สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

EXPERT SYSTEM FOR INTERIOR LIGHTING DESIGN

โดย

นายณัฐพงศ์ ศาสนนันทน์

นายทศเอก ตันสกุล

นายธณัฐพงศ์ จริยะโสภิต

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...36992
วัน, เดือน, ปี...30 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร
EXPERT SYSTEM FOR INTERIOR LIGHTING DESIGN

โดย

นายณัฐพงศ์ ศาสนนันทน์

นายทศเอก ตันสกุล

นายธณัฐพงศ์ จริยะโสภิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศุลี บรรจงจิตร

อ.ชาย ชมภูอินไหว

อ.เชาว์ ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

คณะผู้จัดทำ

1. นายณัฐพงศ์ ศาสนนันทน์
2. นายทศเอก ตันสกุล
3. นายธณัฐพงศ์ จริยะโสภิต

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.สุลี บรรจงจิตร)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ชาย ชมภูอินไหว)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.เชาว์ ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

นายณัฐพงศ์ ศาสนนันทน์
นายทศเอก ตันสกุล
นายธณัฐพงศ์ จริยะโสภิต
รศ. ศุลี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรมอย่างแพร่หลาย การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารนั้น จำเป็นต้องมีโปรแกรมช่วยในการคำนวณเพื่อช่วยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ไม่เพียงเพิ่มความรวดเร็วเท่านั้น แต่ยังทำให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น สำหรับโครงงานนี้มีลักษณะเป็นโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าความส่องสว่าง ภายในห้องโดยใช้ทฤษฎี Point by Point เพื่อช่วยตรวจสอบการออกแบบ และยังมีส่วนที่ทำการออกแบบโดยใช้ทฤษฎี Applied Method ของ CIE ทั้งสองส่วนของโปรแกรมนั้นได้มีการนำข้อมูลทางแสง(IES File) ซึ่งมีข้อมูลความเข้มการส่องสว่าง และข้อมูลอื่นที่จำเป็นในการคำนวณทั้งหมด มาเป็นฐานข้อมูลของดวงโคม เพื่อใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERT SYSTEM FOR INTERIOR LIGHTING DESIGN

Nuttapong Sassananun
Thodsaeak Tunsakul
Thanutpong Jariyasopit
Assoc. Prof. Sulee Bunjongjit Adviser
Lecturer. Chai Chompoo-inwai Adviser
Lecturer. Chow Chompoo-inwai Adviser
1999

Abstract

In recent year, we have considered a computer as an important tool for many calculations in engineering fields. Interior Lighting Design is one of those which can apply a computer for the calculation in order to increase the efficiency not only speed of calculation but also accuracy.This project is the program which calculates illuminance in each point of any room using Point by Point theory to examine designed lighting and also lighting design using Applied Method of CIE. Those method require all database of luminous intensity, dimension and others important data of lamp and luminaire for processing from the IES file.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III-IV
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง	3
2.2 ลักษณะของหลอดไฟแต่ละชนิด	9
2.3 ลักษณะของแฟ้มข้อมูลแบบ IES	19
2.4 การคำนวณโดยวิธี Point by Point	29
2.5 การคำนวณโดยวิธี Applied Method ของ CIE	31
2.6 การออกแบบระบบแสงสว่าง	43
บทที่ 3 แนวคิดและวิธีใช้งานโปรแกรม	54
3.1 แนวคิดการออกแบบโปรแกรม	54
3.2 วิธีการใช้งานโปรแกรม DooLux2000	58
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง	66
4.1 ขั้นตอนการทดลอง	66
4.2 ผลการทดลอง	67
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและวิจารณ์การทำงาน	73
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แสดงรูปคลื่น 3

รูปที่ 2.2 แสดงถึงสเปคตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า 4

รูปที่ 2.3 แสดงความเข้มแสง 7

รูปที่ 2.4 แสดง CCT 8

รูปที่ 2.5 แสดงลำอิเล็คตรอนหรืออาร์คซึ่งเคลื่อนผ่านไอปรอท ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ 10

รูปที่ 2.6 แสดงหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 11

รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 13

รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง 15

รูปที่ 2.9 แสดงการต่อขั้วอิเล็คโทรด 16

รูปที่ 2.10 แสดงหลอดโซเดียมความดันสูงชนิดเก็บสารผสมโซเดียมเก็บหลอดไว้ในกระเปาะ 18

รูปที่ 2.11 แสดงการคำนวณแบบธรรมดาและแบบมีมุมโคซายน์ โดยวิธี Inverse Square Laws 30

รูปที่ 2.12 การบอกการกระจายแสงของดวงโคมในรูป Flux Code 31

รูปที่ 2.13 การบอกการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของโซนอลฟลักซ์ 32

รูปที่ 2.14 การบอกการกระจายของดวงโคมในรูปของความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย 34

รูปที่ 2.15 การบอกการกระจายแสงของดวงโคมในรูปความเข้มส่องสว่างในระนาบต่างๆ 35

รูปที่ 2.16 แสดงส่วนต่างๆ ของห้องที่แบ่งตามวิธี Applied Method 36

รูปที่ 2.17 การจัดวางตำแหน่งดวงโคม 41

รูปที่ 3.1 แสดง Flow Chart การคำนวณโดยวิธี Applied Method 55

รูปที่ 3.2 แสดงการคำนวณโดยวิธี Point by Point 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดง Flow Chart การคำนวณโดยการอ่านค่า จาก IES Files 57
รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ตอนเริ่มเปิดโปรแกรม 58
รูปที่ 3.5 แสดงโปรแกรม DooLux2000 เมื่อเลือกขนาดห้องโดยใช้วิธี Point by Point 59
รูปที่ 3.6 แสดงโปรแกรม DooLux2000 มีข้อมูลของดวงโคม 59
รูปที่ 3.7 แสดงโปรแกรม DooLux2000 เมื่อวางโคมที่ตำแหน่ง x = 1 เมตร และ y = 1 เมตร 60
รูปที่ 3.8 แสดงโปรแกรม DooLux2000 โดยวางดวงโคมลงพื้นที่ทั้งหมด 61
รูปที่ 3.9 แสดงโปรแกรม DooLux2000 แสดงค่าความส่องสว่างในรูปตาราง 61
รูปที่ 3.10 แสดงโปรแกรม DooLux2000 แสดงค่าความส่องสว่างในรูปกราฟฟิก 62
รูปที่ 3.11 แสดงโปรแกรม DooLux2000 กรอบช่วยเหลือในการเลือกค่าความส่องสว่าง 63
รูปที่ 3.12 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ในการเลือกป้อนค่าขนาดห้อง 64
รูปที่ 3.13 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ในกรอบช่วยในการกำหนดขนาดห้อง 65
รูปที่ 3.14 แสดงโปรแกรม DooLux2000 การวางดวงโคมจากวิธี Applied Method 65
รูปที่ 4.1 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 1 ดวงโคม 67
รูปที่ 4.2 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 2 ดวงโคม 68
รูปที่ 4.3 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 3 ดวงโคม 69
รูปที่ 4.4 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 4 ดวงโคม 70
รูปที่ 4.5 แสดงรูปที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม EasyLux 72
รูปที่ 4.6 แสดงรูปที่ได้จากการคำนวณด้วย โปรแกรม DooLux 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	แสดงการเปรียบเทียบของสีและความยาวคลื่น	5
ตารางที่ 2.2	แสดงหลอดฟลูออเรสเซนต์สี และสารฟอสฟอร์ที่ใช้เคลือบผิว	12
ตารางที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง และวิธีการคำนวณเพื่อหาค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชนิด	29
ตารางที่ 2.4	การหาค่าไดเรกเรโชจากกราฟของดวงโคม	38
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ของดวงโคม 1 ดวงโคมที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร	68
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรมของดวงโคม 1 ดวงโคม ที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร	68
ตารางที่ 4.3	ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ของดวงโคม 2 ดวงโคมที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร	69
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรมของดวงโคม 2 ดวงโคม ที่คุวามสูงจากพื้น 0.75 เมตร	69
ตารางที่ 4.5	ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ของดวงโคม 3 ดวงโคมที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร	70
ตารางที่ 4.6	ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรมของดวงโคม 3 ดวงโคม ที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร	70
ตารางที่ 4.7	ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ของดวงโคม 4 ดวงโคมที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร	71
ตารางที่ 4.8	ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรมของดวงโคม 4 ดวงโคม ที่ความสูงจากพื้น 0.75 เมตร	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นการออกแบบเพื่อให้ได้มาซึ่งจำนวน ประเภท ตำแหน่งการติดตั้งของหลอดไฟ เพื่อให้มีความสว่างเพียงพอและเหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ โดยมีปัจจัยที่ประกอบการพิจารณาในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างหลายอย่าง อาทิเช่น แหล่งกำเนิดแสงสี การตอบสนองสี ความเข้มแสงและความส่องสว่าง ซึ่งปัจจัยหลักที่สำคัญที่จำเป็นต้องคำนึงถึงทางวิศวกรรมการส่องสว่างนั้น คือความส่องสว่าง อีกทั้งยังพิจารณถึงค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่างทั้งบริเวณ

