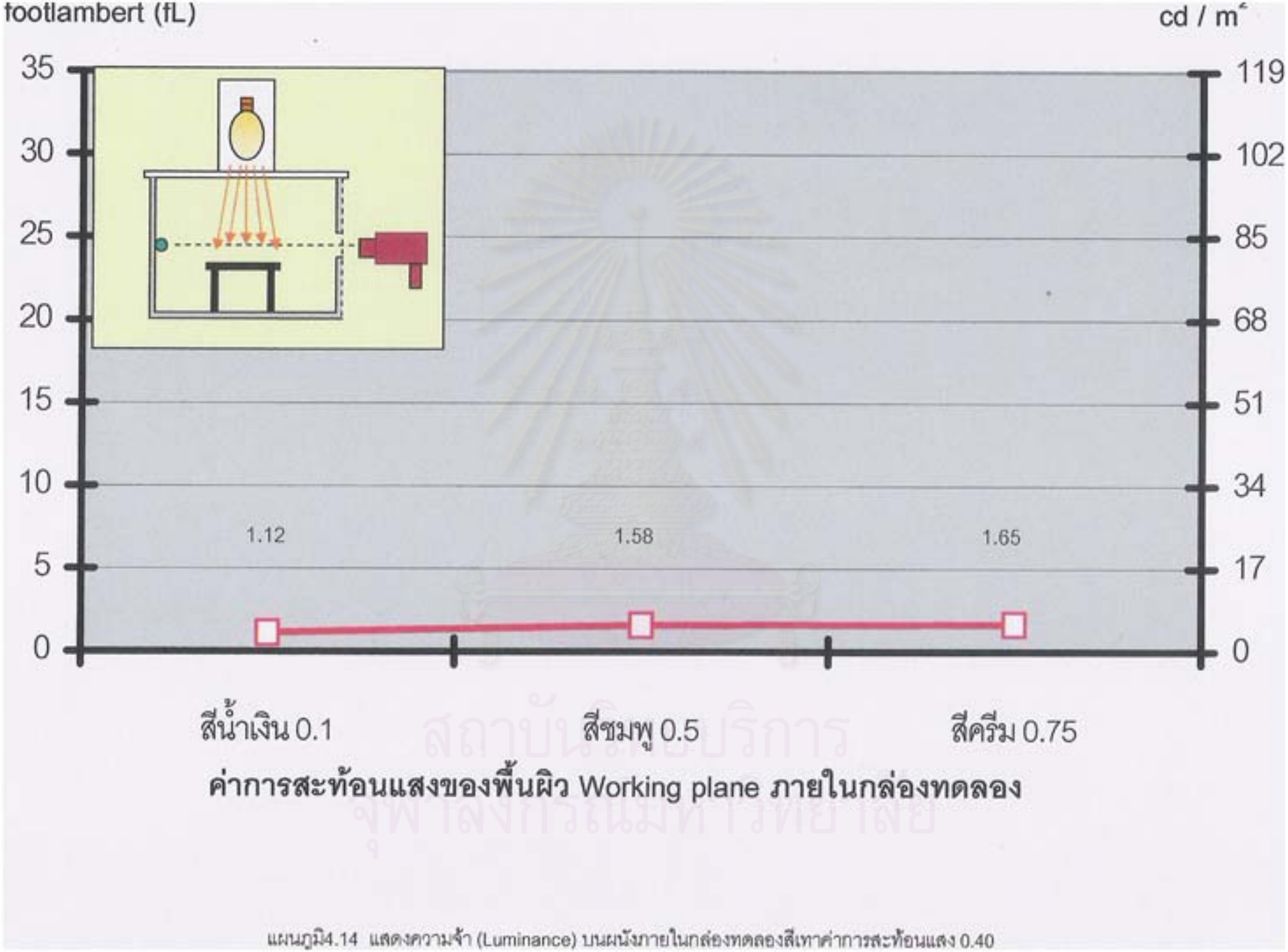


แผนภูมิ4.12 แสดงความจ้า (Luminance) บน Working plane ภายในกล่องทดลองสีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05 สีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40 สีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85



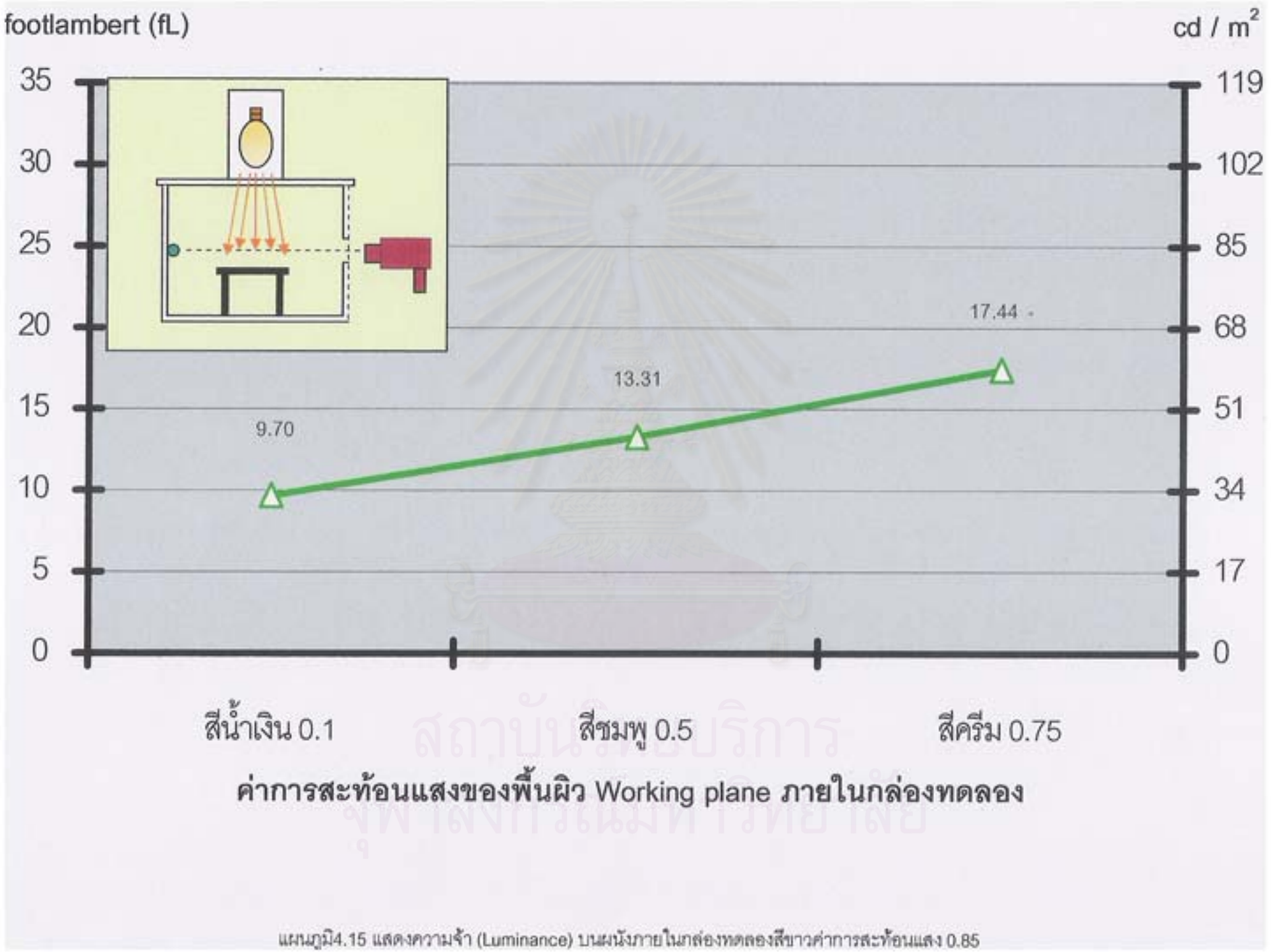
ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.13 แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05



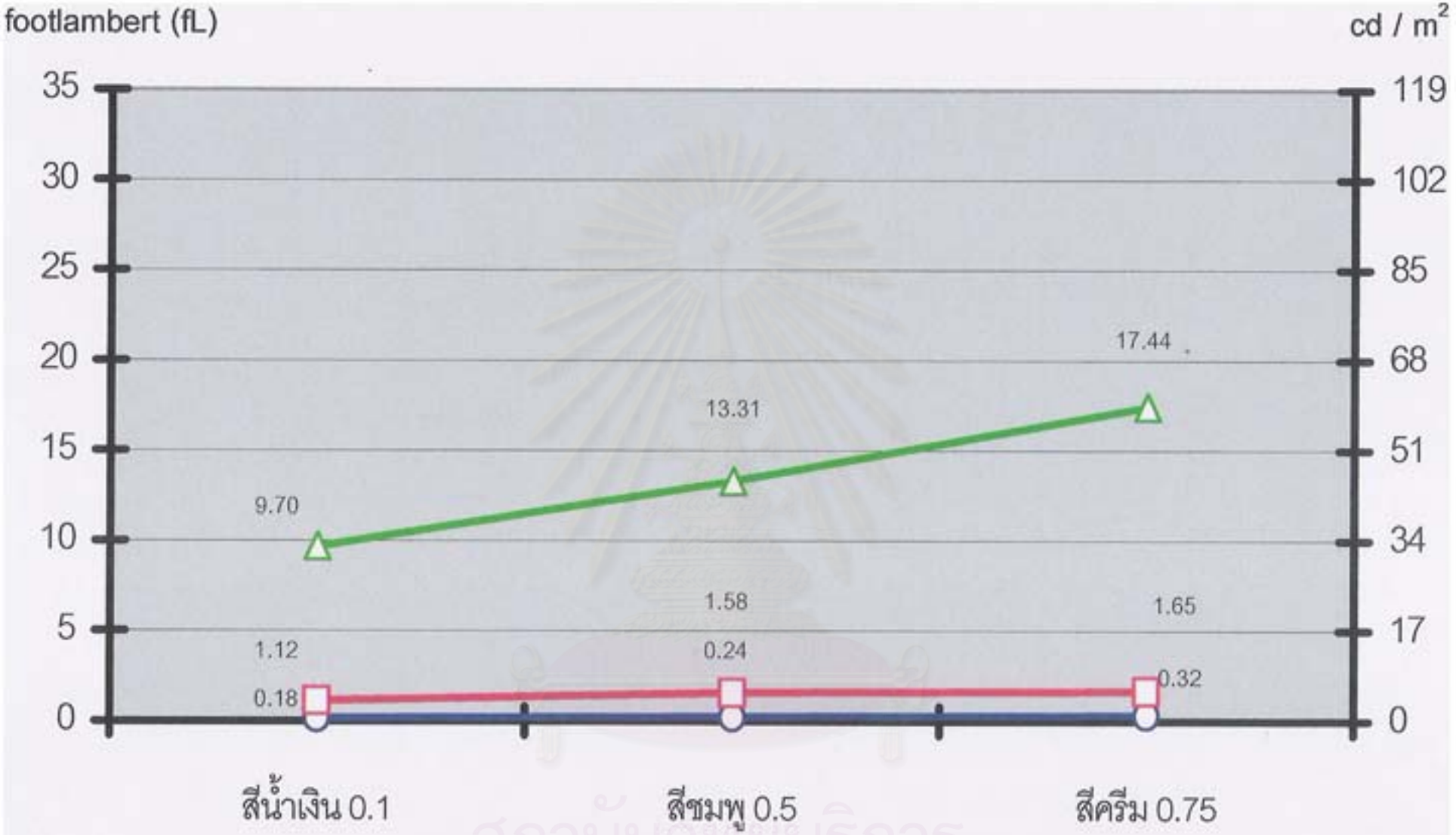
ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.14 แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40

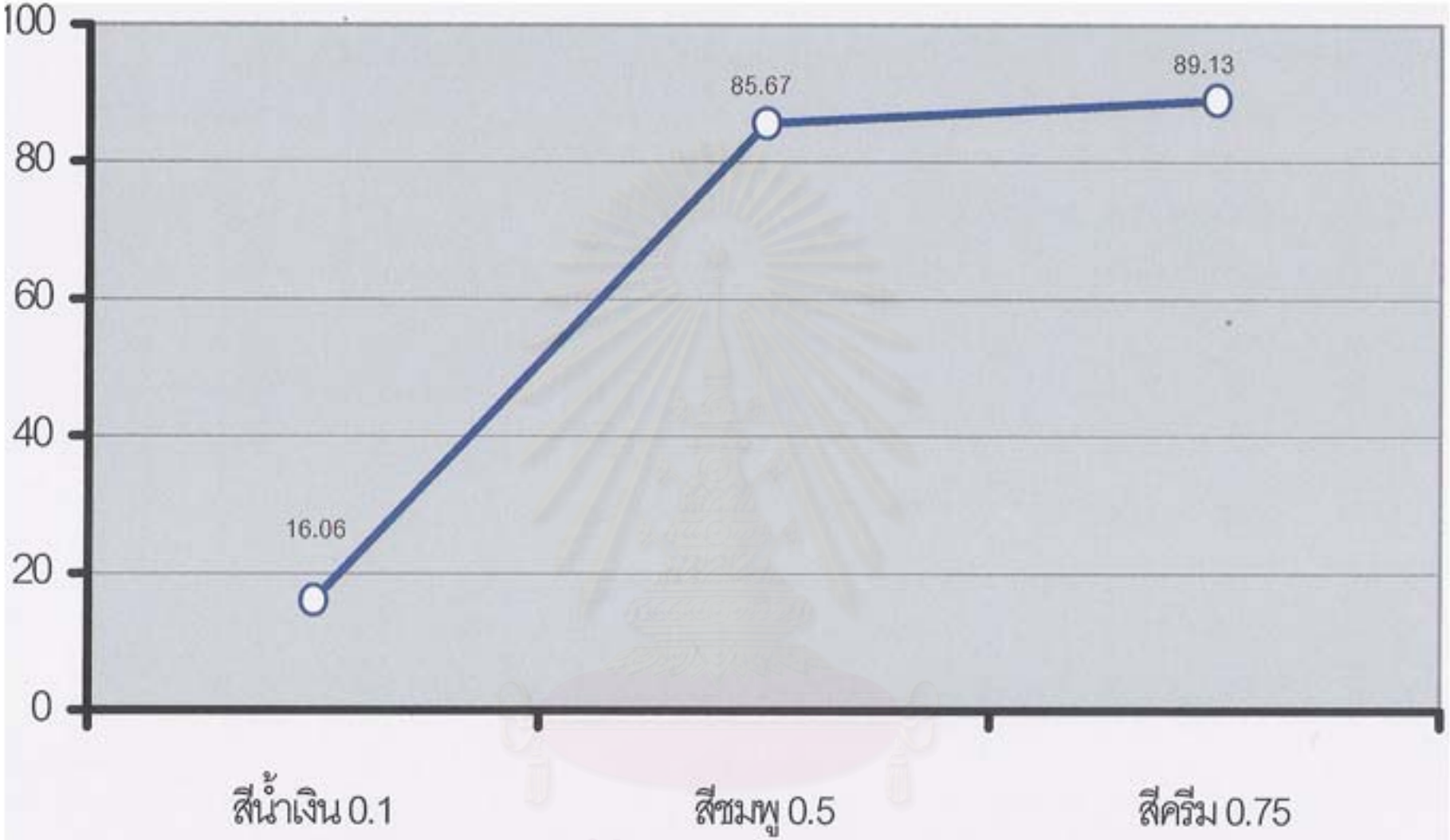


ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.15 แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85

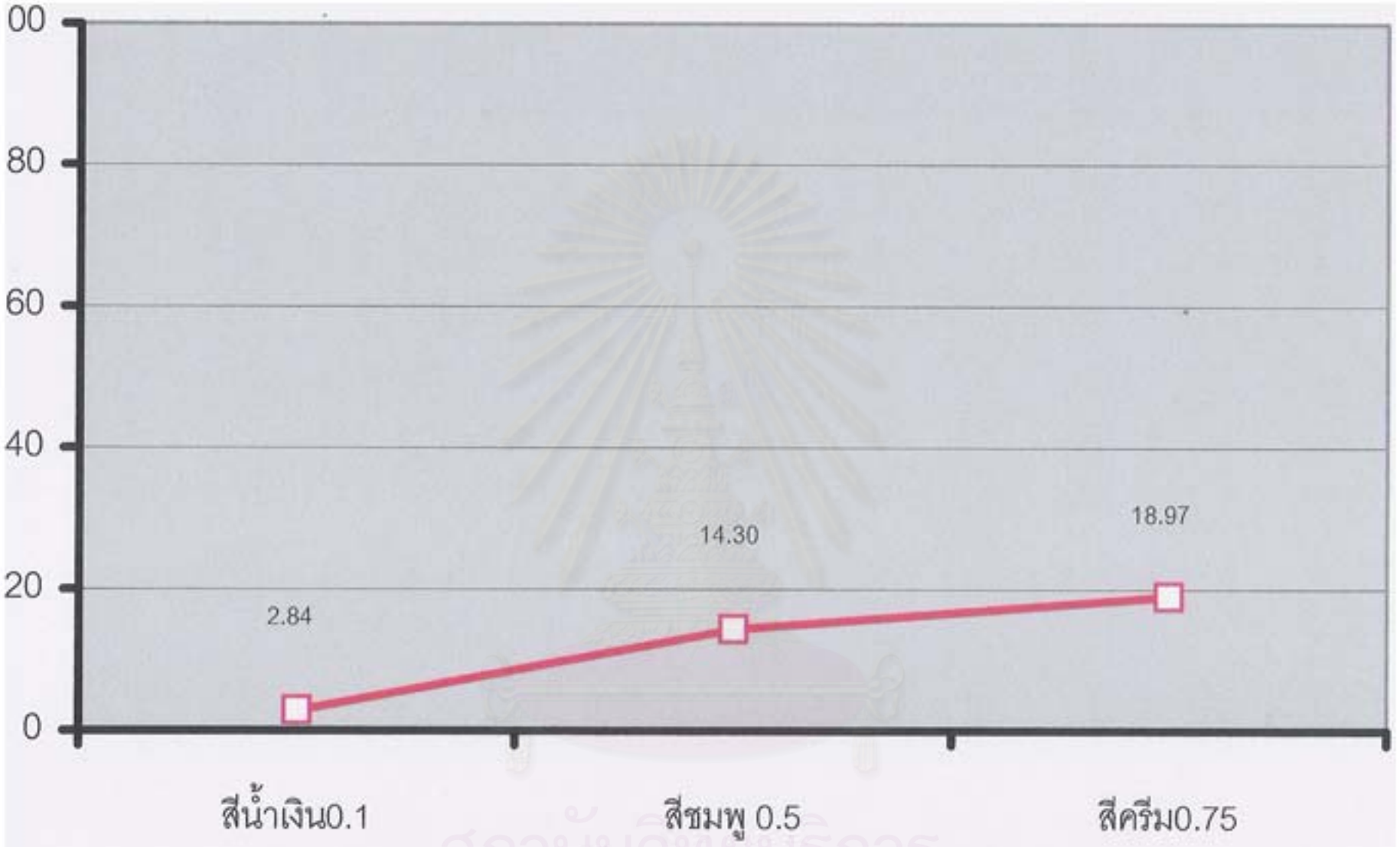


แผนภูมิ4.16 แสดงความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05

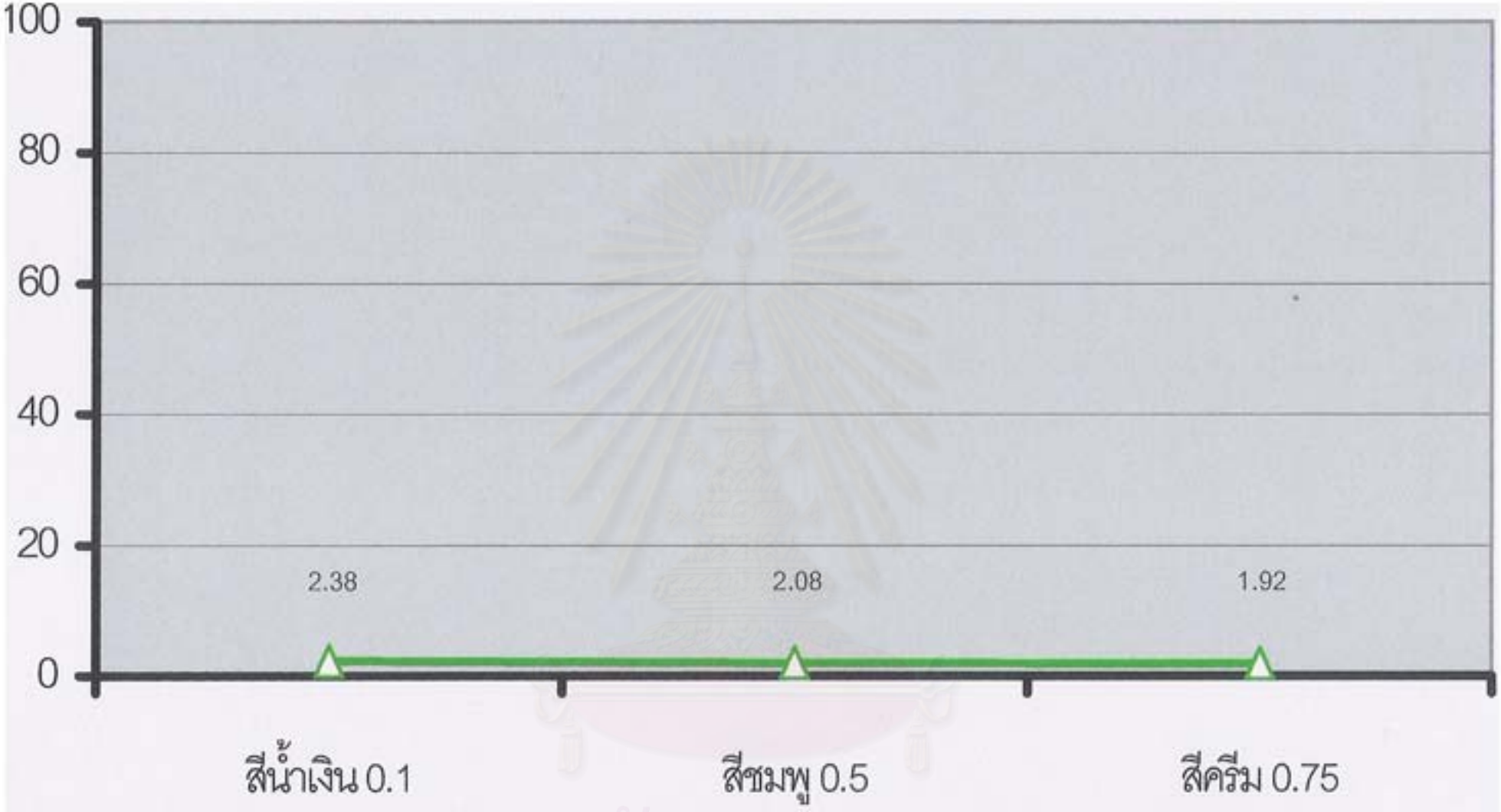


ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

แผนภูมิ4.17 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลอง สีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05



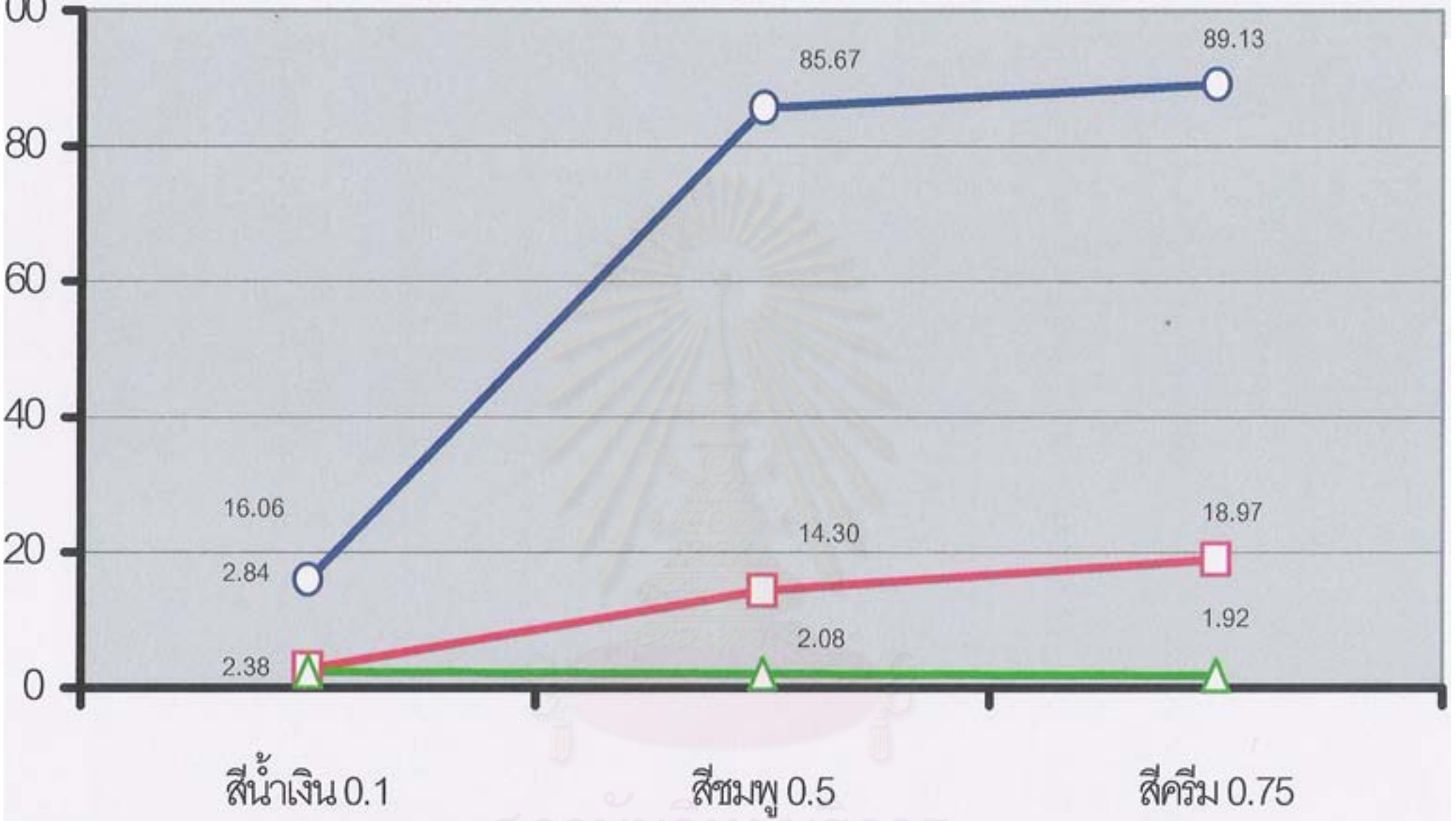
แผนภูมิ4.18 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลอง สีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40



ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว Working plane ภายในกล่องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

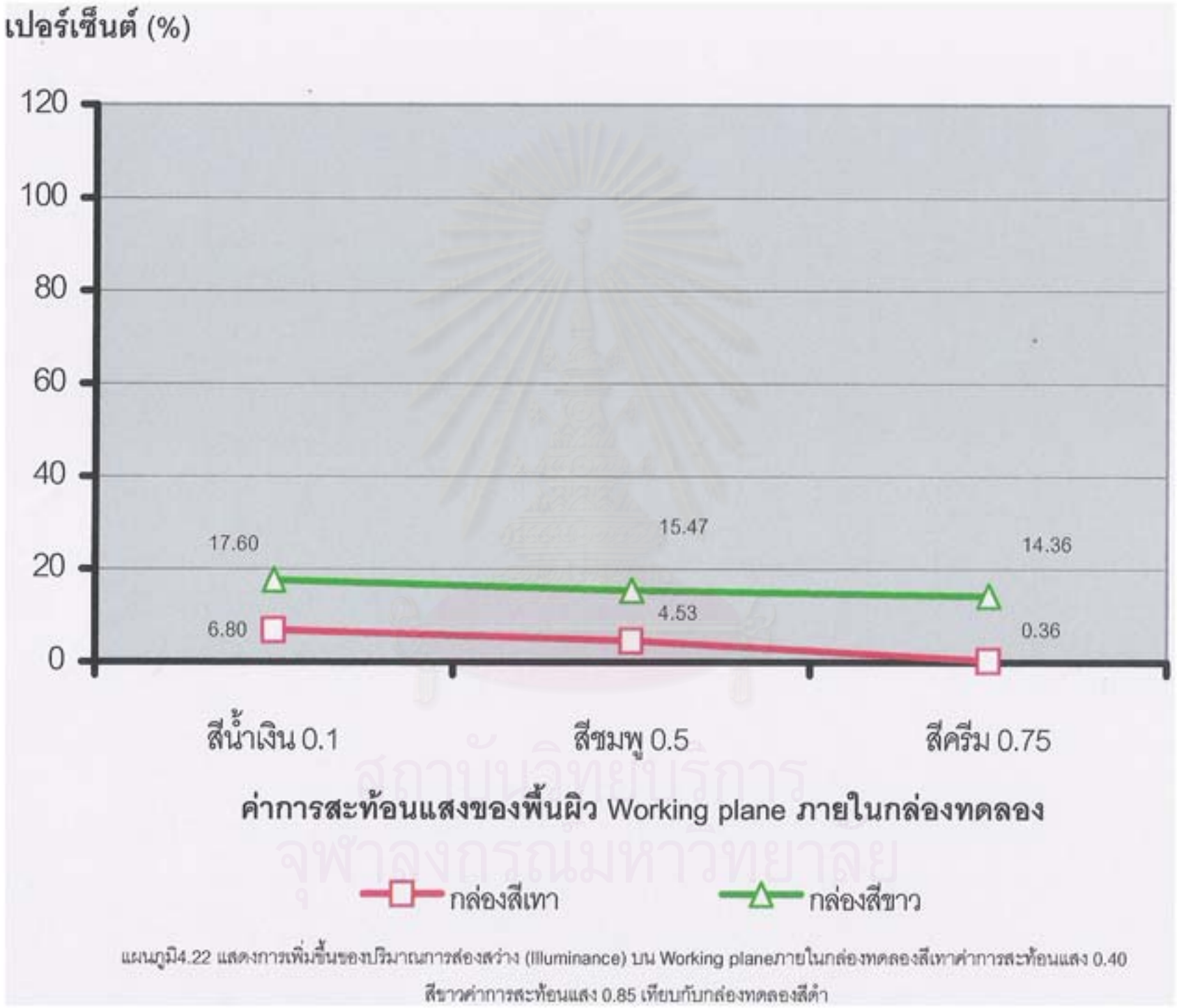
แผนภูมิ4.19 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลอง



แผนภูมิ4.20 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้า (Luminance) บน Working plane กับความจ้า (Luminance) บนผนังภายในกล่องทดลอง

สีดำค่าการสะท้อนแสง 0.05 สีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40 สีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85

แผนภูมิ4.21 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บนผนังภายในกล่องทดลองสีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40 สีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85



แผนภูมิ4.22 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) บน Working planeภายในกล่องทดลองสีเทาค่าการสะท้อนแสง 0.40 สีขาวค่าการสะท้อนแสง 0.85 เทียบกับกล่องทดลองสีดำ

4.2.1 **สรุปผลการทดลองค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายในต่อปริมาณการส่องสว่างภายในกล่องทดลอง** จากแผนภูมิแสดงปริมาณการส่องสว่างทั้งในแนวนอนบนพื้นที่ใช้งานและในแนวตั้งบนผนังภายในกล่องทดลองพบว่า ปริมาณการส่องสว่างภายในกล่องทดลองจะมีค่าสูงเมื่อกล่องทดลองมีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในสูง และปริมาณการส่องสว่างภายในกล่องทดลองตะมีค่าต่ำเมื่อกล่องทดลองมีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในต่ำ ดังนั้นจึงสรุปว่าค่าการสะท้อนแสงภายในกล่องทดลองมีผลต่อปริมาณการส่องสว่างในกล่องทดลอง โดยที่ปริมาณการส่องสว่างภายในกล่องทดลองแปรผันตามค่าการสะท้อนแสงภายในกล่องทดลอง

4.2.2 **สรุปผลค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายในของกล่องทดลองมีผลต่ออัตราส่วนเปรียบต่างของความจ้า** (Luminance) **บนระนาบใช้งาน** (Working plane) **กับความจ้า** (Luminance) **บนผนังภายในกล่องทดลอง** จากแผนภูมิแสดงค่าอัตราส่วนความเปรียบต่างพบว่า เมื่อบนพื้นที่ใช้งาน และบนผนังมีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวแตกต่างกันมาก อัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้าบนพื้นผิวทั้งสองจะมีค่าสูง แต่เมื่อค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันอัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้าบนพื้นผิวทั้งสองจะมีค่าต่ำซึ่งอัตราความเปรียบต่างของความจ้าที่สายตามนุษย์ปรับตัวได้ในระยะใกล้คือบนพื้นที่ใช้งานต่อฉากหลังไม่เกิน 3 : 1 และในระยะไกลไม่เกิน 10 : 1 ดังนั้นการเลือกใช้พื้นผิวที่มีค่าการสะท้อนแสงแตกต่างกันมากเกินไประหว่างพื้นที่ใช้งานและฉากหลังคือพื้นและผนังมีผลเสียทำให้ความสบายทางสายตาลดลง

จากผลการทดลองที่ได้ทำให้สรุปได้ว่า องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมภายในได้แก่ เพดาน ผนัง พื้น และเฟอร์นิเจอร์มีผลต่อระบบส่องสว่างทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ

ในเชิงปริมาณ องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมภายในมีผลโดยตรงการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างคือหากในห้องมีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในสูงแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงเท่ากันจะเกิดการสะท้อนไปมาภายในห้อง ทำให้มีปริมาณการส่องสว่างสูงกว่าห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในต่ำ ดังนั้นหากต้องการปริมาณการส่องสว่างที่เท่ากันของห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงต่ำย่อมต้องใช้พลังงานมากกว่าเพื่อให้ได้ปริมาณการส่องสว่างเท่ากับห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงภายในสูง

ในเชิงคุณภาพ ผู้ออกแบบสถาปัตยกรรมได้แก้สถาปนิกและมัณฑนากรมีส่วนสำคัญที่สามารถช่วยให้เกิดความสบายในการมองเห็น คือสามารถออกแบบให้องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมช่วยทำให้ความเปรียบต่างของวัตถุที่อยู่ใกล้และไกลมีความเปรียบต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ

อัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างพื้นที่ใช้งานและพื้นที่ใกล้เคียงไม่เกิน 3 ต่อ 1
อัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างพื้นที่ใช้งานและพื้นที่ห่างออกไปไม่เกิน 10 ต่อ 1
ถ้าต้องการใช้แสงส่องเน้นเพื่อตกแต่งต้องมีอัตราส่วนความเปรียบต่างมากกว่า 20 ต่อ 1

4.3 การคำนวณผลจากการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในห้องต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่าง

- กล่องทดลองที่มีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในต่ำที่สุดคือกล่องสีดำ ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในคือ 0.06 ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานเท่ากับ 500 ลักซ์
- กล่องทดลองที่มีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในสูงที่สุดคือกล่องสีขาว ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในคือ 0.84 ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานเท่ากับ 637 ลักซ์
- ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในเพิ่มขึ้น 0.78 ปริมาณการส่องสว่างเพิ่มขึ้น 137 ลักซ์ คิดเป็น 27.4 เปอร์เซ็นต์

นำมาคำนวณเพื่อหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากผลของค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในได้ดังนี้

การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดใช้พลังงาน 1.23 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์
การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดกับค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในที่สูงที่สุด(จากการทดลอง)ใช้พลังงาน 1.23 วัตต์/ตารางเมตร/127.4 ลักซ์
พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดกับค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในที่สูงที่สุดคือ 0.97 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์
ดังนั้นเป็นผลจากสภาพแวดล้อมภายในห้อง 1.23 – 0.97 = 0.26 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์
ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในเพิ่มขึ้น 0.78 พลังงานไฟฟ้าลดลง 0.26 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์
ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในเพิ่มขึ้น 0.10 พลังงานไฟฟ้าลดลง 0.03 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์

4.4 สรุปผลการศึกษา

4.4.1 ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์ดวงโคมจากการออกแบบสภาพภายในห้องให้มีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวสูง

- พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 1.23 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์
- พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดจากการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในเท่ากับ 0.26 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์ หรือคิดเป็น 21.14 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า
- พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงที่สุดร่วมกับการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในเท่ากับ 0.97 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์
- เมื่อค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของพื้นผิวภายในเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 0.03 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์

4.4.2 ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์ดวงโคมจากการออกแบบสภาพภายในห้องให้มีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวสูงต่อคุณภาพแสงภายในห้อง

- ผู้ออกแบบควรควบคุมให้อัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้าระหว่างพื้นที่ใช้งานกับพื้นผิวใกล้เคียงไม่เกินสัดส่วน 3 : 1
- อัตราส่วนความเปรียบต่างของความจ้าระหว่างพื้นที่ใช้งานกับพื้นผิวที่ไกออกไปไม่เกินสัดส่วน 10 : 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างภายในอาคารพักอาศัย ทำให้ทราบถึงแนวทางการออกแบบระบบส่องสว่างที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถสรุปแนวทางการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการออกแบบระบบส่องสว่างที่ดีทั้งในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความสบายทางสายตา ได้แก่