ในการหาค่าความส่องสว่างทำการคำนวณได้ ทั้งแบบจุดและแบบเฉลี่ย ในการออกแบบโดยทั่วไปนั้นสามารถคำนวณได้จากแสงสว่างแบบเฉลี่ย โดยอาศัยทฤษฎีต่างๆเช่น Lumen Method เป็นต้น แต่ในแบบจุดนั้นทำให้ทราบรายละเอียดของความส่องสว่างได้ในทุกๆบริเวณในพื้นที่ทำการออกแบบ เป็นการเพิ่มความถูกต้องให้กับการออกแบบ หรือเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างนั่นเอง การคิดคำนวณแบบจุดนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยความละเอียดในการคำนวณ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมเพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณแทนนั้นทำให้ได้ความรวดเร็วและความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าว โครงงานนี้จึงได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณในการคิดค่าความส่องสว่างแบบจุด โดยใช้โปรแกรมภาษา Delphi 4 และใช้ทฤษฎี Point by Point มาคำนวณ โดยลักษณะของโปรแกรมเป็นโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบระบบแสงสว่างกล่าวคือ ผู้ใช้จะทำการวางตำแหน่งและชนิดของหลอดไฟลงในพื้นที่ซึ่งต้องกำหนดขนาดของพื้นที่ในหน่วยของความกว้าง ความยาวและความสูง เมื่อใส่ค่าต่างๆแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าความส่องสว่างในแต่ละจุดบนพื้นที่ ผู้ใช้สามารถกำหนดความละเอียดของจุดในการคำนวณได้ โดยผลลัพธ์จะแสดงในสองลักษณะคือแบบกราฟิกและแบบตัวเลข

จากผลลัพธ์ของโปรแกรมจะเป็นข้อมูล ทั้งค่าความส่องสว่างในแต่ละจุด ซึ่งเป็นข้อมูลที่ช่วยให้ผู้ออกแบบทราบถึงความส่องสว่างเป็นบริเวณ หากมีส่วนใดที่มีค่าความส่องสว่างน้อยหรือมากเกินก็จะสามารปรับได้จากตำแหน่งหรืออาจเปลี่ยนประเภทของหลอดไฟได้ และสามารถดูผลลัพธ์ได้ทันที อีกทั้งยังคำนวณค่าความสม่ำเสมอ(Uniform)ของแสงเพื่อประกอบอีกด้วย

ในส่วนของโครงงานยังมีส่วนของการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างอีกด้วย โดยใช้ทฤษฎี Applied Method มาเป็นหลักในการคำนวณ ในส่วนนี้ผู้ใช้เพียงแต่กำหนดขนาดของห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระบุความกว้าง ยาว สูง ของห้อง และประเภทของห้อง โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณจำนวนของหลอดไฟที่จะทำการติดตั้ง และยังระบุตำแหน่งของหลอดไฟซึ่งอยู่ในรูปของการวางผัง ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจ

โปรแกรมการคำนวณทั้งสองรูปแบบนั้นได้นำข้อมูลของดวงโคม มาจาก แฟ้มข้อมูลทางแสง (IES File) ซึ่งจะบอกทั้งรายละเอียดทั้งมิติ ชนิด บริษัทที่ทำ รุ่นและปริมาณแสงของหลอดไฟ ซึ่งข้อมูลที่สำคัญที่ใช้การคำนวณทั้งหมด คือ ความเข้มแสง ซึ่งแฟ้มข้อมูลนี้จะจัดทำเป็นรูปแบบมาตรฐานทั่วโลก โดยบอกอยู่ในรูป มุม C และเพลน γ ต่างๆ ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถอ่านค่าจากแฟ้มข้อมูลนี้ได้โดยตรง ผู้ใช้สามารถเพิ่มข้อมูลของหลอดไฟที่ใช้เพิ่มได้ โดยแฟ้มข้อมูลเหล่านี้สามารถหาได้ทั่วไปจากบริษัทผู้ผลิตหลอดหรือห้องทดลองทางแสงต่างๆอีกทั้งยังสามารถหาได้จากอินเตอร์เน็ต

ส่วนประกอบของเนื้อหาของการศึกษาสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ทฤษฎีและหลักการทั่วไป เป็นการศึกษาถึง ความรู้พื้นฐานของวิศวกรรมการส่องสว่าง ลักษณะของดวงโคมในแต่ละชนิด, IES Files, การคำนวณแบบ Point by Point และการคำนวณแบบ Applied Method รวมถึงความรู้ทั่วไปในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบต่อไป
2. แนวคิดและวิธีการใช้งานของโปรแกรม เป็นการกล่างถึง แนวคิดในการออกแบบโปรแกรม พร้อมทั้งแสดง Flow Chart การทำงานของโปรแกรม, วิธีการใช้งานของโปรแกรมในส่วนของ Point by Point และวิธีการคำนวณในส่วนของ Applied Method
3. วิธีการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นส่วนที่แสดงการทดลองเพื่อการทดสอบ ประสิทธิภาพและความถูกต้องของโปรแกรม และแสดงผลการทดลองนี้ ได้เปรียบเทียบกันระหว่างกาใช้งานออกแบบจริง กับค่าที่ได้มาจากโปรแกรม

สรุปผลและวิจารณ์การทำงาน อธิบายถึงผลที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ แสดงถึงประโยชน์จากการทำงาน แสดงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางการปรับปรุงและพัฒนา ทั้งยังวิเคราะห์ข้อแตกระหว่างการออกแบบ กับที่ได้จากการคำนวณ สรุปข้อดี และข้อเสียของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

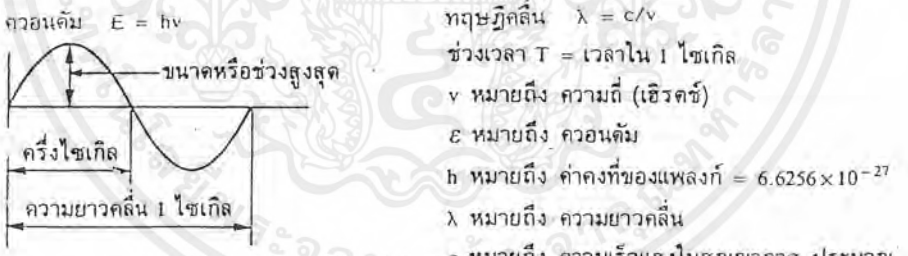
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง

ฟิสิกส์ของแสง

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการค้นคว้าวิจัยทางด้านแสงจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีควอนตัม (Quantum theory) และทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic theory) ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีของคลื่น แต่ทฤษฎีควอนตัมไม่ได้เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะว่าไม่ได้เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะว่าไม่สามารถให้ความกระจ่างชัดในเรื่องปรากฏการณ์การรบกวนและปรากฏการณ์ดีแฟรกชัน (Defraction phenomena) ได้เพียงพอ

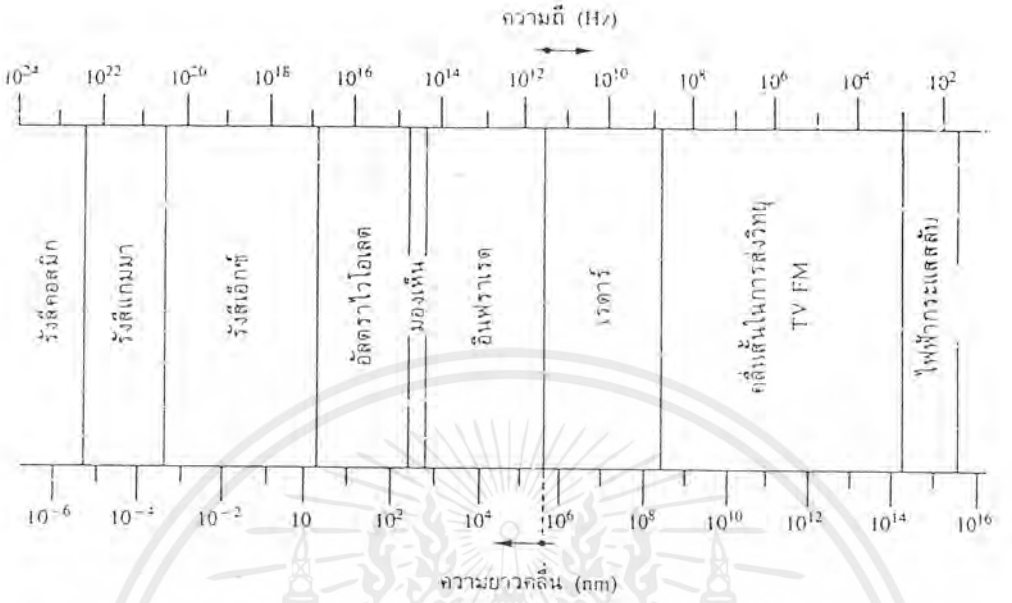
1. ทฤษฎีดูออลลิตี้ (Duality Theory) ในปีค.ศ.1924 เดอบรอยล์ (De Broglie) ได้ทำการพัฒนาสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกันระหว่างทฤษฎีคลื่นและทฤษฎีคอร์พัสคูลา (corpuscular theory) ขึ้นมา และได้แสดงความยาวคลื่น (wave length) ของรูปคลื่น ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.1 แสดงรูปคลื่น

2. สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าจัดว่าเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายพลังงานแผ่รังสี (radiant energy) ได้ดี ซึ่งมักจะใช้และพบกันบ่อยๆในวิศวกรที่ศึกษาทางด้านแสง รูปกราฟที่ได้แสดงในรูปข้างล่าง เป็นการแสดงถึงพลังงานการแผ่รังสีซึ่งจะเรียกว่าสเปกตรัม โดยการพิจารณาพลังงานการแผ่รังสีตั้งแต่รังสีคอสมิกจนถึงสัญญาณไฟฟ้า สเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.2 แสดงถึงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