5.1.1 **ระบบส่องสว่างจากดวงโคม** อุปกรณ์ไฟฟ้าของระบบส่องสว่างที่เหมาะสมกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ คือเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าการสูญเสียพลังงานต่ำ ได้แก่

- หลอดไฟที่มีประสิทธิผลสูง คือใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยแต่ให้ปริมาณแสงมาก ได้แก่หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์
- โคมไฟประสิทธิภาพสูง คือโคมไฟที่มีอัตราส่วนของแสงที่ออกจากโคมไฟต่อแสงที่ออกจากหลอดไฟ (Light Output Ratio)สูง สามารถบังคับทิศทางของแสงให้ตกลงบนพื้นที่ใช้งานได้มาก และมีค่าการสูญเสียพลังงานแสงที่เกิดจากความสกปรกของพื้นผิวต่ำ
- อุปกรณ์ประกอบการทำงานของระบบส่องสว่างที่มีค่าการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าต่ำ เช่น บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง

จากการวิจัยพบว่าเมื่อใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดร่วมกันเป็นระบบทั้งได้แก่ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 30 วัตต์ที่มีค่าประสิทธิผล 95 ลูเมนต่อวัตต์ โคมไฟที่มีค่า Light Output Ratio 0.96 ค่าการสูญเสียพลังงานแสงที่เกิดจากความสกปรกของพื้นผิว 0.98 และบัลลาสต์ที่มีค่าการสูญเสียพลังงาน 3 วัตต์สามารถทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างภายในอาคารได้ต่ำที่สุด 1.23 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ปริมาณการส่องสว่าง 100 ลักซ์

5.1.2 **การออกแบบสภาพภายในอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบส่องสว่างจากดวงโคม** ผู้ออกแบบอาคารทั้งสถาปนิก และมัณฑนากรสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างได้โดยการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างหรืออุปกรณ์ดวงโคม โดยใช้วัสดุภายในที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงหรือมีสีอ่อน ได้แก่ เพดาน ผนัง พื้น และเฟอร์นิเจอร์ ทำให้ปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance) มีค่าสูงขึ้น ได้ถึง 27.40 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการใช้พลังงานลงได้สูงสุด 0.26 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ปริมาณการส่องสว่าง 100 ลักซ์ หรือทำให้ใช้พลังงานลดลง 21.14 เปอร์เซ็นต์จากพลังงานในส่วนของระบบดวงโคม และทุกๆค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในที่เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์สามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ 0.03 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ปริมาณการส่องสว่าง 100 ลักซ์

5.1.3 **อิทธิพลของการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบส่องสว่างจากดวงโคมที่มีผลต่อผู้ใช้อาคาร** ในการออกแบบสภาพภายในอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบส่องสว่างจากดวงโคมโดยการใช้วัสดุพื้นผิวที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงหรือการใช้สีอ่อนสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงและเป็นตัวชี้วัดสภาวะความสบายทางสายตาคือ อัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างความจ้าของแสง (Luminance) ของพื้นที่ใช้งานกับพื้นที่ใกล้เคียงที่เหมาะสมคือไม่เกิน 3 ต่อ 1 และอัตราส่วนความเปรียบต่างระหว่างความจ้าของแสง (Luminance) ของพื้นที่ใช้งานกับพื้นที่ไกลออกไปที่เหมาะสมคือไม่เกิน 10 ต่อ 1 ซึ่งเป็นระดับความเปรียบต่างที่เหมาะสมกับความสามารถในการปรับตัวของสายตามนุษย์ ทำให้เกิดความสบายตา ความเปรียบต่างจะได้ตามเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงหรือสีของพื้นผิวบนพื้นที่ใช้งานและบริเวณโดยรอบมีค่าใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อจำกัดในการวิจัย

- การวิจัยนี้สามารถประเมินได้เฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวกับการส่องสว่างภายในอาคารเท่านั้น เนื่องจากตัวแปรภายนอกอาคาร ได้แก่ ปริมาณแสงธรรมชาติ สภาพท้องฟ้า และตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ต้องมีการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลานาน และมีการคำนวณที่ซับซ้อน
- การวิจัยนี้ใช้ประเมินเฉพาะระบบส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์เท่านั้น ไม่สามารถใช้ร่วมกับแสงธรรมชาติได้

- การวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะอาคารที่พักอาศัย ยังมีอาคารที่มีลักษณะการใช้งานอื่นๆที่ควรมีการจัดทำการประเมินเรื่องการใช้พลังงานของระบบส่องสว่าง เช่น อาคารสำนักงาน อาคารเพื่อการศึกษา อาคารสาธารณะต่างๆ เป็นต้น
- การทดลองในการวิจัยนี้ทำการศึกษาเพียงค่าการสะท้อนแสงภายในเฉพาะพื้น ผนังทึบที่ไม่มีช่องแสง ไม่รวมเพดาน และยังไม่มีการศึกษาผลของอัตราส่วนโพรงของห้องต่อปริมาณการส่องสว่าง
- การวิจัยนี้เป็นเพียงแนวทางในการเริ่มต้นการสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานและสภาวะน่าสบายทางสายตาเพื่อนำไปทำแบบประเมินระบบส่องสว่างภายในอาคารโดยมุ่งศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างเท่านั้น

5.2.2 **การศึกษาต่อเนื่องจากงานวิจัยนี้**

- ควรมีการศึกษาตัวแปรภายนอกอาคารประกอบด้วย เช่น ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร สภาพท้องฟ้า และตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์
- ควรมีการศึกษาทั้งเรื่องแสงประดิษฐ์และการนำแสงธรรมชาติในเข้ามาใช้ในอาคารควบคู่กันเพื่อสามารถประเมินระบบส่องสว่างทั้งจากแสงประดิษฐ์ และแสงธรรมชาติ
- ควรมีการศึกษาวิจัยการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างของอาคารที่มีลักษณะการใช้งานอื่นๆเช่น อาคารสำนักงาน อาคารเพื่อการศึกษา และอาคารสาธารณะอื่นๆ
- ควรมีการศึกษาค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในที่รวมทั้งเพดาน พื้น ผนังที่มีสัดส่วนของช่องแสงขาดต่างๆ และมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องอัตราส่วนโพรงของห้องต่อปริมาณการส่องสว่าง
- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งด้านปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบส่องสว่าง และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายทางสายตา เพื่อสามารถนำไปสร้างแบบประเมินระบบส่องสว่างภายในอาคารต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมล เกียรติเรืองกมลา. โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณแสงธรรมชาติโดยใช้ข้อมูลสภาพท้องฟ้าในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

กิตติพงศ์ เอี่ยมรัตนวงศ์. แนวทางการสร้างแบบประเมินการใช้แสงธรรมชาติในอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิกการออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

โมดูลาร์, บริษัท. เอกสารเผยแพร่. Modular The Quality of Lighting. นนทบุรี, 2547.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. พัฒนาและส่งเสริมพลังงานม กรม. อนุรักษ์พลังงาน, กอง.คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กองอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536.

สุนทร บุญญาธิการ และคณะ. พลังงานใกล้ตัว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ: เฟริท์ ออฟเซท, 2545.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Lisa Skolnik. The Right Light. Massachusetts: Rockport Publishers,Inc, 2001.

M. David Egan. Concepts in Architectural lighting. USA: McGraw-Hill, Inc., 1983.

Mark S. Rea and Ph.D.,FIES. Illuminating Engineering Society of North America. IESNA LIGHTING HANDBOOK 2000 Reference 9th edition. New York, 2000.

Michel, Lou. Light : The Shape of space. New York: Van Nostrand Reinhold, 1996.

Sally Storey. Lighting:Recipes and ideas. London: Quadrille Publishing Limited, 2000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Stein, Benjamin and John S. Reynolds. Mechanical and Electrical Equipment for building. 8th ed., New York: John Wiley & Sons, 1992.

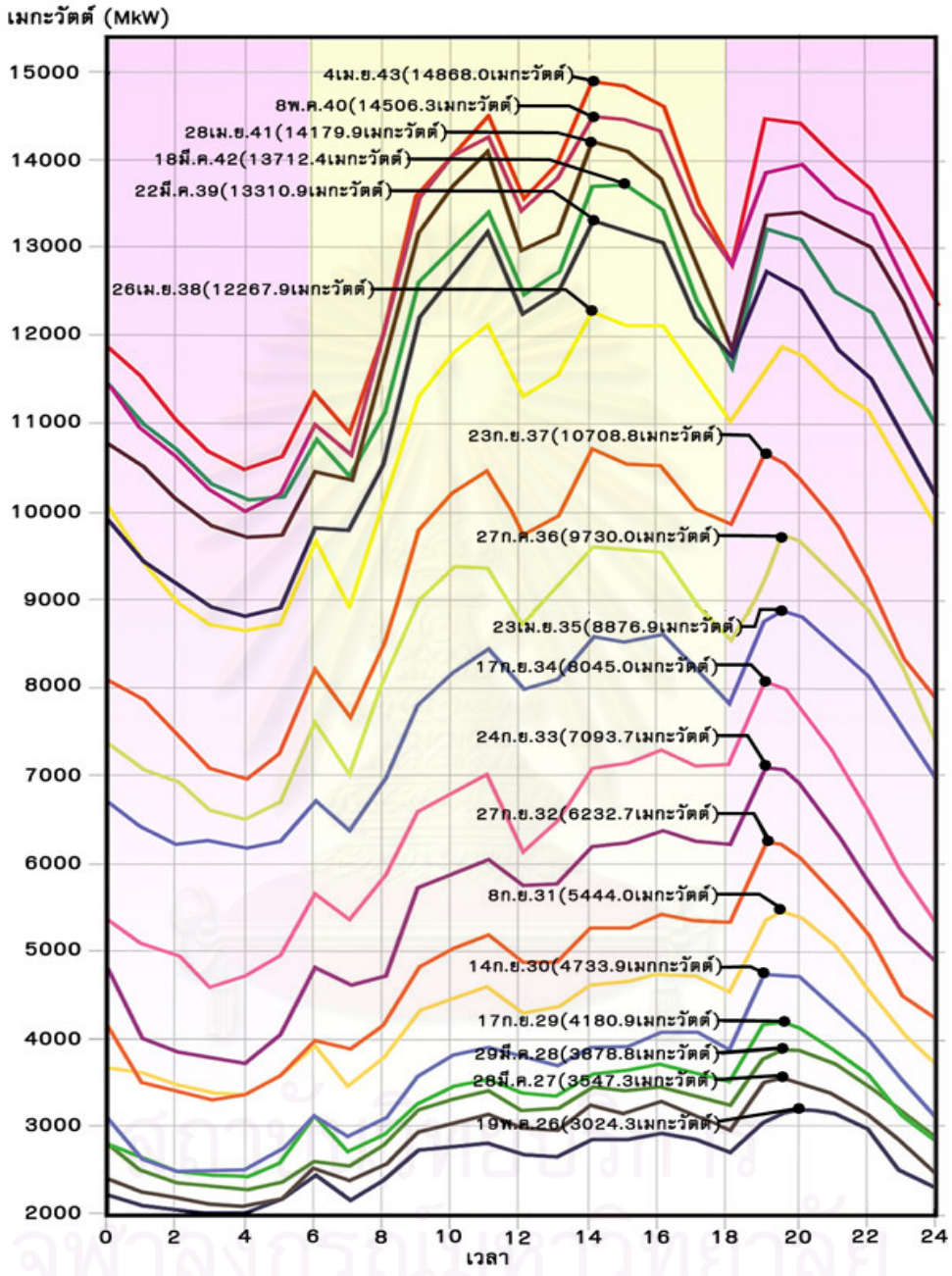
THE IESNA. Illuminating Engineering Society of North America. IESNA LIGHTING HANDBOOK 1981 Reference Volume. New York, 1981.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก ลักษณะความต้องการพลังงานไฟฟ้าในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด พ.ศ. 2526-2543

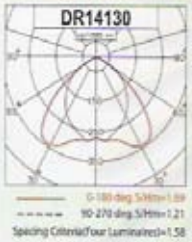


(ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ้างถึงใน พลังงานใกล้ตัว, 2545: 11)

ภาคผนวก ค ข้อมูลหลอดไฟต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Light Output Ratio(LOR)=76.4%



0-180 deg.S/Mtr=1.59

90-270 deg.S/Mtr=1.21

Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.58

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	903	903	903
45	1272	1263	746
55	707	896	642
65	208	336	232
75	26	26	0
85	0	0	0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7			.5		.3		0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR											
0	88	88	88	88	84	84	84	81	81	81	76
1	83	80	78	76	77	75	73	74	72	71	67
2	76	72	68	64	69	66	63	67	64	61	59
3	70	64	59	55	62	58	54	60	56	53	51
4	65	57	52	48	55	51	47	54	50	46	44
5	60	51	46	41	50	45	41	48	44	40	39
6	55	46	41	36	45	40	36	44	39	36	34
7	51	42	36	32	41	36	32	40	35	32	30
8	47	38	33	28	37	32	28	36	32	28	27
9	44	35	29	26	34	29	25	33	29	25	24
10	41	32	27	23	32	26	23	31	26	23	21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DR 24130

Light Output Ratio(LOR)=73.3%

0-180 deg. S/Hm=1.58

90-270 deg. S/Hm=1.24

Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.33

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	913	913	913
45	1143	1133	789
55	690	843	666
65	384	392	240
75	26	39	0
85	0	0	0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7			.5		.3		0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR											
0	85	85	85	85	81	81	81	78	78	78	73
1	79	77	74	72	74	72	70	71	69	68	65
2	73	68	65	61	66	63	60	64	61	59	56
3	67	61	56	52	59	55	52	57	54	51	48
4	62	55	49	45	53	48	45	51	47	44	42
5	57	49	44	39	48	43	39	46	42	39	37
6	53	44	39	34	43	38	34	42	37	34	32
7	49	40	35	31	39	34	30	38	34	30	29
8	45	37	31	27	36	31	27	35	30	27	25
9	42	34	28	24	33	28	24	32	27	24	23
10	40	31	26	22	30	25	22	30	25	22	21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Light Output Ratio(LOR)=77.5%

0-180 deg. S/Hm=1.69

90-270 deg. S/Hm=1.28

Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.58

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	400	400	400
45	594	546	347
55	374	428	298
65	164	186	105
75	5	17	0
85	0	0	0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR											
0	90	90	90	90	86	86	86	82	82	82	77
1	84	81	79	76	78	76	74	75	73	72	68
2	77	72	68	65	70	66	63	67	64	62	59
3	71	64	59	55	62	58	54	60	57	53	51
4	65	58	52	48	56	51	47	54	50	46	44
5	60	52	46	41	50	45	41	49	44	40	39
6	56	47	41	36	45	40	36	44	39	36	34
7	51	42	36	32	41	36	32	40	35	32	30
8	48	39	33	28	38	32	28	37	32	28	27
9	45	35	29	25	34	29	25	34	29	25	24
10	42	32	27	23	32	26	23	31	26	23	21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Light Output Ratio(LOR)=73.4%

0-180 deg.S/Hm=1.58

90-270 deg.S/Hm=1.20

Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.52

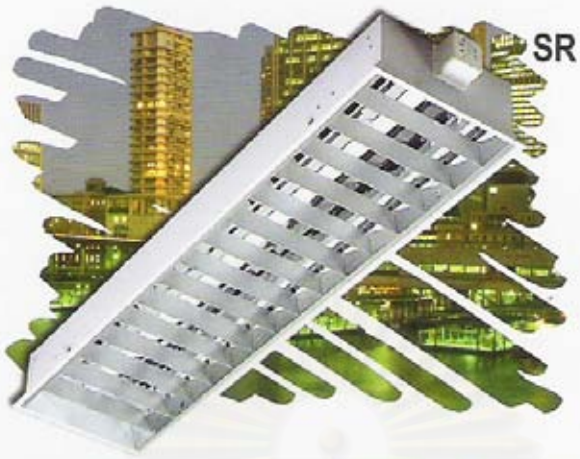
Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	427	427	427
45	384	546	362
55	131	269	320
65	10	62	105
75	0	0	0
85	0	0	0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7			.5			.3			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR											
0	85	85	85	85	81	81	81	78	78	78	73
1	80	77	75	73	74	73	71	72	70	69	65
2	74	70	66	63	67	64	62	65	63	60	58
3	69	63	58	55	61	57	54	59	56	53	51
4	63	57	52	48	55	51	47	53	50	47	45
5	59	51	46	42	50	45	42	49	44	41	40
6	55	47	41	37	45	41	37	44	40	37	35
7	51	43	37	33	41	37	33	40	36	33	31
8	47	39	34	30	38	33	30	37	33	29	28
9	44	36	30	27	35	30	27	34	30	27	25
10	41	33	28	24	32	27	24	32	27	24	23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=76.4%

0-180 deg. S/Hm=1.62
90-270 deg. S/Hm=1.09
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.49

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	967	967	967
45	1272	1114	736
55	701	931	654
65	208	504	592
75	13	169	509
85	38	116	426

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7			.5		.3		0
pw	.7	.5	.3 .1	.5	.3 .1	.5	.3 .1	0
RCR								
0	88	88	88 88	84	84 84	81	81 81	76
1	82	79	77 74	76	74 72	73	71 70	66
2	75	70	66 62	67	64 61	65	62 59	57
3	69	62	57 53	60	56 52	58	54 51	49
4	63	55	50 45	54	49 45	52	48 44	42
5	58	50	44 39	48	43 39	47	42 38	36
6	54	45	39 34	43	38 34	42	37 34	32
7	50	41	35 30	39	34 30	38	33 30	28
8	46	37	31 27	36	31 27	35	30 27	25
9	43	34	28 24	33	28 24	32	27 24	22
10	41	31	26 22	30	25 22	30	25 22	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Light Output Ratio(LOR)=74.1%

0-180 deg.S/Hm=1.55

90-270 deg.S/Hm=1.11

Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.45

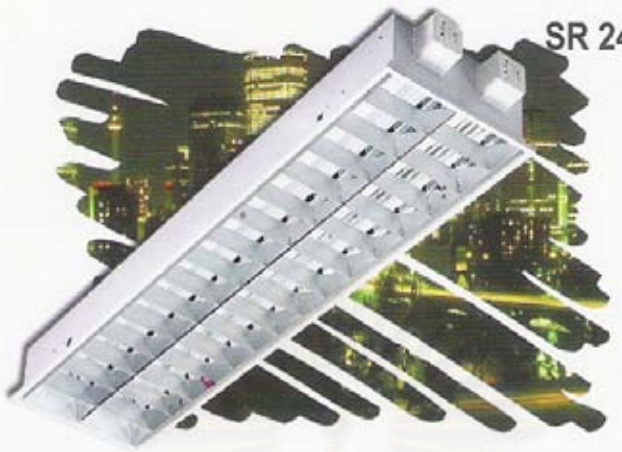
Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	943	943	943
45	1153	1019	760
55	678	855	684
65	384	512	600
75	26	222	522
85	0	116	426

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7			.5			.3			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR											
0	86	86	86	86	82	82	82	78	78	78	74
1	79	77	74	72	73	71	70	71	69	67	64
2	73	68	64	60	65	62	59	63	60	57	55
3	67	60	55	51	58	54	50	56	52	49	47
4	61	54	48	44	52	47	43	50	46	42	40
5	56	48	42	38	47	41	3	45	41	37	35
6	52	43	37	33	42	37	33	41	36	32	31
7	48	39	33	29	38	33	29	37	32	29	27
8	45	36	30	26	35	30	26	34	29	26	24
9	42	33	27	23	32	27	23	31	27	23	22
10	39	30	25	21	30	25	21	29	24	21	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=69.0%

0-180 deg.S/Hmin=1.44

90-270 deg.S/Hmin=1.19

Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.40

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	987	987	987
45	712	975	765
55	253	566	690
65	56	224	616
75	13	91	509
85	0	77	349

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR											
0	80	80	80	80	76	76	76	73	73	73	69
1	74	72	70	68	69	67	66	66	65	64	61
2	69	64	61	58	62	59	57	60	57	55	53
3	63	58	53	50	56	52	49	54	51	48	46
4	59	52	47	43	50	46	43	49	45	42	40
5	54	47	42	38	46	41	38	44	40	37	35
6	50	43	37	34	41	37	33	40	36	33	31
7	47	39	34	30	38	33	30	37	33	30	28
8	44	36	30	27	35	30	27	34	30	27	25
9	41	33	28	24	32	27	24	31	27	24	23
10	38	30	25	22	30	25	22	29	25	22	21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Light Output Ratio(LOR)=77.3%

0-180 deg.S/Hm=1.64
90-270 deg.S/Hm=1.13
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.50

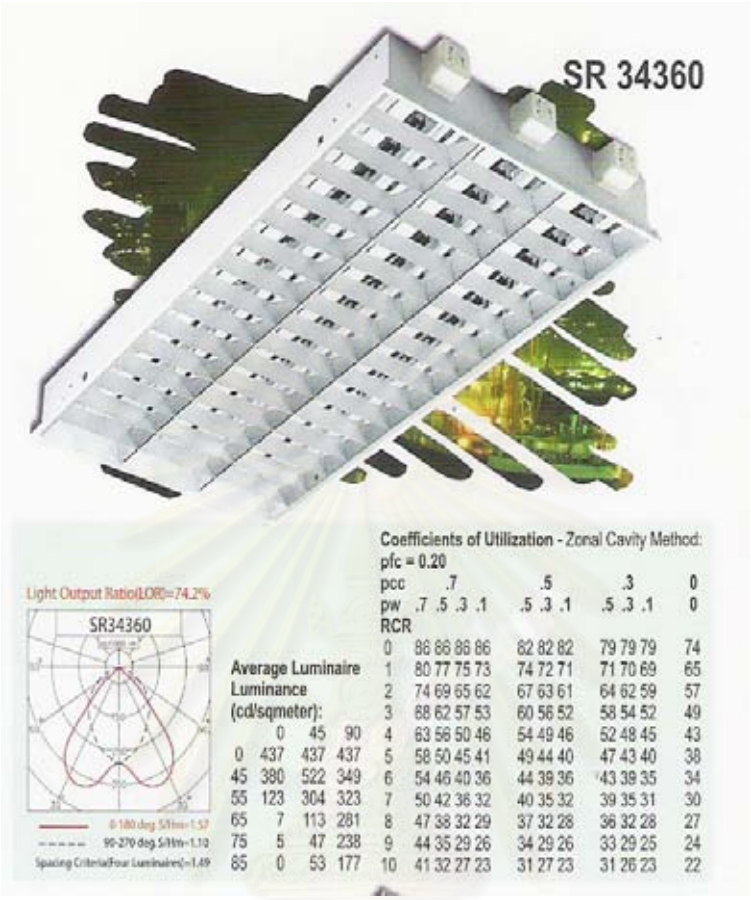
Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	413	413	413
45	589	484	338
55	371	433	298
65	160	266	266
75	5	95	238
85	0	70	194

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7			.5		.3		0
pw	.7	.5	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR										
0	89	89	89	85	85	85	82	82	82	77
1	83	80	77	75	77	74	72	74	72	70	67
2	76	71	66	63	68	64	61	65	62	60	57
3	69	63	57	53	60	56	52	58	54	51	49
4	64	56	50	45	54	49	44	52	48	44	42
5	59	50	44	39	48	43	39	47	42	38	36
6	54	45	39	34	43	38	34	42	37	33	32
7	50	41	34	30	39	34	30	38	33	30	28
8	47	37	31	27	36	30	26	35	30	26	25
9	43	34	28	24	33	28	24	32	27	24	22
10	41	31	25	22	30	25	21	30	25	21	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=74.2%

0-180 deg.S/Hm=1.57
90-270 deg.S/Hm=1.10
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.49

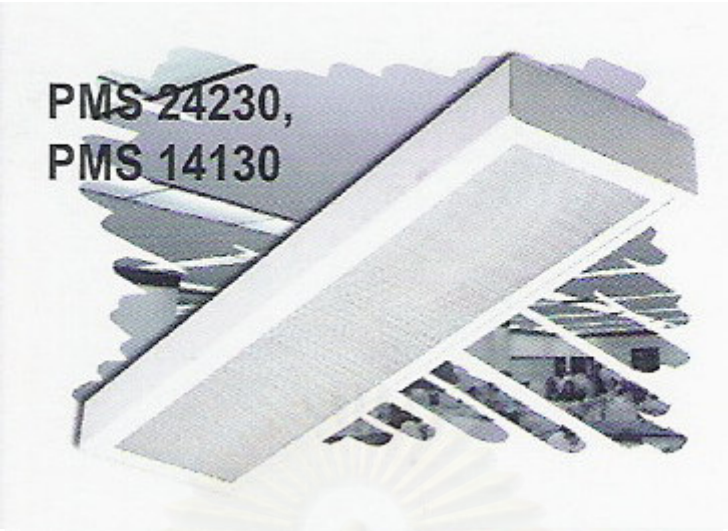
Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	437	437	437
45	380	522	349
55	123	304	323
65	7	113	281
75	5	47	238
85	0	53	177

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7			.5		.3		0
pw	.7	.5	.3 .1	.5	.3 .1	.5	.3 .1	0
RCR								
0	86	86	86 86	82	82 82	79	79 79	74
1	80	77	75 73	74	72 71	71	70 69	65
2	74	69	65 62	67	63 61	64	62 59	57
3	68	62	57 53	60	56 52	58	54 52	49
4	63	56	50 46	54	49 46	52	48 45	43
5	58	50	45 41	49	44 40	47	43 40	38
6	54	46	40 36	44	39 36	43	39 35	34
7	50	42	36 32	40	35 32	39	35 31	30
8	47	38	32 29	37	32 28	36	32 28	27
9	44	35	29 26	34	29 26	33	29 25	24
10	41	32	27 23	31	27 23	31	26 23	22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



PMS24230

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

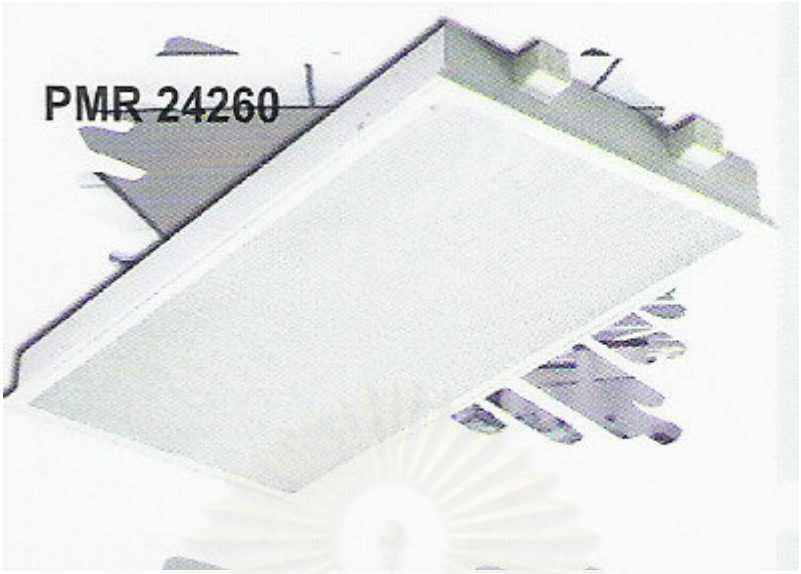
	0	45	90
0	527	527	527
45	650	597	540
55	673	619	549
65	653	611	532
75	574	541	477
85	525	494	462

Light Output Ratio(LOR)=64.6%

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR											
0	75	75	75	75	71	71	71	68	68	68	64
1	68	65	62	59	62	59	57	59	57	56	52
2	61	56	51	48	53	50	46	51	48	45	43
3	55	48	43	39	46	42	38	45	41	38	35
4	50	43	37	33	41	36	32	39	35	32	30
5	46	38	32	28	36	31	27	35	31	27	25
6	42	34	28	24	33	27	24	31	27	23	22
7	39	30	25	21	29	24	21	28	24	20	19
8	36	28	22	18	27	22	18	26	21	18	17
9	34	25	20	16	25	20	16	24	19	16	15
10	32	23	18	15	23	18	15	22	18	15	13

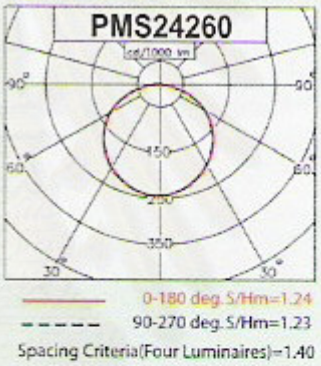


PMS24260

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	340	340	340
45	332	334	326
55	331	331	324
65	315	315	308
75	276	276	268
85	254	254	247

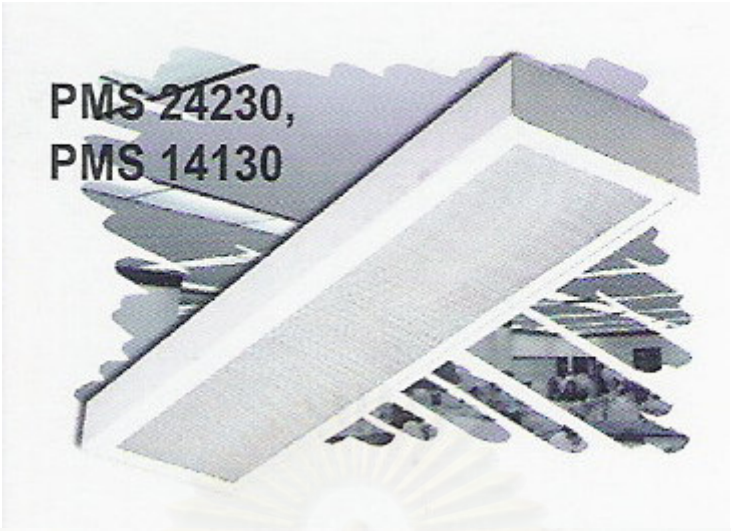
Light Output Ratio(LOR)=72.7%



Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR											
0	84	84	84	84	81	81	81	77	77	77	72
1	76	73	70	68	70	68	65	67	65	63	60
2	69	64	59	55	61	57	53	58	55	52	49
3	63	56	50	45	53	48	44	51	47	44	41
4	57	49	43	38	47	42	38	45	41	37	35
5	53	44	37	33	42	37	32	41	36	32	30
6	48	39	33	28	38	32	28	37	32	28	26
7	45	35	29	25	34	29	25	33	28	24	23
8	42	32	26	22	31	26	22	30	25	22	20
9	39	30	24	20	29	23	20	28	23	20	18
10	37	27	22	18	27	21	18	26	21	18	16

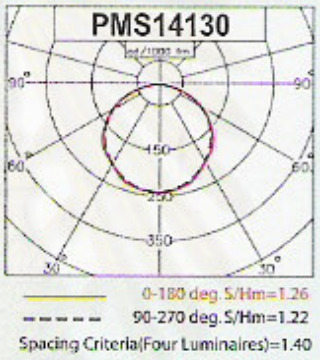


PMS14130

Average Luminaire Luminance (cd/sqmeter):

	0	45	90
0	661	661	661
45	663	656	642
55	653	651	636
65	617	617	604
75	531	531	525
85	478	478	478

Light Output Ratio(LOR)=71.4%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.40

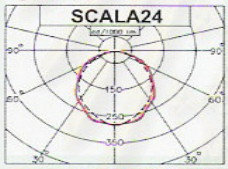
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR											
0	83	83	83	83	79	79	79	76	76	76	71
1	75	72	69	66	69	66	64	66	64	62	59
2	68	62	58	54	60	56	53	57	54	51	49
3	62	55	49	45	52	48	44	50	46	43	41
4	56	48	42	38	46	41	37	45	40	36	34
5	52	43	37	32	41	36	32	40	35	31	29
6	48	39	32	28	37	32	28	36	31	27	26
7	44	35	29	25	34	28	24	33	28	24	22
8	41	32	26	22	31	25	22	30	25	21	20
9	38	29	23	19	28	23	19	27	23	19	18
10	36	27	21	18	26	21	17	25	21	17	16

SCALA 24, SCALA 14

Light Output Ratio(LOR)=68.0%



0-180 deg. S/Hm=1.15
90-270 deg. S/Hm=1.14
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.26

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

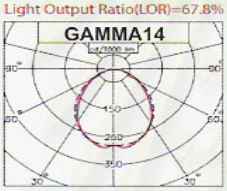
pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	..5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	79	79	79	79	75	75	75	72	72	72	69	69	69	68
1	72	70	67	65	67	65	63	64	62	61	62	60	59	58
2	66	61	57	53	59	55	52	56	53	51	54	52	50	48
3	60	54	49	45	52	47	44	50	46	43	48	45	42	41
4	55	48	42	38	46	41	38	44	40	37	43	40	37	35
5	51	43	37	33	41	36	33	40	36	32	39	35	32	30
6	47	39	33	29	37	32	29	36	32	28	35	31	28	27
7	43	35	30	26	34	29	25	33	29	25	32	28	25	24
8	41	32	27	23	31	26	23	30	26	23	30	25	22	21
9	38	29	24	21	29	24	20	28	24	20	27	23	20	19
10	36	27	22	19	27	22	19	26	22	18	25	21	18	17

Quantity of Luminaire Required-Scala 24
Fluo.T8 2x36W. 3250lm. Working Plan Height : 0.75
Room Reflectance : C/W/F =0.7/0.5/0.2 LLF=0.80

lux	Height(m)	25m²	50m²	75m²	100m²
300	2.4 Celling	3	5	7	9
	2.7 Celling	3	5	7	9
	3.0 Celling	3	6	8	10
400	2.4 Celling	4	7	9	12
	2.7 Celling	4	7	10	12
	3.0 Celling	4	7	10	13
500	2.4 Celling	4	8	11	15
	2.7 Celling	5	9	12	15
	3.0 Celling	5	9	12	16

GAMMA 24, GAMMA 14

Light Output Ratio(LOR)=67.8%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.25

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

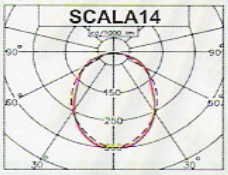
pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	79	79	79	79	75	75	75	72	72	72	69	69	69	68
1	72	69	67	64	66	64	62	64	62	61	61	60	59	57
2	66	61	57	54	59	55	52	56	54	51	54	52	50	49
3	60	54	49	45	52	48	44	50	47	44	49	46	43	41
4	55	48	43	39	47	42	38	45	41	38	44	40	37	36
5	51	43	38	34	42	37	33	41	36	33	39	36	33	31
6	47	39	34	30	38	33	29	37	33	29	36	32	29	28
7	44	36	30	26	35	30	26	34	29	26	33	29	26	25
8	41	33	27	24	32	27	24	31	27	23	30	26	23	22
9	38	30	25	21	29	25	21	29	24	21	28	24	21	20
10	36	28	23	19	27	23	19	27	22	19	26	22	19	18

Quantity of Luminaire Required-Gamma14
Fluo.T8 2x36W. 3250lm. Working Plan Height : 0.75
Room Reflectance : C/W/F =0.7/0.5/0.2 LLF=0.80

lux	Height(m)	25m²	50m²	75m²	100m²
300	2.4 Celling	6	10	13	17
	2.7 Celling	6	10	14	18
	3.0 Celling	6	11	15	19
400	2.4 Celling	7	13	18	23
	2.7 Celling	8	13	19	27
	3.0 Celling	8	14	19	25
500	2.4 Celling	9	16	22	29
	2.7 Celling	9	17	23	30
	3.0 Celling	10	17	24	31

SCALA 24, SCALA 14

Light Output Ratio(LOR)=75.6%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.20

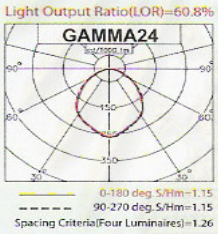
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	..5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	87	87	87	87	84	84	84	80	80	80	77	77	77	75
1	80	77	75	72	74	72	70	71	69	68	69	67	66	64
2	73	68	64	60	66	62	59	63	60	57	61	58	56	54
3	67	60	55	51	58	54	50	56	52	49	54	51	48	46
4	62	54	48	44	52	47	43	50	46	42	49	45	42	40
5	57	49	42	38	47	42	37	46	41	37	44	40	37	35
6	53	44	38	33	43	37	33	41	37	33	40	36	33	31
7	49	40	34	30	39	33	30	38	33	29	37	32	29	28
8	46	37	31	27	36	30	27	35	30	26	34	30	26	25
9	43	34	28	24	33	28	24	32	27	24	31	27	24	22
10	40	31	26	22	31	25	22	30	25	22	29	25	22	20

Quantity of Luminaire Required-Scala 14
Fluo.T8 2x36W. 3250lm. Working Plan Height : 0.75
Room Reflectance : C/W/F =0.7/0.5/0.2 LLF=0.80

lux	Height(m)	25m²	50m²	75m²	100m²
300	2.4 Celling	3	9	12	16
	2.7 Celling	5	9	13	16
	3.0 Celling	6	10	13	17
400	2.4 Celling	6	11	16	21
	2.7 Celling	7	12	17	21
	3.0 Celling	7	13	17	22
500	2.4 Celling	8	14	20	26
	2.7 Celling	8	15	21	27
	3.0 Celling	9	16	22	28