ในรูปข้างบนจะพบว่ามีการแบ่งพลังงานการแผ่รังสีออกเป็น 2 ส่วนโดยส่วนหนึ่งด้านขวาจะเป็นความถี่ อีกส่วนหนึ่งทางด้านซ้ายจะเป็นความยาวคลื่น ทั้งนี้เพราะความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นและความถี่จะเป็นส่วนกลับกัน คือ $\lambda = C / V$ (λ = ความยาวคลื่น, C = ความเร็วของแสง, V = ความถี่) การแบ่งพลังงานการแผ่รังสีออกเป็น2ส่วนนี้ จะทำการแบ่งในตำแหน่งรอยต่อของอินฟรกเรดและเรดาร์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ถ้าตำแหน่งของพลังงานการแผ่รังสีที่อยู่ในช่วงเรดาร์ขึ้นไปจะพิจารณาในรูปของความถี่

3. สเปกตรัมที่มองเห็นได้ (Visible Spectrum) ในการส่องสว่างจะเกี่ยวข้องกับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนเล็กๆส่วนหนึ่ง โดยในส่วนเล็กๆนี้จะเรียกว่าสเปกตรัมที่มองเห็นได้ โดยสเปกตรัมที่มองเห็นได้นี้จะพิจารณาตามหลักของความเป็นจริงที่ว่า ทุกๆพลังงานจะให้ความรู้สึกของการมองเห็นเมื่อมีการกระตุ้นของพลังงานกับดวงตาปกติสเปกตรัมที่มองเห็นได้จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง

ตั้งแต่แสงสีม่วง : $0.38*10^{-4}$ ซม. = $0.38*10^{-6}$ ม. = 0.38 μm.

= 3,800 ^{o} A (Angstrom)

= 380 nm

ถึงแสงสีแดง : $0.76*10^{-4}$ ซม. = $0.76*10^{-6}$ ม. = 0.76 μm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 7,600\ ^{\circ}\text{A}$

$= 760\ \text{nm}$

ในตารางข้างล่างนี้ เป็นการแสดงถึงส่วนของสเปกตรัมที่มองเห็นได้ ซึ่งจะให้ความรู้สึกของความแตกต่างของสี

สี	ความยาวคลื่น (mm)
แดง	760-630
แสด	630-590
เหลือง	590-560
เขียว	560-490
น้ำเงิน	490-440
คราม	440-420
ม่วง	420-380

ตารางที่2.1 แสดงการเปรียบเทียบของสีและความยาวคลื่น

<u>ศัพท์และหน่วยทางแสง</u>

1. มุมเชิงของแข็ง (Solid Angle ; ω) เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลม (A_m) ต่อรัศมีของทรงกลม (r) ยกกำลังสอง

$$\omega = \frac{A_m}{r^2}$$

หน่วยเป็น สเตอเรเดียน (steradian;sr)

2. ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux; ϕ) เป็นพลังงานแสงสว่างที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงต่อหน่วยเวลา

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$

หน่วยเป็นลูเมน (lumen; lm)

โดยที่ Q หมายถึง พลังงานแสงสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมน·วินาที (lm·s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าลูเมนเป็นค่าฟลักซ์ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแผ่อยู่ภายในมุมเชิงของแข็ง โดยที่แหล่งกำเนิดแสงมีความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา (candela)

ลูเมน = 1 แคนเดลา-สเตอเรเดียน = 1 cd-sr

3. ความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity; I) เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดๆต่อมุมเชิงของแข็ง

$$I = \frac{d\phi}{d\omega}$$

หน่วยเป็นลูเมน/สเตอเรเดียน หรือแคนเดลา

4. ความส่องสว่าง เป็นค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางที่มองของพื้นที่ย่อยนั้นหารด้วยพื้นที่ของส่วนย่อยนั้นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่มอง นั่นคือ ความรู้สึกของตาในความส่องสว่างของพื้นที่ผิวที่ส่องแสงหรือที่ถูกส่องแสง

$$L = \frac{I_\theta}{dA_\theta}$$

หน่วยเป็น cd/m^2

ถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางนิ้ว หน่วยของความส่องสว่างจะเป็น $cd/inch^2$ และ 1 ฟุต-แลมเบิร์ต(foot lambert) จะมีค่า $1/144\pi$ cd/in^2

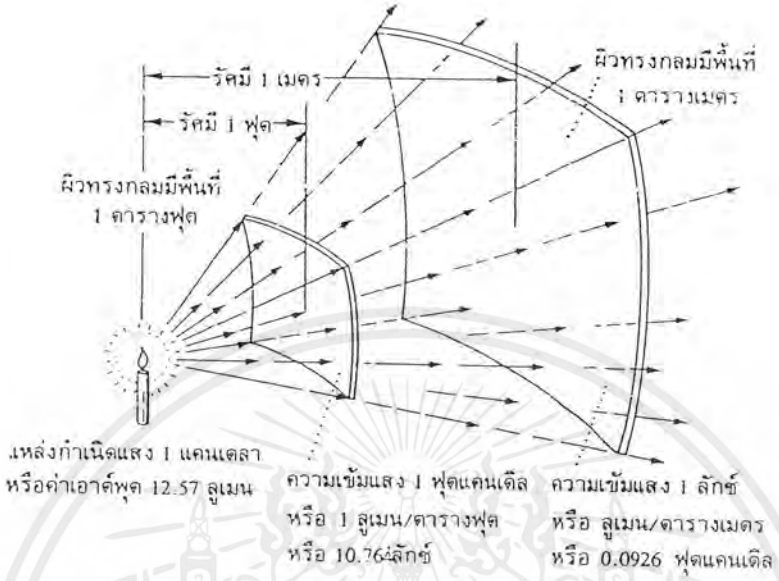
$$1\,fL = 1lm/ft^2 \times \frac{1}{\pi} cd/lm = \frac{1}{\pi} cd/ft^2 = \frac{1}{144\pi} cd/in^2$$

5. ความเข้มแสง คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบส่วนย่อยส่วนหนึ่งของพื้นที่ผิวนั้นหารด้วยพื้นที่ส่วนย่อยนั้น โดยถ้าพื้นมีหน่วยเป็นตารางเมตร ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) แต่ถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางฟุต ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล (foot candle; fc) โดยที่

1 fc = 10.764 lux

การพิจารณาความเข้มแสงสามารถพิจารณาได้จากรูป 2.3 ข้างล่างนี้

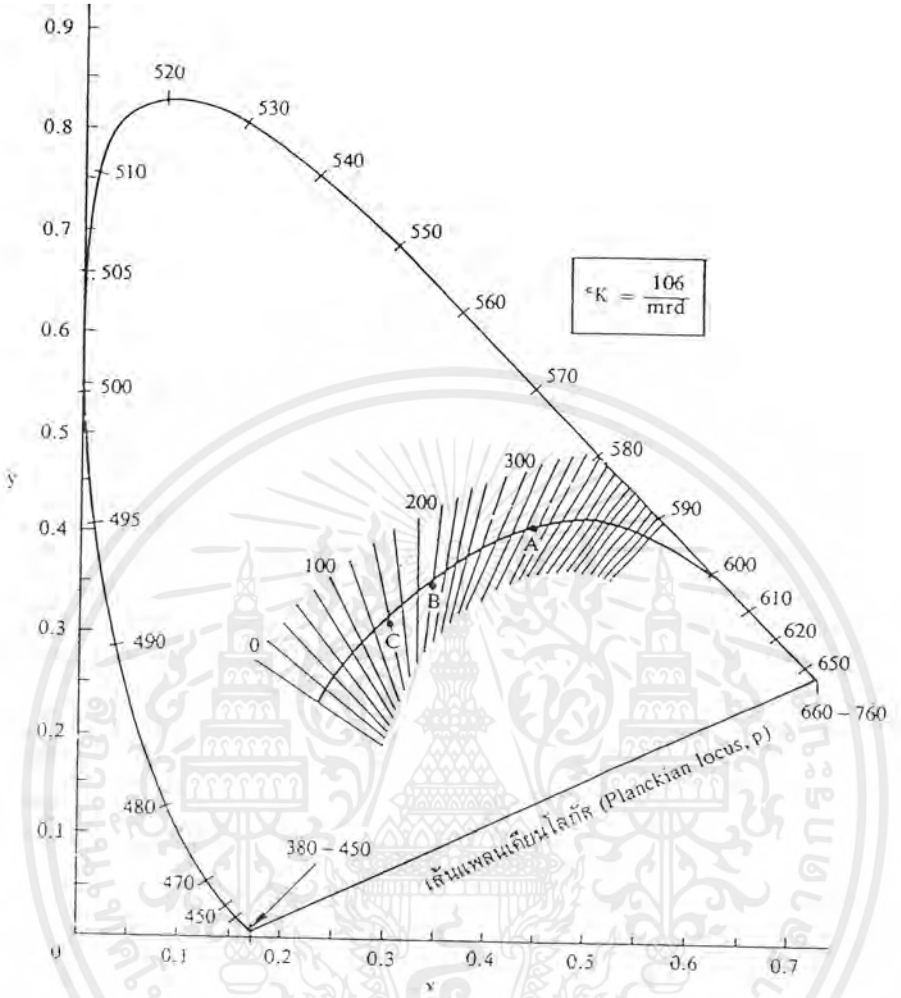
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.3 แสดงความเข้มแสง