SCALA 24, SCALA 14

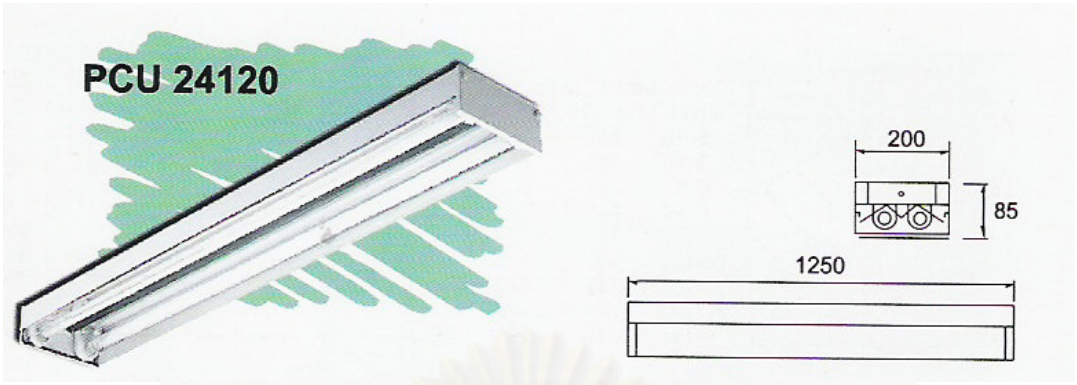


Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

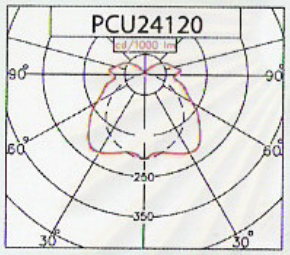
pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	70	70	70	70	67	67	67	64	64	64	62	62	62	61
1	65	62	60	58	59	58	56	57	55	54	55	54	52	51
2	59	54	51	48	52	49	47	50	48	45	49	46	44	43
3	54	48	44	40	46	43	39	45	41	39	43	40	38	37
4	49	43	38	34	41	37	34	40	36	33	39	36	33	32
5	46	39	34	30	37	33	29	36	32	29	35	32	29	28
6	42	35	30	26	34	29	26	33	29	26	32	28	25	24
7	39	32	27	23	31	26	23	30	26	23	29	25	23	21
8	36	29	24	21	28	24	21	27	23	20	27	23	20	19
9	34	27	22	19	26	22	19	25	21	18	25	21	18	17
10	32	25	20	17	24	20	17	23	20	17	23	19	17	16

Quantity of Luminaire Required-Gamma24
Fluo.T8 2x36W. 3250lm. Working Plan Height : 0.75
Room Reflectance : C/W/F =0.7/0.5/0.2 LLF=0.80

lux	Height(m)	25m²	50m²	75m²	100m²
300	2.4 Celling	3	6	8	10
	2.7 Celling	4	6	8	11
	3.0 Celling	4	6	9	11
400	2.4 Celling	4	8	11	13
	2.7 Celling	4	8	11	14
	3.0 Celling	5	8	11	15
500	2.4 Celling	5	9	13	17
	2.7 Celling	6	10	14	17
	3.0 Celling	6	10	14	18



Light Output Ratio(LOR)=89.3%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.54

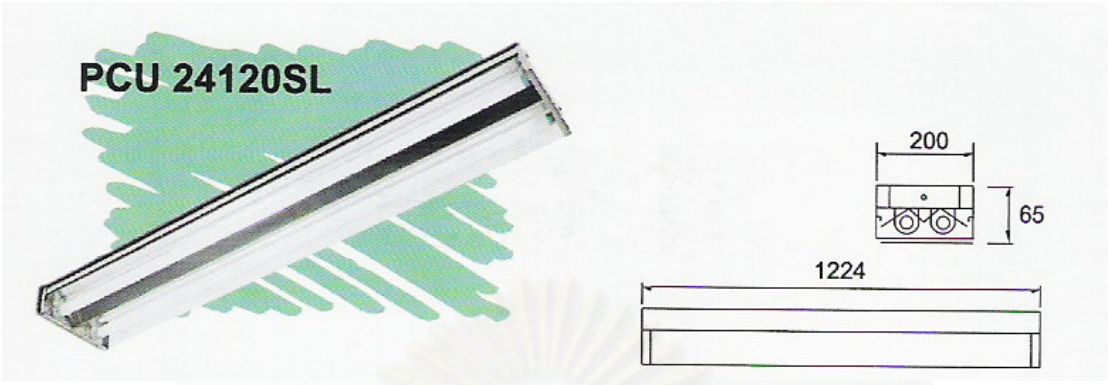
Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	166	16.6	18.5
0- 40	286	28.6	32.0
0- 60	539	53.9	60.3
0- 90	743	74.3	83.2
90-120	121	12.1	13.6
90-130	140	14.0	15.7
90-150	149	14.9	16.7
90-180	150	15.0	16.8
0-180	893	89.3	100.0

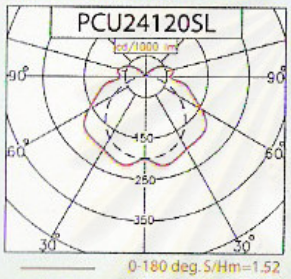
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**.1**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR														
0	99	99	99	99	91	91	91	84	84	84	77	77	77	74
1	88	84	80	76	77	74	71	71	68	66	65	63	62	59
2	79	72	66	61	66	62	57	61	57	54	56	53	50	48
3	72	63	56	50	58	52	47	53	49	45	49	45	42	39
4	65	55	48	42	51	45	40	47	42	38	44	39	35	33
5	60	49	41	36	45	39	34	42	37	32	39	34	30	28
6	55	44	36	31	41	34	29	38	32	28	35	30	26	24
7	51	40	32	27	37	30	26	34	29	24	32	27	23	21
8	47	36	29	24	34	27	23	31	26	22	29	24	21	19
9	44	33	26	21	31	24	20	29	23	19	27	22	18	17
10	41	30	23	19	28	22	18	26	21	17	25	20	17	15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=90.7%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.53

Zonal Lumen Summary

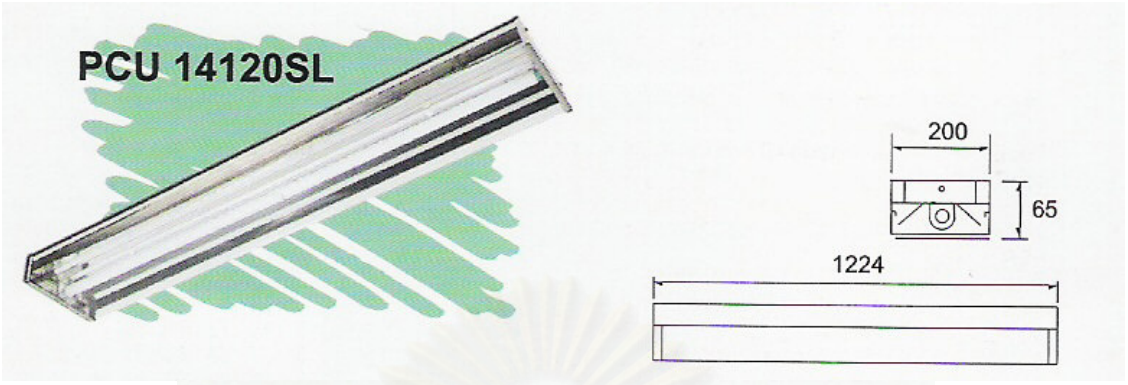
Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	171	17.1	18.9
0- 40	287	28.7	31.6
0- 60	542	54.2	59.8
0- 90	777	77.7	85.7
90-120	105	10.5	11.6
90-130	121	12.1	13.3
90-150	129	12.9	14.2
90-180	130	13.0	14.3
0-180	906	90.6	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

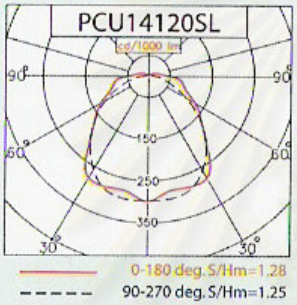
pfc = 0.20

pcc	.7			.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	101	101	101	101	93	93	93	86	86	86	80	80	80	77
1	89	85	81	77	79	75	72	73	70	68	67	65	63	60
2	80	73	67	61	67	62	58	62	58	55	58	54	51	49
3	73	63	56	50	59	53	47	54	49	45	50	46	43	40
4	66	56	48	42	52	45	40	48	42	38	44	40	36	33
5	60	49	41	35	46	39	34	43	37	32	40	35	31	28
6	56	44	36	31	41	34	29	38	32	28	36	31	27	25
7	51	40	32	27	37	30	26	35	29	25	32	27	23	21
8	48	36	29	24	34	27	23	32	26	22	30	25	21	19
9	45	33	26	21	31	25	20	29	23	19	27	22	19	17
10	42	30	23	19	29	22	18	27	21	17	25	20	17	15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=89%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.37

Zonal Lumen Summary

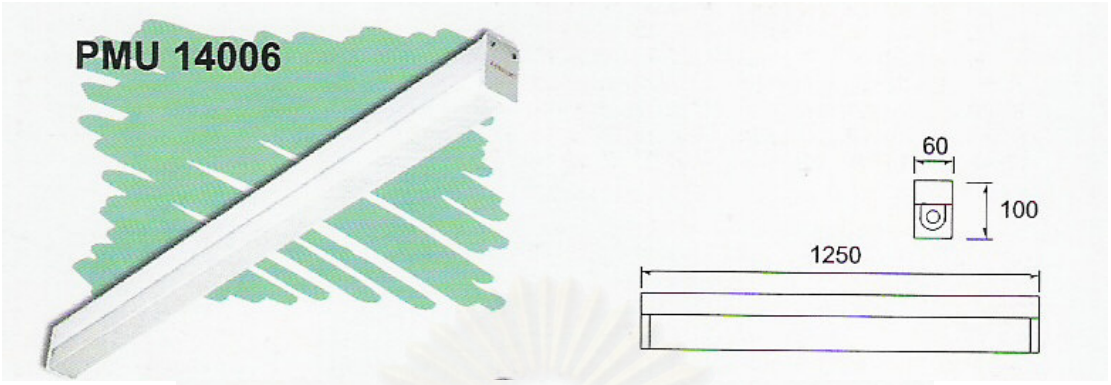
Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	230	23.0	25.6
0- 40	381	38.1	42.6
0- 60	662	66.2	73.9
0- 90	858	85.8	95.9
90-120	34	3.4	3.8
90-130	35	3.5	3.9
90-150	36	3.6	4.1
90-180	37	3.7	4.1
0-180	895	89.5	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

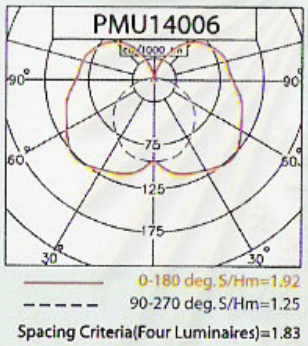
pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**.1**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR														
0	103	103	103	103	97	97	97	92	92	92	88	88	88	86
1	93	89	85	82	84	81	78	80	77	75	76	74	72	70
2	84	77	71	66	73	68	64	70	66	62	67	63	60	58
3	77	68	61	55	65	59	54	62	57	52	59	55	51	49
4	70	60	53	47	57	51	46	55	49	45	52	48	44	42
5	64	54	46	40	51	45	40	49	43	39	47	42	38	36
6	59	48	41	35	46	40	35	44	39	34	43	37	33	31
7	55	44	36	31	42	35	31	40	34	30	39	34	30	28
8	51	40	33	28	38	32	27	37	31	27	36	30	26	25
9	48	37	30	25	35	29	24	34	28	24	33	28	24	22
10	45	34	27	22	33	26	22	32	26	22	31	25	22	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=78.9%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.83

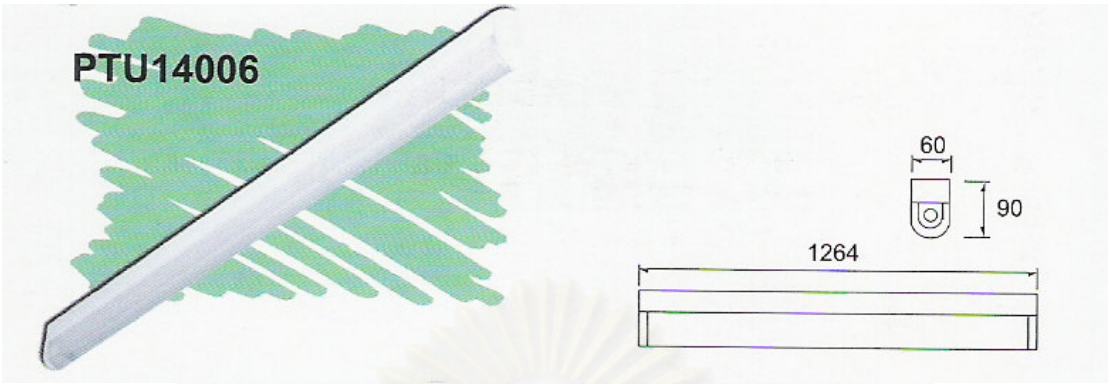
Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	86	8.6	10.9
0- 40	153	15.3	19.2
0- 60	319	31.9	40.2
0- 90	543	54.3	68.3
90-120	164	16.4	20.6
90-130	203	20.3	25.5
90-150	245	24.5	30.8
90-180	252	25.2	31.7
0-180	794	79.4	100.0

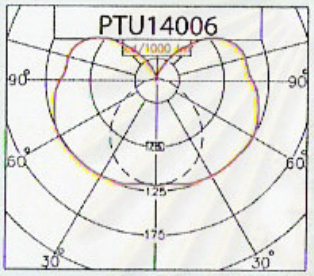
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**.1**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR														
0	83	83	83	83	74	74	74	65	65	65	58	58	58	54
1	72	68	64	61	60	57	54	53	50	48	46	44	42	39
2	65	58	52	47	51	46	42	44	41	37	38	36	33	30
3	58	50	43	38	44	38	34	38	34	30	33	29	27	24
4	53	43	36	31	38	32	28	33	29	25	29	25	22	19
5	48	38	31	26	34	28	23	29	25	21	25	22	18	16
6	44	34	27	22	30	24	20	26	21	18	23	19	16	14
7	41	30	24	19	27	21	17	24	19	15	21	17	14	12
8	38	28	21	17	24	19	15	21	17	13	19	15	12	10
9	35	25	19	15	22	17	13	20	15	12	17	13	11	9
10	33	23	17	13	20	15	12	18	14	11	16	12	9	8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=80.4%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.54

Zonal Lumen Summary

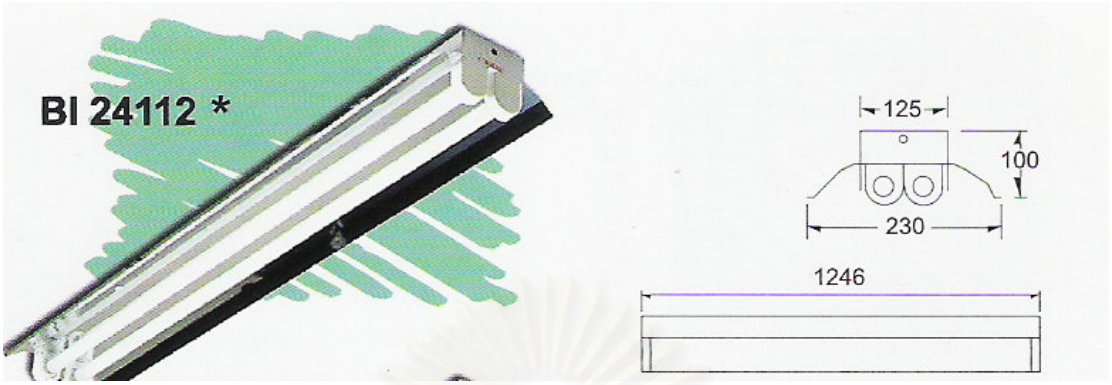
Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	98	9.8	12.2
0- 40	166	16.6	20.6
0- 60	322	32.2	40.1
0- 90	548	54.8	68.2
90-120	177	17.7	22.0
90-130	215	21.5	26.8
90-150	251	25.1	31.2
90-180	256	25.6	31.8
0-180	804	80.4	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	84	84	84	84	75	75	75	66	66	66	58	58	58	54
1	73	69	65	61	61	57	55	53	51	48	46	44	42	39
2	65	58	53	48	51	47	43	45	41	38	39	36	33	30
3	59	50	44	38	44	39	35	39	34	31	33	30	27	24
4	53	44	37	32	39	33	29	34	29	26	29	26	23	20
5	49	39	32	27	34	29	24	30	25	22	26	22	19	17
6	45	35	28	23	31	25	21	27	22	19	23	20	16	14
7	41	31	25	20	28	22	18	24	20	16	21	17	14	12
8	38	28	22	17	25	20	16	22	18	14	19	16	13	11
9	36	26	20	15	23	18	14	20	16	13	18	14	11	10
10	33	24	18	14	21	16	13	19	14	11	16	13	10	8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=88.4%

Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.21

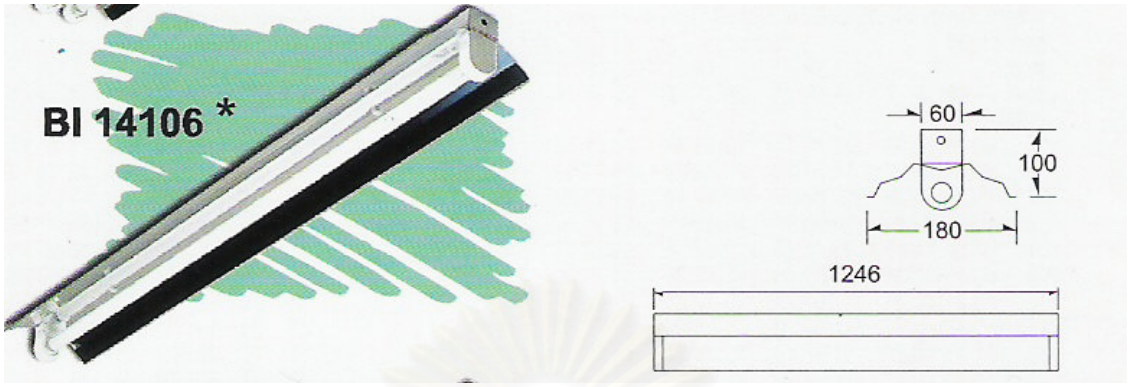
Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	253	25.3	28.6
0- 40	396	39.6	44.8
0- 60	654	65.4	73.9
0- 90	878	87.8	99.3
90-120	6	0.6	0.7
90-130	6	0.6	0.7
90-150	6	0.6	0.7
90-180	6	0.6	0.7
0-180	884	88.4	100.0

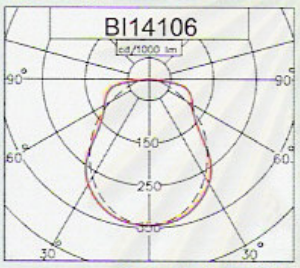
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	103	103	103	103	98	98	98	94	94	94	90	90	90	88
1	92	88	84	80	84	81	78	80	78	75	77	75	73	71
2	83	76	70	65	73	68	64	70	66	62	67	64	61	59
3	76	67	60	54	64	58	53	62	56	52	59	55	51	49
4	70	59	52	46	57	51	45	55	49	45	53	48	44	42
5	64	53	46	40	51	45	39	50	44	39	48	43	38	36
6	59	48	40	35	46	40	35	45	39	34	43	38	34	32
7	55	44	36	31	42	36	31	41	35	30	40	34	30	28
8	51	40	33	28	39	32	28	38	32	27	37	31	27	25
9	48	37	30	25	36	29	25	35	29	25	34	29	25	23
10	45	34	27	23	33	27	23	32	27	23	32	26	22	21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=90.7%



Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.33

Zonal Lumen Summary

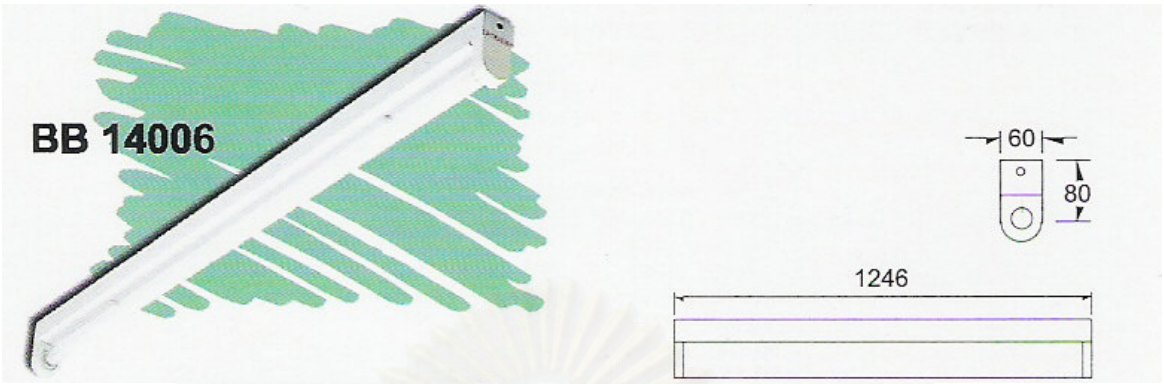
Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	260	26.0	28.6
0- 40	422	42.2	46.5
0- 60	707	70.7	77.9
0- 90	905	90.5	99.8
90-120	2	0.2	0.2
90-130	2	0.2	0.2
90-150	2	0.2	0.2
90-180	2	0.2	0.2
0-180	907	90.7	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

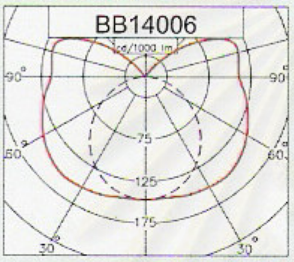
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	106	106	106	106	101	101	101	97	97	97	93	93	93	91
1	96	91	87	84	87	84	81	84	81	79	80	78	76	74
2	87	80	74	69	76	71	67	73	69	65	70	67	64	62
3	79	70	63	57	67	61	56	65	60	55	62	58	54	52
4	72	62	55	49	60	53	48	58	52	47	56	51	47	45
5	67	56	48	42	54	47	42	52	46	41	50	45	41	39
6	62	50	43	37	49	42	37	47	41	36	46	40	36	34
7	57	46	38	33	44	38	33	43	37	32	42	36	32	30
8	53	42	34	29	41	34	29	40	33	29	38	33	29	27
9	50	39	31	26	37	31	26	36	30	26	36	30	26	24
10	47	36	29	2435	28	24		34	28	24	33	28	24	22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=94.3%



0-180 deg. S/Hm=1.59
90-270 deg. S/Hm=1.23
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.57

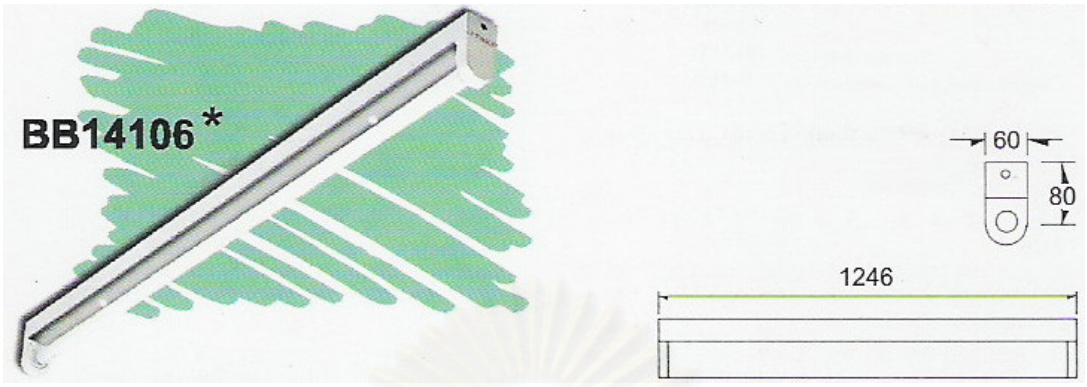
Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	120	12.0	12.7
0- 40	204	20.4	21.7
0- 60	400	40.0	42.4
0- 90	659	65.9	69.8
90-120	207	20.7	22.0
90-130	254	25.4	26.9
90-150	284	28.4	30.1
90-180	285	28.5	30.2
0-180	943	94.3	100.0

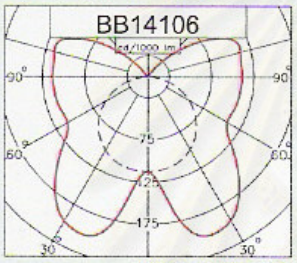
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**.1**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**..5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR														
0	99	99	99	99	88	88	88	79	79	79	70	70	70	65
1	87	82	77	73	72	69	65	64	61	58	56	54	52	48
2	77	69	63	57	61	56	51	54	50	46	47	44	41	37
3	70	60	52	46	53	47	42	47	42	37	41	37	33	30
4	63	53	44	38	46	40	35	41	36	31	36	31	28	25
5	58	46	38	32	41	34	29	36	31	26	32	27	24	21
6	53	41	33	28	37	30	25	33	27	23	29	24	20	18
7	49	37	29	24	33	27	22	29	24	20	26	21	18	15
8	46	34	26	21	30	24	19	27	21	17	24	19	16	13
9	42	31	24	19	28	21	17	25	19	15	22	17	14	12
10	40	28	21	17	25	19	15	23	17	14	20	16	13	11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=95.2%



0-180 deg. S/Hm=1.94
90-270 deg. S/Hm=1.32
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.83

Zonal Lumen Summary

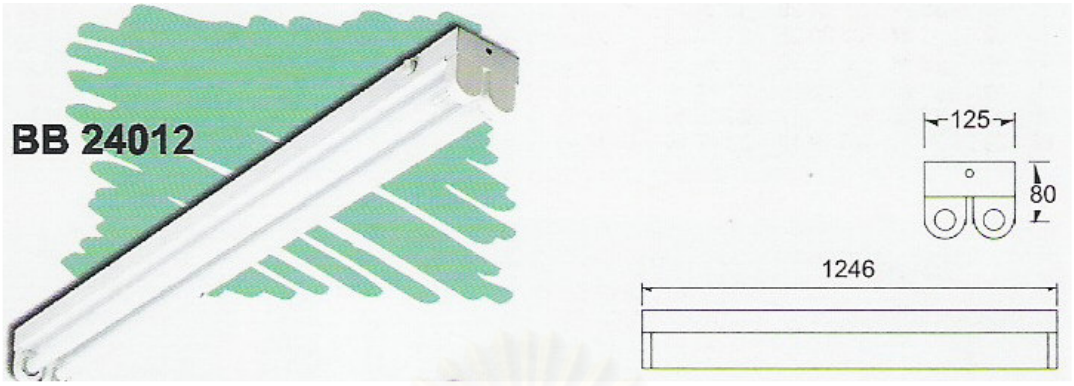
Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	133	13.3	14.0
0- 40	235	23.5	24.7
0- 60	440	44.0	46.2
0- 90	671	67.1	70.5
90-120	204	20.4	21.5
90-130	251	25.1	26.3
90-150	281	28.1	29.5
90-180	281	28.1	29.5
0-180	952	95.2	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:

pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**.1**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**..5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR														
0	100	100	100	100	90	90	90	80	80	80	71	71	71	67
1	88	83	79	75	74	71	67	66	63	60	58	56	54	50
2	79	71	65	59	64	58	54	56	52	48	49	46	43	40
3	72	62	55	49	55	49	44	49	44	40	43	39	36	32
4	65	55	47	40	49	42	37	43	38	33	38	34	30	27
5	60	48	40	34	43	36	31	38	33	28	34	29	26	23
6	55	43	35	29	39	32	27	34	29	25	30	26	22	20
7	51	39	31	26	35	28	23	31	26	21	28	23	19	17
8	47	35	28	22	32	25	21	28	23	19	25	21	17	15
9	44	32	25	20	29	23	18	26	21	17	23	19	15	13
10	41	29	22	18	27	20	16	24	19	15	21	17	14	2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=89.3%

0-180 deg. S/Hm=1.46
90-270 deg. S/Hm=1.23
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.50

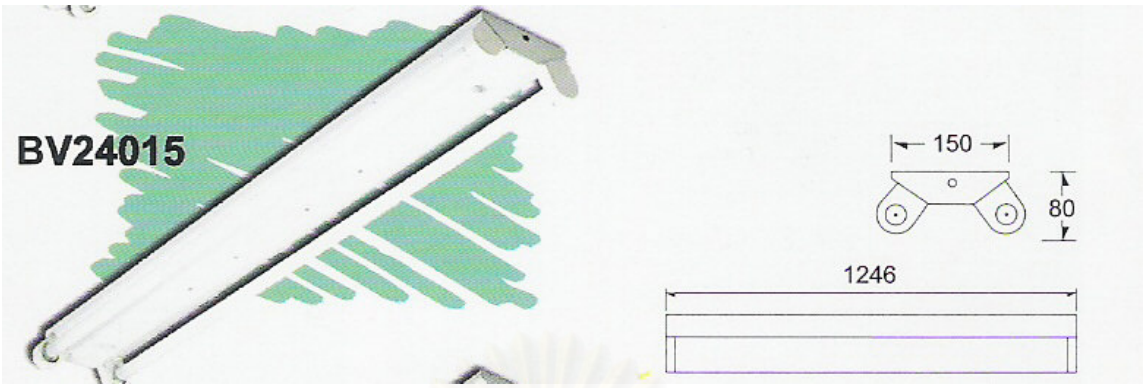
Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	142	14.2	15.9
0- 40	239	23.9	26.8
0- 60	459	45.9	51.3
0- 90	705	70.5	79.0
90-120	143	14.3	16.0
90-130	169	16.9	18.9
90-150	188	18.8	21.0
90-180	188	18.8	21.0
0-180	893	89.3	100.0

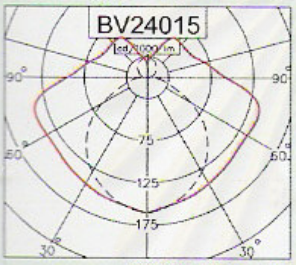
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	98	98	98	98	89	89	89	81	81	81	74	74	74	70
1	86	81	77	73	74	70	67	67	64	62	61	59	57	53
2	77	69	63	58	63	58	53	57	53	49	52	48	45	42
3	69	60	53	47	54	48	43	49	44	40	45	41	37	34
4	63	52	45	39	48	41	36	43	38	34	39	35	31	28
5	58	46	39	33	42	36	31	39	33	28	35	30	26	24
6	53	42	34	28	38	31	26	35	29	25	31	27	23	21
7	49	37	30	24	34	28	23	31	26	21	29	24	20	18
8	45	34	27	21	31	25	20	29	23	19	26	21	18	16
9	42	31	24	19	28	22	18	26	21	17	24	19	16	14
10	40	28	22	17	26	20	16	24	19	15	22	18	14	12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=91.6%



0-180 deg.S/Hm=1.37
90-270 deg.S/Hm=1.20
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.44

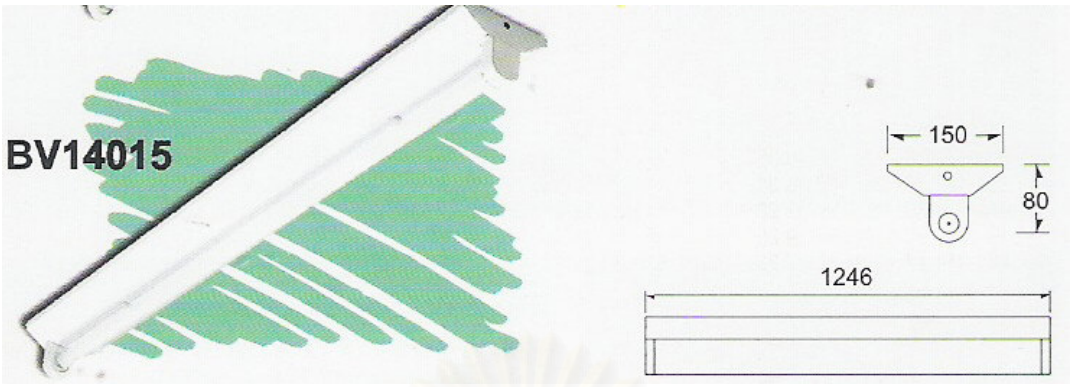
Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	124	12.4	13.5
0- 40	207	20.7	22.6
0- 60	394	39.4	43.1
0- 90	650	65.0	71.0
90-120	134	13.4	14.7
90-130	172	17.2	18.8
90-150	234	23.4	25.6
90-180	266	26.6	29.0
0-180	916	91.6	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	97	97	97	97	87	87	87	78	78	78	69	69	69	65
1	85	80	75	71	71	68	64	63	60	58	55	53	51	47
2	76	68	61	56	60	55	50	53	49	45	47	43	40	37
3	68	59	51	45	52	46	41	46	41	37	40	36	33	30
4	62	51	43	37	46	39	34	40	35	31	35	31	27	24
5	57	46	38	32	41	34	29	36	30	26	32	27	23	21
6	52	41	33	27	36	30	25	32	27	22	28	24	20	18
7	48	37	29	24	33	26	22	29	24	20	26	21	18	15
8	45	33	26	21	30	23	19	27	21	17	24	19	16	12
9	42	30	23	18	27	21	17	24	19	15	22	17	14	12
10	39	28	21	16	25	19	15	23	17	14	20	16	13	11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=92.9%

0-180 deg. S/Hm=1.58
90-270 deg. S/Hm=1.24
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.57

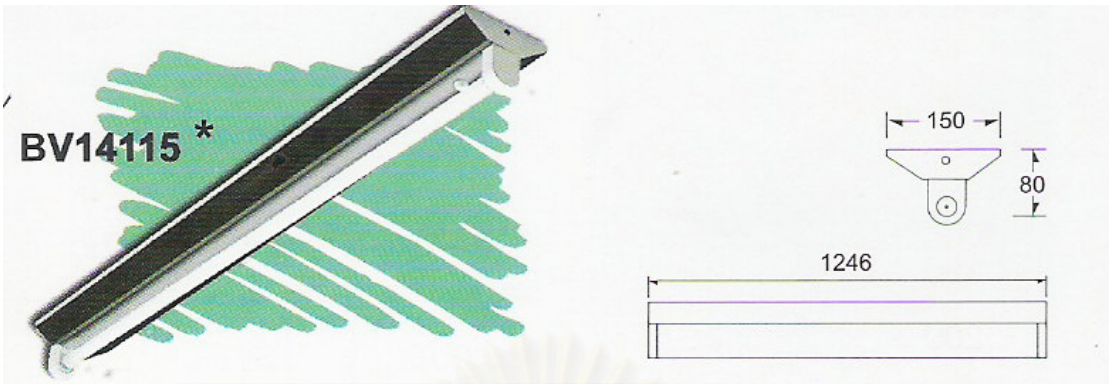
Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	124	12.4	13.3
0- 40	210	21.0	22.6
0- 60	412	41.2	44.3
0- 90	677	67.7	72.8
90-120	208	20.8	22.4
90-130	246	24.6	26.5
90-150	253	25.3	27.2
90-180	253	25.3	27.2
0-180	929	92.9	100.0

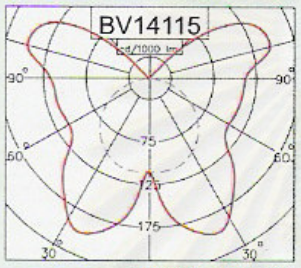
Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	.7				.5			.3			.1			0
pw	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR														
0	99	99	99	99	89	89	89	80	80	80	71	71	71	67
1	86	81	77	72	73	69	65	65	62	59	57	55	53	49
2	77	69	62	57	62	56	51	55	50	46	48	45	42	38
3	69	60	52	46	53	47	42	47	42	38	42	37	34	31
4	63	52	44	38	47	40	35	41	36	31	36	32	28	25
5	58	46	38	32	41	34	29	37	31	27	32	28	24	21
6	53	41	33	27	37	30	25	33	27	23	29	24	21	18
7	49	37	29	24	33	27	22	30	24	20	26	22	18	16
8	45	34	26	21	30	24	19	27	22	18	24	19	16	14
9	42	31	23	18	28	21	17	25	19	16	22	18	14	12
10	39	28	21	16	25	19	15	23	18	14	21	16	13	11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Light Output Ratio(LOR)=94.0%



0-180 deg. S/Hm=1.89
90-270 deg. S/Hm=1.34
Spacing Criteria(Four Luminaires)=1.79

Zonal Lumen Summary

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0- 30	133	13.3	14.2
0- 40	232	23.2	24.7
0- 60	428	42.8	45.5
0- 90	655	65.5	69.7
90-120	240	24.0	25.5
90-130	278	27.8	29.6
90-150	284	28.4	30.3
90-180	284	28.4	30.3
0-180	940	94.0	100.0

Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method:
pfc = 0.20

pcc	**.7**				**.5**			**.3**			**.1**			**0**
pw	**.7**	**.5**	**.3**	**.1**	**..5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**.5**	**.3**	**.1**	**0**
RCR														
0	99	99	99	99	88	88	88	78	78	78	69	69	69	65
1	87	82	78	74	73	69	66	64	62	59	56	54	52	48
2	78	71	64	59	62	57	53	55	51	47	48	45	42	39
3	71	61	54	48	54	48	43	48	43	39	42	38	35	32
4	64	54	46	40	48	41	36	42	37	33	37	33	29	26
5	59	48	40	34	43	36	31	38	32	28	33	29	25	22
6	54	43	35	29	38	32	27	34	28	24	30	25	22	19
7	50	38	31	25	34	28	23	31	25	21	27	23	19	17
8	46	35	27	22	31	25	20	28	23	19	25	20	17	15
9	43	32	25	20	29	22	18	26	20	17	23	18	15	13
10	40	29	22	18	26	20	16	24	18	15	21	17	13	12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W A55	25	230	100			9.20
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W A55	40	430	100			10.75
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 60W A55	60	730	100			12.17
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 100W A55	100	1380	100			13.80
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W T55	25	195	100			7.80
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W T55	40	370	100			9.25
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 60W T55	60	630	100			10.50
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 100W T55	100	1200	100			12.00
PHILIPS INCANDESCENT PRAC 40W A60	40	200	100			5.00
PHILIPS INCANDESCENT PRAC 60W A60	60	400	100			6.67
PHILIPS INCANDESCENT PRAC 100W A60	100	700	100			7.00
PHILIPS INCANDESCENT PRAC 100W A65	100	990	100			9.90
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W B35 CL	25	215	100			8.60
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W B35 CL	40	415	100			10.38
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W B35 FR	25	215	100			8.60
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W B35 FR	40	415	100			10.38
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W E27 P45 CL	25	205	100			8.20
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W E27 P45 CL	40	395	100			9.88
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W E27 P45 FR	25	205	100			8.20
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W E27 P45 FR	40	395	100			9.88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W B22 P45 CL	25	205	100			8.20
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W B22 P45 CL	40	395	100			9.88
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W B22 P45 FR	25	205	100			8.20
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W B22 P45 FR	40	395	100			9.88
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W E14 P45 CL	25	215	100			8.60
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W E14 P45 CL	40	415	100			10.38
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W E14 P45 FR	25	215	100			8.60
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W E14 P45 FR	40	415	100			10.38
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 25W E27 WW	25	210	100			8.40
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 40W E27 WW	40	400	100			10.00
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 60W E27 WW	60	680	100			11.33
PHILIPS INCANDESCENT CLAS 100W E27 WW	100	1280	100			12.80
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 30W/830 ES SLV/25	30	2850		WARM WHITE	3000	95.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 30W/840 ES SLV/26	30	2850		COOL WHITE	4000	95.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 30W/865 ES SLV/27	30	2600		COOL DAYLIGHT	6500	86.67
PHILIPS FLURESCENT TL-D10W/54 SLV/50	10	425	72	DAYLIGHT	6200	42.50
PHILIPS FLURESCENT TL-D18W/33 SLV/25	18	1150	63	COOL WHITE	4100	63.89
PHILIPS FLURESCENT TL-D18W/54 SLV/25	18	1030	72	DAYLIGHT	6200	57.22
PHILIPS FLURESCENT TL-D 30W/33 SLV/25	30	2100	63	COOL WHITE	4100	70.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D 30W/54 SLV/25	30	1825	72	DAYLIGHT	6200	60.83

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS FLURESCENT TL-D 36W/33 SLV/25	36	2850	63	COOL WHITE	4100	79.17
PHILIPS FLURESCENT TL-D 36W/54 SLV/25	36	2600	72	DAYLIGHT	6200	72.22
PHILIPS FLURESCENT TL-D 58W/33 SLV/25	58	4600	63	COOL WHITE	4100	79.31
PHILIPS FLURESCENT TL-D 58W/54 SLV/25	58	4000	72	DAYLIGHT	6200	68.97
PHILIPS FLURESCENT TL-E 22W/54 1CT/20	22	425	72	DAYLIGHT	6200	19.32
PHILIPS FLURESCENT TL-E 30W/54 1CT/20	30	1410	72	DAYLIGHT	6200	47.00
PHILIPS FLURESCENT TL-E 32W/54 1CT/20	32	1810	72	DAYLIGHT	6200	56.56
PHILIPS FLURESCENT TL-E 40W/54 1CT/20	40	2470	72	DAYLIGHT	6200	61.75
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 18W/830 SLV/25	18	1350	85	WARM WHITE	3000	75.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 18W/840 SLV/25	18	1350	85	COOL WHITE	4000	75.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 18W/865 SLV/25	18	1300	85	COOL DAYLIGHT	6500	72.22
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 30W/830 ES SLV/25	30	2400	85	WARM WHITE	3000	80.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 30W/840 ES SLV/25	30	2400	85	COOL WHITE	4000	80.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 30W/865 ES SLV/25	30	2300	85	COOL DAYLIGHT	6500	76.67
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 36W/830 SLV/25	36	3350	85	WARM WHITE	3000	93.06
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 36W/840 SLV/25	36	3350	85	COOL WHITE	4000	93.06
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 36W/865 SLV/25	36	3250	85	COOL DAYLIGHT	6500	90.28
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 58W/830 SLV/25	58	5200	85	WARM WHITE	3000	89.66
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 58W/840 SLV/25	58	5200	85	COOL WHITE	4000	89.66
PHILIPS FLURESCENT TL-D Super 80 58W/865 SLV/25	58	5000	85	COOL DAYLIGHT	6500	86.21

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS FLURESCENT TL-E 32W/830 1CT/20	32	2375	85	WARM WHITE	3000	74.22
PHILIPS FLURESCENT TL-E 32W/840 1CT/20	32	2375	85	COOL WHITE	4000	74.22
PHILIPS FLURESCENT TL-E 32W/865 1CT/20	32	2310	85	COOL DAYLIGHT	6500	72.19
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 18W/930 SLV/25	18	1100	92	WARM WHITE	3000	61.11
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 18W/940 SLV/25	18	1200	91	COOL WHITE	4000	66.67
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 18W/965 SLV/25	18	1150	93	COOL DAYLIGHT	6500	63.89
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 36W/930 SLV/25	36	2700	92	WARM WHITE	3000	75.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 36W/940 SLV/25	36	2800	91	COOL WHITE	4000	77.78
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 36W/965 SLV/25	36	2800	93	COOL DAYLIGHT	6500	77.78
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 58W/930 SLV/25	58	4350	92	WARM WHITE	3000	75.00
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 58W/940 SLV/25	58	4600	91	COOL WHITE	4000	79.31
PHILIPS FLURESCENT TL-D 90 DE LUXE 58W/965 SLV/25	58	4550	93	COOL DAYLIGHT	6500	78.45
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 14W/840.SLV/40	14	1200	85	COOL WHITE	4000	85.71
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 14W/865.SLV/40	14	1100	85	COOL DAYLIGHT	6500	78.57
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 21W/840.SLV/40	21	1900	85	COOL WHITE	4000	90.48
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 21W/865.SLV/40	21	1750	85	COOL DAYLIGHT	6500	83.33
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 28W/840.SLV/40	28	2600	85	COOL WHITE	4000	92.86
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 28W/865.SLV/40	28	2400	85	COOL DAYLIGHT	6500	85.71
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 14W/827.SLV/40	14	1200	85	INCAND. WHITE	2700	85.71
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 14W/830.SLV/40	14	1200	85	WARM WHITE	3000	85.71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 14W/840.SLV/40	14	1200	85	COOL WHITE	4000	85.71
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 14W/865.SLV/40	14	1100	85	COOL DAYLIGHT	6500	78.57
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 21W/827.SLV/40	21	1900	85	INCAND. WHITE	2700	90.48
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 21W/830.SLV/40	21	1900	85	WARM WHITE	3000	90.48
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 21W/840.SLV/40	21	1900	85	COOL WHITE	4000	90.48
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 21W/865.SLV/40	21	1750	85	COOL DAYLIGHT	6500	83.33
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 28W/827.SLV/40	28	2600	85	INCAND. WHITE	2700	92.86
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 28W/830.SLV/40	28	2600	85	WARM WHITE	3000	92.86
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 28W/840.SLV/40	28	2600	85	COOL WHITE	4000	92.86
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 28W/865.SLV/40	28	2400	85	COOL DAYLIGHT	6500	85.71
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 35W/827.SLV/40	35	3300	85	INCAND. WHITE	2700	94.29
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 35W/830.SLV/40	35	3300	85	WARM WHITE	3000	94.29
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 35W/840.SLV/40	35	3300	85	COOL WHITE	4000	94.29
PHILIPS FLURESCENT TL5 HE 35W/865.SLV/40	35	3100	85	COOL DAYLIGHT	6500	88.57
PHILIPS FLURESCENT TL-X XL20W/33.SLV/25	20	1000	63			50.00
PHILIPS FLURESCENT TL-X XL40W/33.SLV/25	40	2350	63			58.75
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 8W WW E27 CP/12	8	400	85	WARM WHITE	2700	50.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 8W CDL E27 CP/12	8	380	85	COOL DAYLIGHT	6500	47.50
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 14W WW E27 CP/12	14	800	85	WARM WHITE	2700	57.14
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 14W CDL E27 CP/12	14	760	85	COOL DAYLIGHT	6500	54.29

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 18W WW E27 CP/12	18	1100	85	WARM WHITE	2700	61.11
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 18W CDL E27 CP/12	18	1040	85	COOL DAYLIGHT	6500	57.78
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 23W WW E27 CP/12	23	1500	85	WARM WHITE	2700	65.22
PHILIPS COMPACT FLURESCENT ESSENTIAL 23W CDL E27 CP/12	23	1420	85	COOL DAYLIGHT	6500	61.74
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 5W WW E14 CP/48	5	235	85	WARM WHITE	2700	47.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 5W CDL E14 CP/48	5	220	85	COOL DAYLIGHT	6500	44.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 5W WW E27 CP/48	5	235	85	WARM WHITE	2700	47.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 5W CDL E27 CP/48	5	220	85	COOL DAYLIGHT	6500	44.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE8W WW E27 CP/48	8	420	85	WARM WHITE	2700	52.50
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 8W CDL E27 CP/48	8	400	85	COOL DAYLIGHT	6500	50.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 11W WW E27 CP/48	11	600	85	WARM WHITE	2700	54.55
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 11W CDL E27 CP/48	11	570	85	COOL DAYLIGHT	6500	51.82
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 14W WW E27 CP/48	14	800	85	WARM WHITE	2700	57.14
PHILIPS COMPACT FLURESCENT GENIE 14W CDL E27 CP/48	14	760	85	COOL DAYLIGHT	6500	54.29
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 11W WW E27 CP/12	11	700	85	WARM WHITE	2700	63.64
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 11W CDL E27 CP/12	11	660	85	COOL DAYLIGHT	6500	60.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 15W WW E27 CP/12	15	1000	85	WARM WHITE	2700	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 15W CDL E27 CP/12	15	950	85	COOL DAYLIGHT	6500	63.33
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 20W WW E27 CP/12	20	1350	85	WARM WHITE	2700	67.50
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 20W CDL E27 CP/12	20	1250	85	COOL DAYLIGHT	6500	62.50

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 23W WW E27 CP/12	23	1550	85	WARM WHITE	2700	67.39
PHILIPS COMPACT FLURESCENT TND 23W CDL E27 CP/12	23	1450	85	COOL DAYLIGHT	6500	63.04
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 10W/827/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	10	600	>80	INCAND. WHITE	2700	60.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 10W/830/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	10	600	>80	WARM WHITE	3000	60.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 10W/840/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	10	600	>80	COOL WHITE	4000	60.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 10W/865/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	10	600	>80	COOL DAYLIGHT	6500	60.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 13W/827/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	13	900	>80	INCAND. WHITE	2700	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 13W/830/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	13	900	>80	WARM WHITE	3000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 13W/840/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	13	900	>80	COOL WHITE	4000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 13W/865/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	13	900	>80	COOL DAYLIGHT	6500	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 18W/827/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	18	1200	>80	INCAND. WHITE	2700	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 18W/830/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	18	1200	>80	WARM WHITE	3000	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 18W/840/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	18	1200	>80	COOL WHITE	4000	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 18W/865/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	18	1200	>80	COOL DAYLIGHT	6500	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 26W/827/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	26	1800	>80	INCAND. WHITE	2700	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 26W/830/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	26	1800	>80	WARM WHITE	3000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 26W/840/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	26	1800	>80	COOL WHITE	4000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 26W/865/2P 1CT/5X10BOX (no ballast	26	1800	>80	COOL DAYLIGHT	6500	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 10W/827/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	10	600	>80	INCAND. WHITE	2700	60.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 10W/830/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	10	600	>80	WARM WHITE	3000	60.00

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 10W/840/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	10	600	>80	COOL WHITE	4000	60.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 13W/827/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	13	900	>80	INCAND. WHITE	2700	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 13W/830/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	13	900	>80	WARM WHITE	3000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 13W/840/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	13	900	>80	COOL WHITE	4000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 18W/827/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	18	1200	>80	INCAND. WHITE	2700	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 18W/830/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	18	1200	>80	WARM WHITE	3000	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 18W/840/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	18	1200	>80	COOL WHITE	4000	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 26W/827/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	26	1800	>80	INCAND. WHITE	2700	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 26W/830/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	26	1800	>80	WARM WHITE	3000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-C 26W/840/4P 1CT/5X10BOX (no ballast	26	1800	>80	COOL WHITE	4000	69.23
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 7W/827/2P UNP/25 (no ballast)	7	400	>80	WARM WHITE	2700	57.14
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 7W/840/2P UNP/25 (no ballast)	7	400	>80	COOL WHITE	4000	57.14
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 7W/865/2P UNP/25 (no ballast)	7	400	>80	COOL DAYLIGHT	6500	57.14
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 9W/827/2P UNP/25 (no ballast)	9	600	>80	WARM WHITE	2700	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 9W/840/2P UNP/25 (no ballast)	9	600	>80	COOL WHITE	4000	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 9W/865/2P UNP/25 (no ballast)	9	600	>80	COOL DAYLIGHT	6500	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 11W/827/2P UNP/25 (no ballast)	11	900	>80	WARM WHITE	2700	81.82
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 11W/840/2P UNP/25 (no ballast)	11	900	>80	COOL WHITE	4000	81.82
PHILIPS COMPACT FLURESCENT PL-S 11W/865/2P UNP/25 (no ballast)	11	900	>80	COOL DAYLIGHT	6500	81.82
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 18W/830/4P 1CT/25 (no ballast)	18	1200	>80	WARM WHITE	3000	66.67

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 18W/840/4P 1CT/25 (no ballast)	18	1200	>80	COOL WHITE	4000	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 18W/865/4P 1CT/25 (no ballast)	18	1200	>80	COOL DAYLIGHT	6500	66.67
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 24W/830/4P 1CT/25 (no ballast)	24	1800	>80	WARM WHITE	3000	75.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 24W/840/4P 1CT/25 (no ballast)	24	1800	>80	COOL WHITE	4000	75.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 24W/865/4P 1CT/25 (no ballast)	24	1800	>80	COOL DAYLIGHT	6500	75.00
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 36W/830/4P 1CT/25 (no ballast)	36	2900	>80	WARM WHITE	3000	80.56
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 36W/840/4P 1CT/25 (no ballast)	36	2900	>80	COOL WHITE	4000	80.56
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 36W/865/4P 1CT/25 (no ballast)	36	2900	>80	COOL DAYLIGHT	6500	80.56
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 55W/830/4P 1CT/25 (no ballast)	55	4800	>80	WARM WHITE	3000	87.27
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 55W/840/4P 1CT/25 (no ballast)	55	4800	>80	COOL WHITE	4000	87.27
PHILIPS COMPACT FLURESCENT MASTER PL-L 55W/865/4P 1CT/25 (no ballast)	55	4800	>80	COOL DAYLIGHT	6500	87.27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 15	15	90	100			6.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 25	25	220	100			8.80
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 40	40	420	100			10.50
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 60	60	710	100			11.83
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 75	75	940	100			12.53
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 100	100	1360	100			13.60
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 150	150	2160	100			14.40
OSRAM INCANDESCENT CLAS A CL 200	200	3040	100			15.20
OSRAM INCANDESCENT CLAS B CL 15	15	90	100			6.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS B CL 25	25	200	100			8.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS B CL 40	40	400	100			10.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS B CL 60	60	660	100			11.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS P CL 15	15	90	100			6.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS P CL 25	25	200	100			8.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS P CL 40	40	400	100			10.00
OSRAM INCANDESCENT CLAS P CL 60	60	660	100			11.00
OSRAM INCANDESCENT SUPER E SIL 25	25	240	100			9.60
OSRAM INCANDESCENT SUPER E SIL 40	40	455	100			11.38
OSRAM INCANDESCENT SUPER E SIL 60	60	760	100			12.67
OSRAM INCANDESCENT SUPER E SIL 75	75	1000	100			13.33

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM INCANDESCENT SUPER E SIL 100	100	1420	100			14.20
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 3W/827 E14	3	100	80-89	WARM WHITE	2700	33.33
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 5W/827 E14	5	240	80-89	WARM WHITE	2700	48.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 7W/827 E14	7	400	80-89	WARM WHITE	2700	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 11W/827 E14	11	630	80-89	WARM WHITE	2700	57.27
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 5W/827 E27	5	240	80-89	WARM WHITE	2700	48.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 7W/827 E27	7	400	80-89	WARM WHITE	2700	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 11W/827 E27	11	630	80-89	WARM WHITE	2700	57.27
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 15W/827 E27	15	900	80-89	WARM WHITE	2700	60.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 20W/827 E27	20	1200	80-89	WARM WHITE	2700	60.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 23W/827 E27	23	1500	80-89	WARM WHITE	2700	65.22
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL LL 30W/827 E27	30	1900	80-89	WARM WHITE	2700	63.33
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO 8W/827 E14	8	400	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO 12W/827 E14	12	600	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO 8W/827 E27	8	400	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO 12W/827 E27	12	600	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO 16W/827 E27	16	900	80-89	WARM WHITE	2700	56.25
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO 21W/827 E27	21	1200	80-89	WARM WHITE	2700	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO 24W/827 E27	24	1500	80-89	WARM WHITE	2700	62.50
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL CL B 5W/827 E14	5	140	80-89	WARM WHITE	2700	28.00

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL CL A 5W/827 E27	5	150	80-89	WARM WHITE	2700	30.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL CL B 7W/827 E14	7	280	80-89	WARM WHITE	2700	40.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL CL A 7W/827 E27	7	320	80-89	WARM WHITE	2700	45.71
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL CL A 10W/827 E27	10	500	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL CL A 15W/827 E27	15	800	80-89	WARM WHITE	2700	53.33
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL CL A 20W/827 E27	20	1160	80-89	WARM WHITE	2700	58.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO CL A 5W/827 E27	5	200	80-89	WARM WHITE	2700	40.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO CL B 5W/827 E14	5	160	80-89	WARM WHITE	2700	32.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO CL A 7W/827 E27	7	350	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO CL B 7W/827 E14	7	280	80-89	WARM WHITE	2700	40.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO CL B 9W/827 E14	9	340	80-89	WARM WHITE	2700	37.78
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO CL A 10W/827 E27	10	500	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO CL A 15W/827 E27	15	800	80-89	WARM WHITE	2700	53.33
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL GL 15W/827	15	700	80-89	WARM WHITE	2700	46.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL GL 20W/827	20	1100	80-89	WARM WHITE	2700	55.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO GL 16W/827	16	700	80-89	WARM WHITE	2700	43.75
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL ECO GL 21W/827	21	1100	80-89	WARM WHITE	2700	52.38
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL VAR 20W/827 E27	20	1500	80-89	WARM WHITE	2700	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL VAR 23W/827 E27	23	1200	80-89	WARM WHITE	2700	52.17
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL FCY 10W/827 E27	10	500	80-89	WARM WHITE	2700	50.00