6. อุณหภูมิสี (Colour Temperature) อุณหภูมิสีใช้เพื่อแสดงสีที่ปรากฏ (colour appearance) ของแหล่งกำเนิดแสงเมื่อเปรียบเทียบกับสีของวัตถุดำ ถ้าอุณหภูมิของวัตถุดำมีค่าเท่าใด และสีของแหล่งกำเนิดแสงมีสีเดียวกับสีที่เปล่งจากวัตถุดำ ณ ที่อุณหภูมิขณะนั้น ก็จะกล่าวว่าแหล่งกำเนิดแสงมีอุณหภูมิสีเท่ากับอุณหภูมิของวัตถุดำ โดยในการกำหนดค่าอุณหภูมิสีจะอยู่ในรูปขององศาเคลวิน (Kelvin; K) ในรูปข้างล่างนี้เป็นไดอะแกรมสีของ CIE โดยแสดงเส้นแพลนเคียนโลกัส (Planckian locus; P) และเส้นอุณหภูมิสีเทียบเคียง (correlated colour temperature; CCT) ดังนั้น แหล่งกำเนิดแสงใดที่มีสีบนเส้นโลกัสนี้จะสามารถกำหนดได้โดยอุณหภูมิสี อย่างไรก็ตาม ถ้าแหล่งกำเนิดแสงใดไม่อยู่บนเส้นแพลนเคียนโลกัส ก็สามารถใช้ค่าอุณหภูมิสีเทียบเคียงมากำหนดแทนได้ โดยถือเอาค่าอุณหภูมิของวัตถุดำที่อยู่ใกล้กับค่าของแหล่งกำเนิดแสงนั้นมากที่สุดเป็นค่าอุณหภูมิสีเทียบเคียง โดยต้องอยู่ในแนวขนานกับเส้นโลกัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดง CCT

7. ความส่องสว่าง การสะท้อน และหน่วย Apostilbs ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง (E) และความส่องสว่าง (L) และค่าการสะท้อน จะสามารถแสดงได้โดย

ความเข้มแสง * ค่าการสะท้อน = ความส่องสว่าง (หน่วย Apostilbs)

เนื่องจากหน่วย Apostilbs ไม่ใช่หน่วยใน SI แต่เหมาะสมสำหรับการคำนวณ จึงทำการหาค่าความส่องสว่าง (หน่วย cd/m^2) โดยทำการนำค่า π ไปหารหน่วย Apostilbs (หรือนำค่า 0.318 ไปคูณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะของหลอดไฟแต่ละชนิด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ [4]

หลอดฟลูออเรสเซนต์จัดได้ว่าเป็นต้นกำเนิดแสงสว่างที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมากที่สุด และตั้งแต่หลอดฟลูออเรสเซนต์ได้รับการคิดค้นขึ้นมา มันก็ได้ถูกนำไปใช้ทดแทนแหล่งกำเนิดแสงสว่างเดิมก็คือ หลอดมีไส้ (incandescent) สำหรับให้แสงสว่างทั่วไป ยกเว้นก็แต่เฉพาะในกรณีของไฟประดับประดา และการใช้ตามบ้านเรือนเท่านั้นเหตุที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะหลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างที่สูงพอสมควร และคุณภาพของแสงที่ออกมากเป็นแสงสีขาว ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้สำหรับการให้แสงสว่าง ทั่วๆ ไป สำหรับคนโดยทั่วไปอาจจะเคยชินกับการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว และคิดว่าเรื่องของหลอดฟลูออเรสเซนต์คงไม่มีอะไรซับซ้อน แต่แท้จริงแล้ว เรื่องของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีสิ่งที่น่าสนใจกว่าดังต่อไปนี้

หลักการทำงานเบื้องต้น

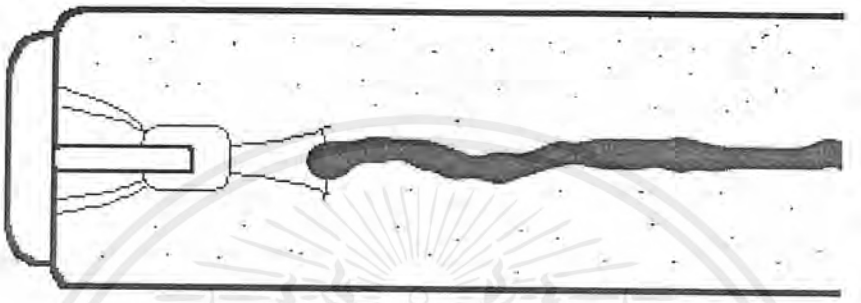
หลักเบื้องต้นที่ก่อให้เกิดแสงสว่างเปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นเป็นที่รู้แก่นักวิทยาศาสตร์มาเป็นเวลานานหลายปี แต่กว่าที่มันจะได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ และกว่าที่หลอดฟลูออเรสเซนต์หลอดแรกจะได้รับการประดิษฐ์ขึ้นมาก็ล่วงไปถึง ปี 2481

การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาศัยพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลต ซึ่งเกิดขึ้นจากไอปรอทที่บรรจุเอาไว้ในก๊าซเฉื่อยย เช่น พวกก๊าซอาร์กอน คริปตอน หรือนีออน ที่ความดันต่ำ ๆ ไอปรอทจะได้รับพลังงานจากแหล่งปลดปล่อยพลังงาน (discharge source) เพื่อกระตุ้นให้ไอปรอทปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งแสงอัลตราไวโอเลตที่เปล่งออกมาจากไอปรอทนี้จะกระทบเข้ากับผิวในของหลอดแก้วซึ่งฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงที่เรียกว่า ฟอสฟอร์ (phosphor) หรือ fluorescent material ตัวสารเรืองแสงนี้ก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ ให้กลายมาเป็นแสงสว่างที่ปรากฏแก่สายตาของมนุษย์

ตัวหลอดไฟนั้น จริง ๆ แล้ว ก็คือหลอดแก้วที่ภายในฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงจากนั้นก็จะถูกนำไปดูดเอาอากาศออก และปล่อยปรอทจำนวนเล็กน้อยและก๊าซเฉื่อยไว้ภายใน ที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดแก้วจะมีขั้วไฟฟ้าที่เรียกว่า อิเล็กโทรด (electrode) เมื่อเปิดสวิตซ์ให้มีกระแสไฟไหลผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทางเดินของกระแสผ่านขั้วอิเล็กโทรดจะทำให้ขั้วอิเล็กโทรดร้อนและจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะออกมาจากสารปล่อยอิเล็กตรอน (emissive material) ซึ่งเคลือบไว้บนไส้หลอด นอกเหนือจากอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาโดยความร้อน ก็ยังมีอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาเนื่องจากความแตกต่างของค่าแรงดันระหว่างขั้วอิเล็กโทรดอีกขั้วหนึ่งไปยังอิเล็กโทรดอีกขั้วหนึ่ง ก่อให้เกิดลำอิเล็กตรอนหรืออาร์คซึ่งเคลื่อนที่ผ่านไอของปรอททำให้ไอปรอทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับพลังงานจากอิเล็กตรอนและทำให้หลอดได้รับความร้อน และเพิ่มค่าแรงดันไอปรอทจนถึงจุดที่หลอดจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

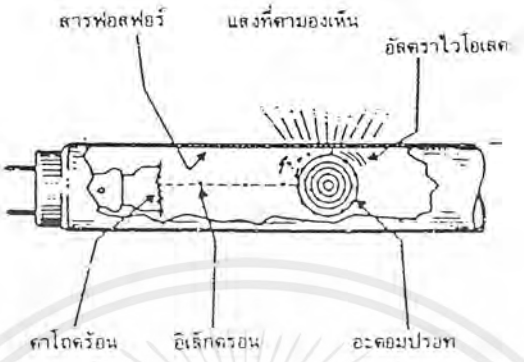


รูปที่ 2.5 แสดงลำอิเล็กตรอนหรืออาร์คซึ่งเคลื่อนผ่านไอปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์

สภาวะที่เกิดขึ้นภายในหลอดแก้วนี้จะมีคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับค่าความดันของก๊าซที่อยู่ภายในและค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่สำคัญก็คือการก่อให้เกิดแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และแสงอัลตราไวโอเลต เมื่ออิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ชนเข้ากับอะตอมของไอปรอท และทำให้อิเล็กตรอนของไอปรอทกระเด็นออกจากวงโคจรของมัน อิเล็กตรอนที่หลุดกระเด็นออกมาเหล่านี้พยายามที่จะกลับคืนเข้าสู่วงโคจรเดิม ดังนั้นมันจะปล่อยพลังงานที่มันได้รับออกมาก่อนที่จะกลับเข้าสู่สถานะเดิม พลังงานที่มันปลดปล่อยออกมานี้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแสงอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนมิเตอร์

แสงอัลตราไว้โอเลตนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ โดยสารเรืองแสง ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตเอไว้และปล่อยแสงซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่าซึ่งตามนุษย์เห็นได้ออกมา พูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ตัวสารเรืองแสงอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม สีของแสงที่ได้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสารที่ใช้ทาภายในของหลอดแก้ว หลักการทำงานเบื้องต้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะปรากฏดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

แม้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีหลายขนาด และหลายรูปร่าง แต่รูปร่างที่พบกันมากที่สุดก็คือ หลอดกลมที่มีขั้วหลอดและฐานขั้วหลอดอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของงหลอด ภายในหลอดบรรจุไว้ด้วยปรอทจำนวนเล็กน้อยและก๊าซเฉื่อย ซึ่งส่วนมากจะเป็นก๊าซอาร์กอนหรือส่วนประกอบของก๊าซอื่น ๆ ของหลอดมีดังนี้คือ

ตัวหลอดขนาดและรูปร่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะได้รับการกำหนดโดยรหัสที่ประกอบไปด้วยตัว T (ซึ่งหมายความว่าเป็นหลอดกลม T มาจากคำว่า tubular) จากนั้นจะตามด้วยตัวเลขซึ่งแสดงเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเป็นเศษส่วน 8 ของ 1 นิ้ว หลอดจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกันตั้งแต่หลอด T5 (เศษ 5 ส่วน 8 นิ้ว) จนถึงกระทั่ง T 17 (2 เศษ 1 ส่วน 8 นิ้ว) สำหรับขนาดความยาวโดยทั่วไปจะมีแตกต่างกันตั้งแต่ 6 นิ้วไปจนถึง 96 นิ้ว ซึ่งจะวัดตั้งแต่ขาหรือหลอดข้างหนึ่งไปยังขาอีกข้างหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น ความยาวที่แท้จริงของหลอด 40 วัตต์ชนิด rapid start T 12 ที่กำหนดไว้ว่ายาว 48 นิ้วนั้นความจริงแล้วจะยาว 47 เศษ 3 ส่วน 4 นิ้ว ส่วนหลอดชนิดที่เป็นวงกลมจะมีสามขนาดคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว 12 นิ้ว และ 16 นิ้ว ซึ่งหมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก นอกจากนั้นยังมีหลอดที่ขดเป็นรูปตัวยูขนาด 40 วัตต์ชนิด T 12 และที่มีรูปร่างอื่น ๆ อีก ซึ่งจัดได้ว่าเป็นหลอดพิเศษที่จะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

สารเคลือบเรืองแสง (phosphor) สีของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของสารเรืองแสงที่ใช้ฉาบภายในของหลอดโดยการใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันไปจะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์มีสีสันต่างๆ กันได้ ซึ่งหลอดจะมีอยู่หลายสี (ดังรูปที่4) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก่สีขาวไปจนกระทั่งสีน้ำเงิน สีเขียว สีทอง สีชมพู และสีแดง และยังมีหลอดฟลูอเรสเซนต์ที่ได้รับการฉาบสารเรืองแสงนี้ เพื่อให้แสงที่เหมาต่อการกรุตุ้นการเจริญเติบโตของพืชหรือให้แสงสีชนิดพิเศษอื่น ๆ อีกซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป สำหรับหลอดฟลูอเรสเซนต์ ที่ให้สีสันต่าง ๆ กันนี้ เมื่อยังไม่ได้เปิดสวิตซ์ไฟจะยังคงมีสีขาวอยู่ ยกเว้นหลอดชนิดสีน้ำเงินเข้ม สีทอง สีแดง (รูปที่ 5) และหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ให้แสงเหมือนกับหลอดมีไส้ (incandescent fluorescent lamp) ซึ่งหลอดเหล่านี้จะฉาบเม็ดสีเอาไว้ภายในหลอดแก้วก่อนที่จะเคลือบสารเรืองแสงทับลงไป ส่วนชนิดที่ให้สีน้ำเงินออกไปทางดำ (black light blue) จะเป็นหลอดชนิดพิเศษที่จะกรองเอาแสงที่มองได้ด้วยตาออกไป โดยกาใช้สารเคลือบเรืองแสงชนิดต่าง ๆ กัน เราจะได้สีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังปรากฏในตารางที่ 2.2

สารฟอสฟอร์ที่ใช้	สีที่ได้จากหลอด
แคดเมียมบอเรท (cadmium borate)	ชมพู
แคลเซียมฮาโลฟอสเฟต (calcium halophosphate)	ขาว
แคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate)	ส้ม
แคลเซียมทังสเตท (calcium tungstage)	น้ำเงิน
แมกนีเซียมเกอมาเนท(magnesium germanate)	แดง
แมกนีเซียมทังสเตท (magnesium tungstage)	ขาวน้ำเงิน
สตรอนเตียมฮาโลฟอสเฟต (storntium halophosphate)	เขียวอ่อน
ซิงค์ซิลิเกต (zinc silicate)	เขียว

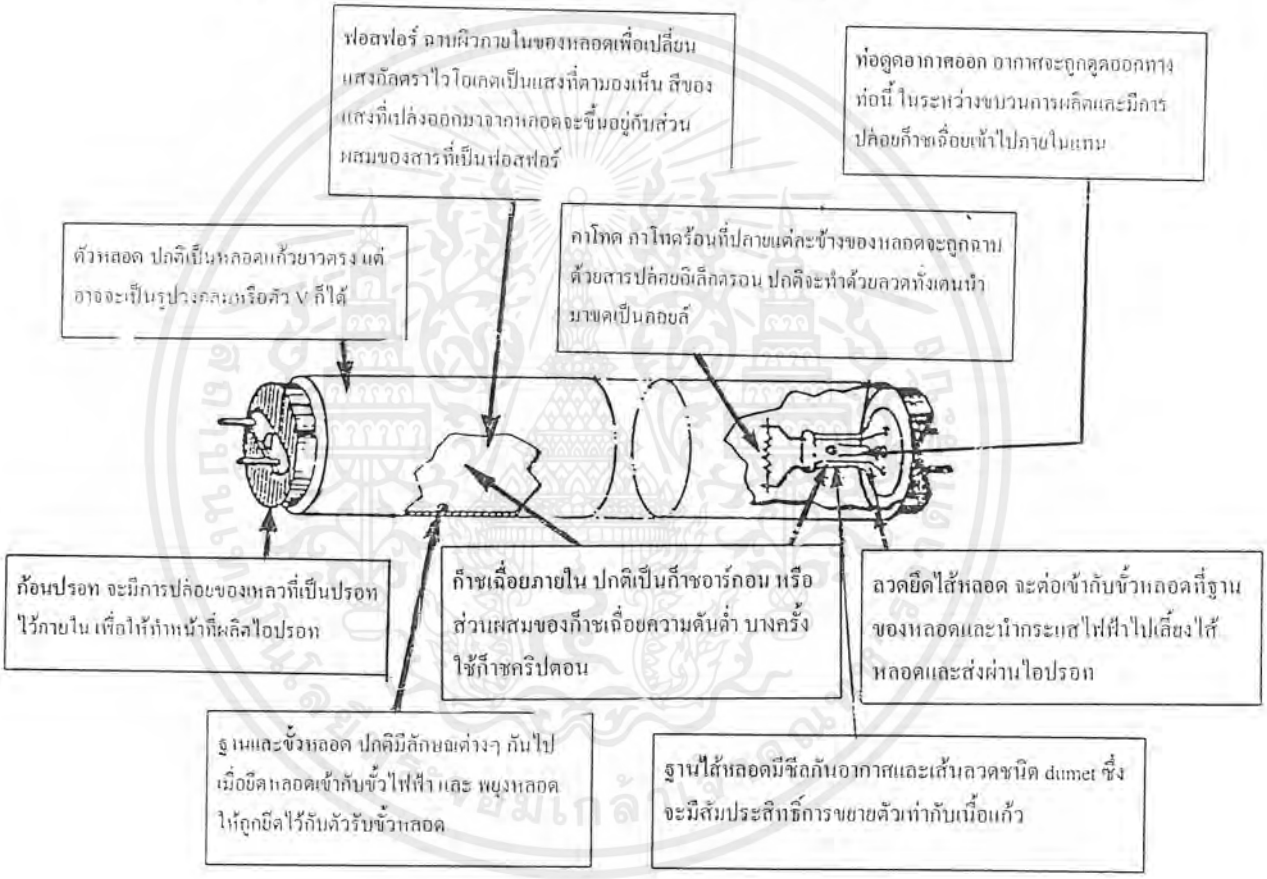
ตารางที่ 2.2 แสดงหลอดฟลูออเรสเซนต์สี และสารฟอสฟอร์ที่ใช้เคลือบผิว

ขั้วอิเล็กโทรด ขั้วอิเล็กโทรดที่ตอนปลายของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเป็นขดลวดทังสเตนที่นำมาขดซ้อน ๆ กันและฉาบไว้ด้วยสารชนิดที่จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอาจจะได้แก่ แบเรียม, สตรอนเทียม, แคลเซียมออกไซด์ สารที่กล่าวมานี้จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดทำงานของมันที่จะตกประมาณ 950 องศา ที่อุณหภูมินี้อิเล็คตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างอิสระ โดยมีจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่สูญเสียไปที่คาโถด การปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมานี้ เรียกว่า thermionic emission เนื่องจากความร้อนเป็นตัวที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนมากกว่าแรงดันไฟฟ้า คาโถดชนิดนี้เราเรียกว่า คาโถร้อน (hot cathode) ซึ่งจะต้องการแรงดันไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดลำอิเล็กตรอนภายในหลอดไม่มากนัก

ขั้วหลอด สำหรับหลอดชนิด preheat และ rapid start จะต้องการขั้ว 2 ขั้วที่แต่ละข้างของหลอด ดังนันตัวรับขั้วหลอดจึงต้องเป็นชนิดสองขั้วด้วย ซึ่งมีอยู่ 3 ขนาด คือ ขนราดจิ๋วสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอด T-5 ขนาดกลางสำหรับหลอด T-8 และ T-12 และชนิดใหญ่สำหรับหลอด T-17 ส่วนหลอดชนิดวงกลมนั้น ตัวหลอดจะมาบรรจบกันเป็นวงกลม ดังนั้นจะมีส่วนหนึ่งซึ่งเป็นขั้วหลอด ซึ่งมีอยู่ 4 ขา ส่วนหลอดชนิด high output และ very high output (จะกล่าวรายละเอียดต่อไป) จะมีขั้วชนิดยุบลงไป (recessed double contact) ส่วนหลอดชนิด slim line หรือ instant start นั้นจะต้องการขั้วไฟฟ้าเพียงสองขั้วเท่านั้นคือที่ปลายแต่ละข้างเพียงขั้วเดียว และตัวรับขั้วหลอดก็เป็นชนิดขั้วเดียว ส่วนหลอดชนิด sign line จะมีขั้วที่เป็นบ่าชนิดขั้วเดียว (shrouded single PIN : SSP)



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ข้อดีที่สำคัญของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็คือ หลอดประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างสูญเสียที่เกิดขึ้นจาก บัลลาสต์ของหลอดมาเปรียบเทียบด้วย หลอดประเภทสองขั้วปกติมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างเมื่อไม่คิดความสูลเสียจากบัลลาสตีตกประมาณ 24-81 ลูเมน/วัตต์ ขึ้นอยู่กับขนาดและสีของหลอด ส่วนหลอดชนิดขั้วเดียวจะมีประสิทธิภาพตั้งแต่ 48-84 ลูเมน/วัตต์ หลอดชนิดเดียวกันและมีสีเดียวกันแล้ว ค่าลูเมนต่อวัตต์จะสูงยิ่งขึ้นสำหรับหลอดที่ยาวมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดที่สั้น ที่เป็นเช่นก็เพราะว่าไม่ว่าหลอดจะยาวมากน้อยเพียงใดก็ตามพลังงานที่ใช้สำหรับตัวไส้หลอดจะมีค่าเท่ากัน

หลอดโซเดียมความดันสูง [5]

หลอดโซเดียมความดันสูง (high pressure sodium) จัดได้ว่าเป็นหลอดไฟชนิดหนึ่งที่อยู่ในตระกูลของหลอด High Intensity Discharge lamp หรือ เรียกสั้น ๆ ว่า HID lamp ซึ่งยังมีหลอดอีก 2 ประเภทที่อยู่ในตระกูลนี้นั่นก็คือ หลอดไอปรอท (mercury vapor) และหลอด metal halide

หลักการให้แสงสว่างของหลอดในตระกูลนี้ก็คือ การที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านระหว่างอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่อยู่ห่างจากกันซึ่งก็เป็นหลักการที่คล้ายคลึงกับหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนนั่นเอง แต่อิเล็กโทรดของหลอด HID จะอยู่ห่างจากกันเพียงไม่กี่นิ้ว โดยอยู่ที่แต่ละด้านของกระบอกอาร์คทิ้ว (arc tube) ที่มีขนาดเล็กและจะมีลักษณะใสหรือขุ่นตามแต่ชนิดของหลอด

อาร์คทิ้วนี้จะปิดสนิทและถูกบรรจุไว้ในหลอดแก้วที่ห่อหุ้มเป็นเปลือกภายนอกอีกทีหนึ่ง ตัวเปลือกนี้จะทำหน้าที่แยกอาร์คทิ้วออกจากอากาศภายนอกโดยดูดอากาศที่บรรจุอยู่ระหว่างอาร์คทิ้วกับตัวหลอดแก้วภายนอกออก และบรรจุแก๊สพิเศษบางชนิดเข้าไป เพื่อลดการเกิดออกซิเดชั่นของพวกโลหะตัวนำต่าง ๆ ป้องกันอาร์คทิ้วจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำจนเกินไป และยังเป็นสื่อกลางในการกรองการแผ่รังสีอุลตร้าไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นบางช่วงออกไป หรือสำหรับหลอดบางชนิดเปลือกในของหลอดแก้วจะเคลือกสารฟอสหอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพแสงที่ออกมาให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

การที่หลอดในตระกูล HID ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้งานประเภทต่างๆ เนื่องจากหลอดในตระกูลนี้มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่าง (จำนวนลูเมนต่อวัตต์สูงกว่าหลอดชนิดอื่นๆ) จึงทำให้ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีพื้นที่กว้างหรือมีความสูงมาก ๆ เช่น โรงงานต่างๆ

โครงสร้างของหลอด

โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูงจะปรากฏดังในรูป 2.8 โดยจะมีส่วนที่ทำหน้าที่เป็นกระบอกอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนในเป็นอาร์คทิ้วและส่วนนอกจะเป็นเปลือกให้แก่กระบอกส่วนใน ภายในอาร์คทิ้วนีจะมีขั้วอิเล็กโทรด และสารผสมของโซเดียมและปรอทรวมทั้งมีแก๊สเซนอนอยู่เป็นจำนวนน้อย เปลือกนอกที่ทำหน้าที่ป้องกันอาร์คทิ้วนั้น จะทำด้วยแก้วชนิดพิเศษ (poly silicate glass) อากาศที่อยู่ในเปลือกหลอดแก้วจะถูกสูบออกมา เพื่อป้องกันมิให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของโลหะที่ต่ออยู่กับอาร์คทิ้วกับอากาศภายนอกและควบคุมอุณหภูมิของอาร์คทิ้วให้สม่ำเสมอโดยการทำให้ไม่มีอากาศจากภายนอกเข้าไปเกิดการพาความร้อน หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์คทิวทำด้วยเซรามิค ตัวอาร์คทิ้วของหลอดโซเดียมความดันสูงเองจะมีลักษณะเรียวยาวสร้างจากสารเซรามิคที่มีชื่อว่า polycrystalling aluminium oxide ดังที่กล่าวมาแล้ว

รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง

ส่วนสำคัญที่สุดของอาร์คทิ้วที่ทำด้วยสารเซรามิคคือ ที่ส่วนปลายถ้าเป็นหลอดที่มีคุณภาพดีจะใช้สารเซรามิคชนิดเดียวกับที่ทำด้วยอาร์คทิ้ว เพราะเซรามิคมีคุณสมบัติในการขยายตัวในลักษณะเดียวกับอาร์คทิ้วซึ่งดีกว่าการใช้โลหะเปิดที่ปลายเนื่องจากการขยายตัวของอาร์คทิ้วและโลหะที่เปิดปลายไม่เท่ากัน ส่วนการต่อขั้วอิเล็กโทรดนั้น จะใช้ท่อทีทำด้วยโลหะนิโอเบียม (niobium) ทีสอดผ่านสารเซรามิคที่ปิดหัวท้ายของกระบอกอาร์คทิ้วเพื่อต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับขั้วอิเล็กโทรด (ดังรูป 2.9) บริเวณที่มีโลหะสอดเข้าไปในกระบอกอาร์คทิ้วนี้จะเป็นบริเวณที่เกิดการสูญเสียสารโซเดียมมากที่สุด ดังนั้นการที่สามารถกำจัดแผ่นโลหะที่ครอบหัวท้ายของกระบอกอาร์คทิ้วไปได้ จึงช่วยลดการสูญเสียโซเดียมจึงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของหลอดไม่เพิ่มสูงขึ้น และทำให้หลอดมีอายุการใช้งานสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 แสดงการต่อขั้วอิเล็กโทรด

แต่ก็มีผู้ผลิตบางรายที่ได้วางสารผสมของโซเดียมและปรอทนี้ไว้ภายในอาร์คทิ้วในจุดที่มีอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งปกติแล้วจะอยู่หลังขั้วอิเล็กโทรดแตกต่างไปจากหลอดที่ใช้วิธีการเก็บสารผสมดังไว้ภายนอกเพราะหลอดที่เก็บสารผสมไว้ภายในอาร์คทิ้วจะสามารถติดตั้งในตำแหน่งใดก็ได้

หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูงก็คือ ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในไอระเหยของโซเดียม(sodium vapour) ที่มีความดันภายใต้อุณหภูมิ สูง ซึ่งฟังดูก็เป็นหลักการที่ง่าย แต่ในทางปฏิบัติไอของโซเดียมยิ่งมีอุณหภูมิสูงก็จะยิ่งมีอำนาจการกัดกร่อนที่รุนแรงมาก วัสดุที่จะนำมาบรรจุไอของโซเดียมนี้ มีรากฐานมาจากนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานค้นคว้าด้านอวกาศ ซึ่งกำลังแสวงหาวัสดุที่ใช้ป้องกันยานอวกาศจากความร้อนที่เกิดการเสียดสีกับบรรยากาศของโลก ในขณะที่ยานอวกาศนั้นกำลังกลับสู่โลก จากการค้นคว้านี้เองได้พัฒนาสารเซรามิคที่มีความบริสุทธิ์สูงมีความทนทานต่อความร้อนและยังสามารถปล่อยให้แสงลอดผ่านออกมาได้ ห้องทดลองค้นคว้าด้านไฟฟ้าแสงสว่างจึงเอาสารเซรามิคนี้มาค้นคว้าวิจัยต่อจนปรากฏเป็นสารเซรามิคใหม่ที่มีชื่อว่า polycrystalline aluminium oxide ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นกระบอกสำหรับบรรจุไอปรอทที่ใช้กับหลอดโซเดียมความดันสูง

การที่ไอของโซเดียมสามารถให้แสงออกมาได้เกิดจากลำของอิออนที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งนั้นชนกับอะตอมของโซเดียม และทำให้อิเล็กตอนของอนุภาคโซเดียมกระเด็นหลุดออกจากวงโคจรปกติไปสู่วงโคจรที่มีสถานะสูงขึ้น อิเล็กตรอนเหล่านี้จะพยายามกลับสู่วงโคจรเดิม โดยจะคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับนั้นออกมาในรูปของการแผ่รังสี ความยาวคลื่นของการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไอโซเดียม ซึ่งเมื่ออุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น การแผ่รังสีดังกล่าวนี้จะก่อให้เกิดคลื่นแสงที่ครอบคลุมสเปคตรัมของแสงเป็นช่วงกว้าง

ในทางปฏิบัตินั้น จะมีการผสมไอของปรอทเข้ากับไอของโซเดียม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมสีและควบคุมระดับความดันไฟฟ้า นอกจากนั้นยังมีแก๊สเฉนอนอีกส่วนหนึ่ง ที่มีปริมาณเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บรรจุในกระบอกอาร์คทิ้วเพื่อช่วยนำกระแสในตอนต้นเนื่องจากอาร์คทิ้วมีลักษณะเป็นกระบอกขนาดเล็กและยาวเพื่อประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างและเนื่องจากมีขั้วอิเล็กโทรดอยู่กันคนละข้างของกระบอกอาร์คทิ้วจึงต้องการค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงพอสมควรสำหรับการจุดหลอดให้ติ จึงต้องมีวงจรสตาร์ทเป็นพิเศษในบัลลาส์ท เพื่อสร้างค่าแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นช่วง ๆ (high voltage pulse) ทุกช่วงคลื่นหรือครึ่งคลื่น ซึ่งแรงดันเป็นช่วงๆ นี้จะต้องมีแอมปลิจูด และช่วงทางเวลาที่นานพอสำหรับการทำให้แก๊สเซนอนเกิดการอิออนไนซ์และจุดหลอดติดต่อไป

บัลลาส์ทยังจะต้องทำหน้าที่อื่น ๆ ตามปกติด้วย เช่น จะต้องคงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้มีอาร์คเกิดขึ้นในอาร์คทิ้วตลอดไป นอกจากนั้นยังจะต้องจำกัดค่ากระแสหลอด และต้องควบคุมวัตต์ของหลอด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับหลอดเองและค่าแรงดันไฟฟ้าด้วย ภายในกระบอกอาร์คทิ้วจริงๆ แล้ว จะมีโซเดียมส่วนเกินที่จะอยู่ในรูปของส่วนผสมกับปรอท ทั้งนี้เพื่อให้สารผสมดังกล่าวระเหยกลายเป็นไอทดแทนไอของโซเดียมและไอปรอทที่สูญเสียไประหว่างการใช้งาน จึงได้ผู้ผลิตหลอดบางรายที่จะออกแบบอาร์ทิ้วให้มีส่วนปลายสำหรับบรรจุสารผสมโซเดียมและปรอทเอาไว้ และจะมีช่องทางให้สารผสมดังกล่าวนั้นระเหยกลายเป็นไอเข้าไปในอาร์คทิ้วเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของหลอดให้สูงขึ้น การบรรจุสารผสมของปรอทและโซเดียมไว้นอกกระบอกอาร์คทิ้วนี้ผู้ผลิตอ้างว่าจะดีกว่าที่จะปล่อยให้ก้อนสารผสมอยู่ภายในกระบอกเพราะถ้าหลอดเกิดถูกกระทบกระแทกหรือถูกแรงสั่นสะเทือน ก็จะทำให้ก้อนสารผสมดังกล่าวนั้นกลายเป็นไอมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่ใช้ในการสร้างอาร์คเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลทำให้หลอดเกิดการดับไป และถูกจุดติดใหม่ เมื่อบัลลาส์ทสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้สูงพอชั่วขณะ แต่แล้วก็จะกลับดับไปอีก ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดซ้ำแล้วซ้ำเล่า ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของหลอดลดลงเป็นอย่างมาก

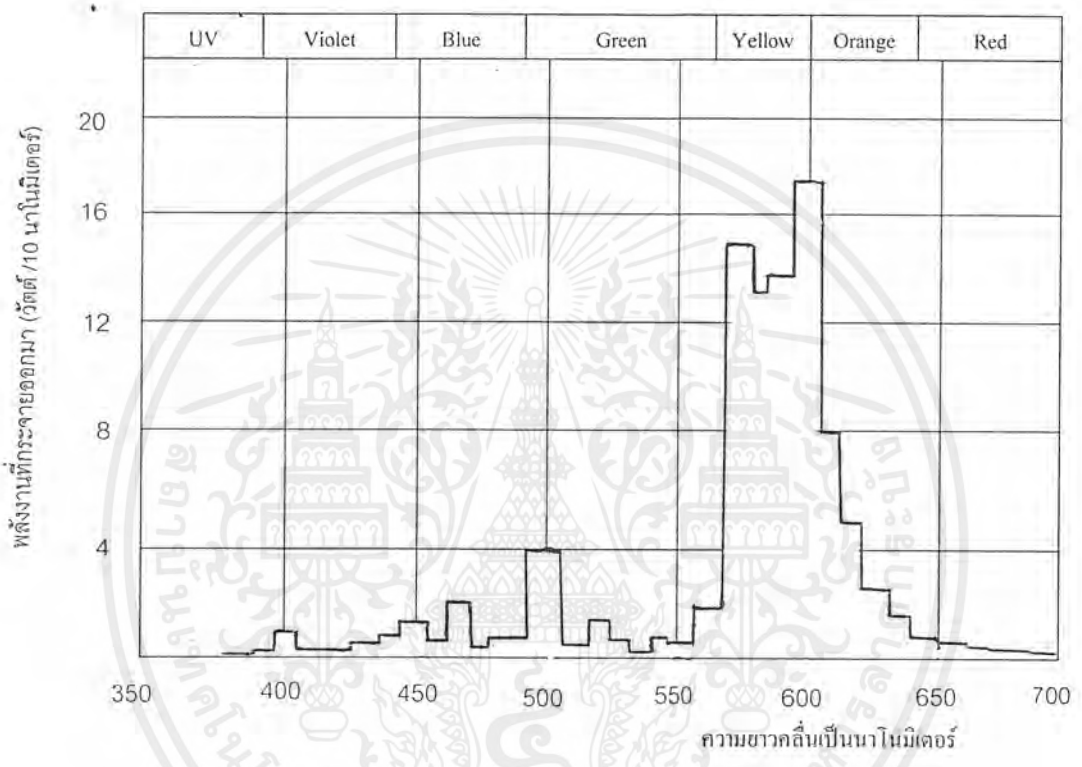
อย่างไรก็ตามเมื่อใช้งานไปนานๆ หลังจากได้มีการเติมไอโซเดียมจากสารผสมดังกล่าวไปแล้วจนหมด อัตราส่วนของไอโซเดียมกับไอปรอทก็จะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของอาร์คเพิ่มสูงขึ้น และในที่สุดก็จะถึงค่าแรงดันที่เกินความสามารถของบัลลาส์ทที่จะควบคุมไว้ได้อีกต่อไป ดังนั้นเมื่อหลอดถูกจุดติดและมีอุณหภูมิสูงขึ้นหลอดก็จะเปล่งแสงออกมาเป็นปริมาณสูงสุด และหลังจากนั้นก็จะดับไปเป็นการสิ้นสุดอายุการใช้งานของหลอด

หลอดโซเดียมความดันสูงจะต้องใช้เวลาในการอุ่นหลอดก่อนที่จะให้แสงได้สูงสุด เป็นเวลา 3-4นาที ในช่วงการอุ่นหลอดนี้แสงสว่างที่ถูกเปล่งออกมาจะมีการเปลี่ยนสีไปเรื่อย ๆ ในตอนแรกจะมีสีน้ำเงินขาวจาง ๆ ที่เกิดจากแก๊สเซนอนที่ถูกอิออนไนซ์หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินที่ค่อนข้างสดใส เป็นสีของไอปรอท เมื่อความสว่างเพิ่มมากขึ้น แสงก็จะเปลี่ยนสีค่อนข้างเหลือง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไอโซเดียมที่มีความดันต่ำและเมื่อความดันในอาร์คทิ้วสูงเพิ่มมากขึ้นหลอดไฟก็จะให้แสงออกมาเป็นปริมาณสูงสุด เป็นสีขาวออกไปทางสีทอง (golden white)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36992

ความยาวคลื่นส่วนใหญ่จะตกอยู่ที่ประมาณ 2,100K ค่า cie chromaticity coordinate ของแกน X จะอยู่ที่ X = 0.512 และ Y = 0.420 ลักษณะการกระจายแสงของหลอดตามแถบสเปคตรัมจะปรากฏดังในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการกระจายแสงตามแถบสเปคตรัมของหลอดโซเดียมความดันสูง

เนื่องจากค่าความดันภายในอาร์คทิ้วของหลอดโซเดียมความดันสูงจะต่ำกว่าหลอดไอปรอทมาก ดังนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าต้นทางเกิดขัดข้องไปชั่วขณะ และทำให้หลอดดับไปอาร์คทิ้วก็จะสามารถเย็นตัวลงได้อย่างรวดเร็ว และทำให้เวลาที่หลอดจะสามารถจุดติดได้อีกครั้งหนึ่งเป็นเพียง 1 หรือ 2 นาทีเท่านั้น ซึ่งนับว่าสั้นมาก ส่วนหลอดที่บรรจุสารผสมไว้ภายนอกจะต้องมีการสั่งว่าจะนำหลอดไปติดตั้งในลักษณะหงายขึ้นหรือว่าคว่ำลง ซึ่งตำแหน่งที่เก็บสารผสมจะไม่เหมือนกัน และอาจก่อให้เกิดความเข้าใจผิดในกรณีเรื่องของการนำหลอดมาติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูงแตกต่างจากหลอดไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ในแง่ที่ว่า ค่าวัตต์และค่าโวลต์ของหลอดจะไม่คงที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุการใช้งานของหลอด ผู้ผลิตหลอดได้กำหนดขีดจำกัดของค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าวัตต์ของหลอดที่จะต้องควบคุมให้อยู่ในช่วงขีดจำกัดดังกล่าวนี้ เพื่อให้หลอดสามารถทำงานและมีสมรรถนะได้ตามที่ทางผู้ผลิตได้กำหนดเอาไว้

2.3 ลักษณะของแฟ้มข้อมูลแบบ IES [1]

ความเป็นมา

ในปี คศ. 1986 Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ได้จัดทำมาตรฐาน สำหรับข้อมูลทางด้านแสง สำหรับโคมในลักษณะต่างๆ และแหล่งกำเนิดทางแสง ซึ่งได้ถูกตีพิมพ์ ในรายงานการประชุมของ IESNA เรียกว่า "IES LM-63-1986" เป็นรูปแบบมาตรฐานของข้อมูลทางแสง ซึ่งได้รับความนิยมจากทั้งผู้ผลิต อีกทั้งมีผู้นำไปพัฒนา software เพื่อการคำนวณอย่างมากมาย

มาตรฐานดังกล่าวได้มีการพิจารณา เพื่อเพิ่ม "keywords" ในปี 1991 และในปี 1995 ได้มีการจัดเลขลำดับ ของข้อมูลให้ง่ายยิ่งขึ้น โดยที่ยังคงรูปแบบและมาตรฐานเดิมไว้เกือบทั้งหมด

รูปแบบแฟ้มข้อมูล IES

แฟ้มข้อมูล IES ถูกจัดทำในรูปของแฟ้มข้อมูลแบบตัวอักษร(Text File) โดยมีรูปต่าง ๆ 3 ลักษณะ ประกอบด้วย LM-63-1968

1. IES LM-63-1986

Id	Description
01	<label line1>
02	<label line2>
03	…
04	<label linen>
05	TILT = <file-spec> or <INCLUDE> or <NONE>
06	<lamp-to-luminaire geometry>
07	<# of pairs of angles and multiplying factors>
08	<angles>
09	<multiplying factors>
10	<# of lamps> <lumens per lamp> <candela multiplier>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<# of vertical angles> <# of horizontal angles> <photometric type>

<units type> <width> <length> <height>

11 <ballast factor> <ballast-lamp photometric factor> <input watts>

12 <vertical angles>

13 <horizontal angles>

14 <candela values for all vertical angles at first horizontal angle>

15 <candela values for all vertical angles at second horizontal angle>

16 ...

17 <candela values for all vertical angles at nth horizontal angle>

A detailed description of each line is presented in Section 2, "IES Standard File Format – Detailed Description."

รายละเอียดในแต่ละบรรทัดจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

2. IES LM-63-1991

Id Description

00 IESNA91

01 <Keyword [TEST]>

02 <Keyword [MANUFAC]>

03 ...

04 <Keyword n>

05 TILT = <file-spec> or <INCLUDE> or <NONE>

06 <lamp-to-luminaire geometry>

07 <# of pairs of angles and multiplying factors>

08 <angles>

09 <multiplying factors>

10 <# of lamps> <lumens per lamp> <candela multiplier>

<# of vertical angles> <# of horzontalangles> <photometric type>

<units type> <width> <length> <height>

11 <ballast factor> <ballast-lamp photometric factor> <input watts>

12 <vertical angles>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13 <horizontal angles>

14 <candela values for all vertical angles at first horizontal angle>

15 <candela values for all vertical angles at second horizontal angle>

16 ...

17 <candela values for all vertical angles at nth horizontal angle>

ข้อแตกต่างระหว่าง LM-63-1986 และ LM-63-1991 คือ

-บรรทัด 00 (IESNA91) ถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อความสะดวกในการแยกแฟ้มข้อมูล LM-63-1991 ออกจาก LM-6-1986

-ไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดเลขบรรทัด โดยสามารถที่จะเริ่มบรรทัดด้วย Keywords ใดๆ ซึ่งผู้ใช้กำหนดขึ้นเอง

ในส่วนของบรรทัด 05-17 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3. IES LM-63-1995

Id Description

00 IESNA : LM-63-1995

01 <Keyword 1>

02 <Keyword 2>

03 ...

04 <Keyword n>

05 TILT = <file-spec> or <INCLUDE> or <NONE>

06 <lamp-to-luminaire geometry>

07 <# of pairs of angles and multiplying factors>

08 <angles>

09 <multiplying factors>

10 <# of lamps> <lumens per lamp> <candela multiplier>
<# of vertical angles> <# ofhorizontal angles> <photometric type>
<units type> <width> <length> <height>

11 <ballast factor> <factor> <future use> <input watts>

12 <vertical angles>

13 <horizontal angles>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14 <candela values for all vertical angles at first horizontal angle>

15 <candela values for all vertical angles at second horizontal angle>

16 ...

17 <candela values for all vertical angles at nth horizontal angle>

ข้อแตกต่างระหว่าง LM-63-1991 และ LM-63-1995 คือ

-บรรทัด 00 เปลี่ยนเป็น LM-63-1995 เพื่อความแตกต่างจากแฟ้มข้อมูลอื่นๆ(LM-63-1986 และ LM-63-191)

-เพิ่มจำนวน Keywords ให้มากขึ้น และ keywords ลักษณะใหม่ๆ มากขึ้น

-คำว่า<Ballast-lamp photometric factor> เปลี่ยนเป็น <future use>

ส่วนบรรทัด 05-17 ยังคงเหมือนเดิม

<u>รายละเอียดแฟ้มข้อมูล IES</u>

ข้อมูลทางแสง LM-63 ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อข้างต้น จำเป็นต้องมี <CR><LF> ในทุกบรรทัด และข้อมูลจะอยู่ในรูป text file

ในส่วนของเลขบรรทัดนั้นอาจมีบรรทัดเดียวหรือมากกว่าก็ได้ ในกรณีที่ข้อมูลมีเกินความกว้างเกิน1 บรรทัด โดยที่ความกว้างของตัวอักษรใน 1 บรรทัด ของบรรทัด keywords รวมเครื่องหมาย <CR><LF> จะไม่เกิน 82 ตัวอักษร ส่วนบรรทัดอื่นๆ 132 ตัวอักษร

รายละเอียดของแฟ้มข้อมูล IES ทั้ง 3 แบบข้างต้น มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. **File Format Identifier (บรรทัด 00)**

IES LM-63-1991 และ LM-63-1995 เริ่มต้นด้วยคำเฉพาะว่า "IESNA91" และ "IESNA : LM-63-1995" ตามลำดับ ส่วน IES LM-63-1986 ไม่มีบรรทัดนี้

2. **Label lines หรือ keywords (บรรทัด 01-04)**

-Label lines บอกถึงรายละเอียดของแหล่งกำเนิดแสง และโคมฉาย และข้อชี้แนะต่างๆ

-Keywords ลักษณะที่สำคัญคือต้องอยู่ในวงเล็บ [ ] ดังตัวอย่าง

[TEST] ABC1234 ABC Laboratories

Keywords ที่จำเป็นใน LM-63-1995 ประกอบด้วย

[TEST] เลขที่ ของรายงานการทดสอบ และชื่อห้องทดลอง

[MANUFAC] ชื่อผู้ผลิตโคมฉาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[LUMCAT] เลขที่รายการของโคมฉาย (Catalog) ของผู้ผลิต

[LUMINAIRE] รายละเอียดของโคมฉาย

[LAMPCAT] เลขที่รายการของหลอดไฟ (Catalog) ของผู้ผลิต

[LAMP] รายละเอียดของหลอดไฟ

ซึ่งอาจมีมากกว่านี้ เช่นรายละเอียดของการทดสอบ, ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะโคมฉาย อื่นๆ รวมทั้งส่วนที่ผู้ใช้กำหนดเอง

3. TILT = (บรรทัด 05)

คำดังกล่าวจะปรากฏอยู่หลังส่วน Label หรือ keywords ซึ่งมีความสำคัญ เพราะในหลอดไฟดวงเดียวกัน ข้อมูลทางแสงจะเปลี่ยนไปเมื่อมุม tilt ของโคมฉายเปลี่ยนไปที่มุมต่างๆ ซึ่งจะกำหนดโดยใช้ค่าตัวคูณ เมื่อมุม tilt ต่างๆ สามารถแสดงได้ 3 แบบ คือ

3.