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL FCY 10W/827 E14	10	500	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL FCY 14W/827 E27	14	800	80-89	WARM WHITE	2700	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX EL FCY 18W/827 E27	18	1100	80-89	WARM WHITE	2700	61.11
OSRAM COMPACT FLUORESCENT CIRCOLUX EL 24W/827	24	1700	80-89	WARM WHITE	2700	70.83
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 13W/840 PLUS	13	900	80-89	COOL WHITE	4000	69.23
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 13W/830 PLUS	13	900	80-89	WARM WHITE	3000	69.23
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 13W/827 PLUS	13	900	80-89	WARM WHITE	2700	69.23
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 18W/840 PLUS	18	1200	80-89	COOL WHITE	4000	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 18W/830 PLUS	18	1200	80-89	WARM WHITE	3000	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 18W/827 PLUS	18	1200	80-89	WARM WHITE	2700	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 26W/840 PLUS	26	1800	80-89	COOL WHITE	4000	69.23
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 26W/830 PLUS	26	1800	80-89	WARM WHITE	3000	69.23
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T 26W/827 PLUS	26	1800	80-89	WARM WHITE	2700	69.23
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 32W/840 PLUS	32	2400	80-89	COOL WHITE	4000	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 32W/830 PLUS	32	2400	80-89	WARM WHITE	3000	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 32W/827 PLUS	32	2400	80-89	WARM WHITE	2700	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 42W/840 PLUS	42	3200	80-89	COOL WHITE	4000	76.19
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 42W/830 PLUS	42	3200	80-89	WARM WHITE	3000	76.19
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 42W/827 PLUS	42	3200	80-89	WARM WHITE	2700	76.19
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 57W/840 PLUS	57	4300	80-89	COOL WHITE	4000	75.44

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 57W/830 PLUS	57	4300	80-89	WARM WHITE	3000	75.44
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 57W/827 PLUS	57	4300	80-89	WARM WHITE	2700	75.44
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 70W/840 PLUS	70	5200	80-89	COOL WHITE	4000	74.29
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX T/E 70W/830 PLUS	70	5200	80-89	WARM WHITE	3000	74.29
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 5W/840	5	250	80-89	COOL WHITE	4000	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 5W/830	5	250	80-89	WARM WHITE	3000	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 5W/827	5	250	80-89	WARM WHITE	2700	50.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 7W/860	7	375	80-89	DAYLIGHT	6000	53.57
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 7W/840	7	400	80-89	COOL WHITE	4000	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 7W/830	7	400	80-89	WARM WHITE	3000	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 7W/827	7	400	80-89	WARM WHITE	2700	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 7W/827 BLI	7	400	80-89	WARM WHITE	2700	57.14
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 9W/860	9	565	80-89	DAYLIGHT	6000	62.78
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 9W/840	9	600	80-89	COOL WHITE	4000	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 9W/830	9	600	80-89	WARM WHITE	3000	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 9W/827	9	600	80-89	WARM WHITE	2700	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 9W/827 BLI	9	600	80-89	WARM WHITE	2700	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 11W/860	11	850	80-89	DAYLIGHT	6000	77.27
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 11W/840	11	900	80-89	COOL WHITE	4000	81.82
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 11W/830	11	900	80-89	WARM WHITE	3000	81.82

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 11W/827	11	900	80-89	WARM WHITE	2700	81.82
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX S 11W/827 BLI	11	900	80-89	WARM WHITE	2700	81.82
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 18W/840	18	1200	80-89	COOL WHITE	4000	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 18W/830	18	1200	80-89	WARM WHITE	3000	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 18W/827	18	1200	80-89	WARM WHITE	2700	66.67
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 24W/840	24	1800	80-89	COOL WHITE	4000	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 24W/830	24	1800	80-89	WARM WHITE	3000	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 24W/827	24	1800	80-89	WARM WHITE	2700	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 36W/860	36	2750	80-89	DAYLIGHT	6000	76.39
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 36W/840	36	2900	80-89	COOL WHITE	4000	80.56
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 36W/830	36	2900	80-89	WARM WHITE	3000	80.56
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 36W/827	36	2900	80-89	WARM WHITE	2700	80.56
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 40W/860	40	3325	80-89	DAYLIGHT	6000	83.13
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 40W/840	40	3500	80-89	COOL WHITE	4000	87.50
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 40W/830	40	3500	80-89	WARM WHITE	3000	87.50
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 40W/827	40	3500	80-89	WARM WHITE	2700	87.50
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 55W/860	55	4550	80-89	DAYLIGHT	6000	82.73
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 55W/840	55	4800	80-89	COOL WHITE	4000	87.27
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 55W/830	55	4800	80-89	WARM WHITE	3000	87.27
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 55W/827	55	4800	80-89	WARM WHITE	2700	87.27

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 80W/840	80	6000	80-89	COOL WHITE	4000	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX L 80W/830	80	6000	80-89	WARM WHITE	3000	75.00
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 18W/840	18	1100	80-89	COOL WHITE	4000	61.11
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 18W/830	18	1100	80-89	WARM WHITE	3000	61.11
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 18W/827	18	1100	80-89	WARM WHITE	2700	61.11
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 24W/840	24	1700	80-89	COOL WHITE	4000	70.83
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 24W/830	24	1700	80-89	WARM WHITE	3000	70.83
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 24W/827	24	1700	80-89	WARM WHITE	2700	70.83
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 36W/840	36	2800	80-89	COOL WHITE	4000	77.78
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 36W/830	36	2800	80-89	WARM WHITE	3000	77.78
OSRAM COMPACT FLUORESCENT DULUX F 36W/827	36	2800	80-89	WARM WHITE	2700	77.78
OSRAM FLUORESCENT FH 14W/865 HE T5	14	1100	80-89	DAYLIGHT	6500	78.57
OSRAM FLUORESCENT FH 14W/840 HE T5	14	1200	80-89	COOL WHITE	4000	85.71
OSRAM FLUORESCENT FH 14W/830 HE T5	14	1200	80-89	WARM WHITE	3000	85.71
OSRAM FLUORESCENT FH 14W/827 HE T5	14	1200	80-89	WARM WHITE	2700	85.71
OSRAM FLUORESCENT FH 21W/865 HE T5	21	1750	80-89	DAYLIGHT	6500	83.33
OSRAM FLUORESCENT FH 21W/840 HE T5	21	1900	80-89	COOL WHITE	4000	90.48
OSRAM FLUORESCENT FH 21W/830 HE T5	21	1900	80-89	WARM WHITE	3000	90.48
OSRAM FLUORESCENT FH 21W/827 HE T5	21	1900	80-89	WARM WHITE	2700	90.48
OSRAM FLUORESCENT FH 28W/865 HE T5	28	2400	80-89	DAYLIGHT	6500	85.71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM FLUORESCENT FH 28W/840 HE T5	28	2600	80-89	COOL WHITE	4000	92.86
OSRAM FLUORESCENT FH 28W/830 HE T5	28	2600	80-89	WARM WHITE	3000	92.86
OSRAM FLUORESCENT FH 28W/827 HE T5	28	2600	80-89	WARM WHITE	2700	92.86
OSRAM FLUORESCENT FH 35W/865 HE T5	35	3050	80-89	DAYLIGHT	6500	87.14
OSRAM FLUORESCENT FH 35W/840 HE T5	35	3300	80-89	COOL WHITE	4000	94.29
OSRAM FLUORESCENT FH 35W/830 HE T5	35	3300	80-89	WARM WHITE	3000	94.29
OSRAM FLUORESCENT FH 35W/827 HE T5	35	3300	80-89	WARM WHITE	2700	94.29
OSRAM FLUORESCENT FQ 24W/865 HO T5	24	1600	80-89	DAYLIGHT	6500	66.67
OSRAM FLUORESCENT FQ 24W/840 HO T5	24	1750	80-89	COOL WHITE	4000	72.92
OSRAM FLUORESCENT FQ 24W/830 HO T5	24	1750	80-89	WARM WHITE	3000	72.92
OSRAM FLUORESCENT FQ 24W/827 HO T5	24	1750	80-89	WARM WHITE	2700	72.92
OSRAM FLUORESCENT FQ 39W/865 HO T5	39	2850	80-89	DAYLIGHT	6500	73.08
OSRAM FLUORESCENT FQ 39W/840 HO T5	39	3100	80-89	COOL WHITE	4000	79.49
OSRAM FLUORESCENT FQ 39W/830 HO T5	39	3100	80-89	WARM WHITE	3000	79.49
OSRAM FLUORESCENT FQ 39W/827 HO T5	39	3100	80-89	WARM WHITE	2700	79.49
OSRAM FLUORESCENT FQ 49W/840 HO T5	49	4300	80-89	COOL WHITE	4000	87.76
OSRAM FLUORESCENT FQ 49W/830 HOT5	49	4300	80-89	WARM WHITE	3000	87.76
OSRAM FLUORESCENT FQ 49W/827 HO T5	49	4300	80-89	WARM WHITE	2700	87.76
OSRAM FLUORESCENT FQ 54W/865 HO T5	54	4050	80-89	DAYLIGHT	6500	75.00
OSRAM FLUORESCENT FQ 54W/840 HO T5	54	4450	80-89	COOL WHITE	4000	82.41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM FLUORESCENT FQ 54W/830 HO T5	54	4450	80-89	WARM WHITE	3000	82.41
OSRAM FLUORESCENT FQ 54W/827 HO T5	54	4450	80-89	WARM WHITE	2700	82.41
OSRAM FLUORESCENT FQ 80W/865 HO T5	80	5700	80-89	DAYLIGHT	6500	71.25
OSRAM FLUORESCENT FQ 80W/840 HO T5	80	6150	80-89	COOL WHITE	4000	76.88
OSRAM FLUORESCENT FQ 80W/830 HO T5	80	6150	80-89	WARM WHITE	3000	76.88
OSRAM FLUORESCENT FQ 80W/827 HO T5	80	6150	80-89	WARM WHITE	2700	76.88
OSRAM FLUORESCENT FQ 24W/940 T5	24	1400	>90	COOL WHITE	3800	58.33
OSRAM FLUORESCENT FQ 24W/965 T5	24	1300	>90	DAYLIGHT	6500	54.17
OSRAM FLUORESCENT FQ 49W/940 T5	49	3500	>90	COOL WHITE	3800	71.43
OSRAM FLUORESCENT FQ 49W/965 T5	49	3450	>90	DAYLIGHT	6500	70.41
OSRAM FLUORESCENT FQ 54W/940 T5	54	3500	>90	COOL WHITE	3800	64.81
OSRAM FLUORESCENT FQ 54W/965 T5	54	3450	>90	DAYLIGHT	6500	63.89
OSRAM FLUORESCENT FC 22W/865 T5	22	1700	80-89	DAYLIGHT	6500	77.27
OSRAM FLUORESCENT FC 22W/840 T5	22	1800	80-89	COOL WHITE	4000	81.82
OSRAM FLUORESCENT FC 22W/830 T5	22	1800	80-89	WARM WHITE	3000	81.82
OSRAM FLUORESCENT FC 22W/827 T5	22	1800	80-89	WARM WHITE	2700	81.82
OSRAM FLUORESCENT FC 40W/865 T5	40	3000	80-89	DAYLIGHT	6500	75.00
OSRAM FLUORESCENT FC 40W/840 T5	40	3200	80-89	COOL WHITE	4000	80.00
OSRAM FLUORESCENT FC 40W/830 T5	40	3200	80-89	WARM WHITE	3000	80.00
OSRAM FLUORESCENT FC 40W/827 T5	40	3200	80-89	WARM WHITE	2700	80.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM FLUORESCENT FC 55W/865 T5	55	3800	80-89	DAYLIGHT	6500	69.09
OSRAM FLUORESCENT FC 55W/840 T5	55	4200	80-89	COOL WHITE	4000	76.36
OSRAM FLUORESCENT FC 55W/830 T5	55	4200	80-89	WARM WHITE	3000	76.36
OSRAM FLUORESCENT FC 55W/827 T5	55	4200	80-89	WARM WHITE	2700	76.36
OSRAM FLUORESCENT L 10W/827 T8	10	650	80-89	WARM WHITE	2700	65.00
OSRAM FLUORESCENT L 15W/840 T8	15	950	80-89	COOL WHITE	4000	63.33
OSRAM FLUORESCENT L 15W/830 T8	15	950	80-89	WARM WHITE	3000	63.33
OSRAM FLUORESCENT L 15W/827 T8	15	950	80-89	WARM WHITE	2700	63.33
OSRAM FLUORESCENT L 16W/840 T8	16	1250	80-89	COOL WHITE	4000	78.13
OSRAM FLUORESCENT L 16W/827 T8	16	1250	80-89	WARM WHITE	2700	78.13
OSRAM FLUORESCENT L 18W/865 T8	18	1300	80-89	DAYLIGHT	6500	72.22
OSRAM FLUORESCENT L 18W/840 T8	18	1350	80-89	COOL WHITE	4000	75.00
OSRAM FLUORESCENT L 18W/830 T8	18	1350	80-89	WARM WHITE	3000	75.00
OSRAM FLUORESCENT L 18W/827 T8	18	1350	80-89	WARM WHITE	2700	75.00
OSRAM FLUORESCENT L 30W/865 T8	30	2350	80-89	DAYLIGHT	6500	78.33
OSRAM FLUORESCENT L 30W/840 T8	30	2400	80-89	COOL WHITE	4000	80.00
OSRAM FLUORESCENT L 30W/830 T8	30	2400	80-89	WARM WHITE	3000	80.00
OSRAM FLUORESCENT L 30W/827 T8	30	2400	80-89	WARM WHITE	2700	80.00
OSRAM FLUORESCENT L 36W/865 T8	36	3250	80-89	DAYLIGHT	6500	90.28
OSRAM FLUORESCENT L 36W/840 T8	36	3350	80-89	COOL WHITE	4000	93.06

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM FLUORESCENT L 36W/830 T8	36	3350	80-89	WARM WHITE	3000	93.06
OSRAM FLUORESCENT L 36W/827 T8	36	3350	80-89	WARM WHITE	2700	93.06
OSRAM FLUORESCENT L 38W/840 T8	38	3300	80-89	COOL WHITE	4000	86.84
OSRAM FLUORESCENT L 38W/830 T8	38	3300	80-89	WARM WHITE	3000	86.84
OSRAM FLUORESCENT L 58W/865 T8	58	5000	80-89	DAYLIGHT	6500	86.21
OSRAM FLUORESCENT L 58W/840 T8	58	5200	80-89	COOL WHITE	4000	89.66
OSRAM FLUORESCENT L 58W/830 T8	58	5200	80-89	WARM WHITE	3000	89.66
OSRAM FLUORESCENT L 58W/827 T8	58	5200	80-89	WARM WHITE	2700	89.66
OSRAM FLUORESCENT L 15W/954 T8	15	680	>90	DAYLIGHT	5400	45.33
OSRAM FLUORESCENT L 15W/930 T8	15	650	>90	WARM WHITE	3000	43.33
OSRAM FLUORESCENT L 16W/930 T8	16	850	>90	WARM WHITE	3000	53.13
OSRAM FLUORESCENT L 18W/954 T8	18	1000	>90	DAYLIGHT	5400	55.56
OSRAM FLUORESCENT L 18W/940 T8	18	950	>90	COOL WHITE	3800	52.78
OSRAM FLUORESCENT L 18W/930 T8	18	900	>90	WARM WHITE	3000	50.00
OSRAM FLUORESCENT L 30W/930 T8	30	1600	>90	WARM WHITE	3000	53.33
OSRAM FLUORESCENT L 36W/954 T8	36	2250	>90	DAYLIGHT	5400	62.50
OSRAM FLUORESCENT L 36W/940 T8	36	2200	>90	COOL WHITE	3800	61.11
OSRAM FLUORESCENT L 36W/930 T8	36	2100	>90	WARM WHITE	3000	58.33
OSRAM FLUORESCENT L 58W/954 T8	58	3700	>90	DAYLIGHT	5400	63.79
OSRAM FLUORESCENT L 58W/940 T8	58	3600	>90	COOL WHITE	3800	62.07

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของหลอดไฟ	วัตต์	ลูเมน	Ra	สี	อุณหภูมิสี	ประสิทธิผล
OSRAM FLUORESCENT L 58W/930 T8	58	3500	>90	WARM WHITE	3000	60.34
OSRAM FLUORESCENT L 18W/965 T8	18	1000	>90	DAYLIGHT	6500	55.56
OSRAM FLUORESCENT L 30W/965 T8	30	1600	>90	DAYLIGHT	6500	53.33
OSRAM FLUORESCENT L 36W/965 T8	36	2300	>90	DAYLIGHT	6500	63.89
OSRAM FLUORESCENT L 58W/965 T8	58	3700	>90	DAYLIGHT	6500	63.79
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 22W/840 C	22	1350	80-89	COOL WHITE	4000	61.36
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 22W/827 C	22	1350	80-89	WARM WHITE	2700	61.36
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 32W/840 C	32	2050	80-89	COOL WHITE	4000	64.06
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 32W/827 C	32	2050	80-89	WARM WHITE	2700	64.06
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 40W/840 C	40	2900	80-89	COOL WHITE	4000	72.50
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 40W/827 C	40	2900	80-89	WARM WHITE	2700	72.50
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 22W/740 C	22	1000	70-79	COOL WHITE	4000	45.45
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 32W/740 C	32	1700	70-79	COOL WHITE	4000	53.13
OSRAM CIRCULAR FLUORESCENT L 40W/740 C	40	2300	70-79	COOL WHITE	4000	57.50
OSRAM U - SHAPED FLUORESCENT L 18W/740 U	18	950	70-79	COOL WHITE	4000	52.78
OSRAM U - SHAPED FLUORESCENT L 36W/740 U	36	2400	70-79	COOL WHITE	4000	66.67
OSRAM U - SHAPED FLUORESCENT L 36W/530 U	36	2700	50-59	WARM WHITE	3000	75.00
OSRAM U - SHAPED FLUORESCENT L 58W/740 U	58	3900	70-79	COOL WHITE	4000	67.24
OSRAM U - SHAPED FLUORESCENT L 58W/530 U	58	4500	50-59	WARM WHITE	3000	77.59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเอกนรินทร์ อ่อนนุช เกิดเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดลพบุรี ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยรังสิต ปีการศึกษา2544 และสำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา2548

2546-2547 เป็นผู้ช่วยวิจัยโครงการ การศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย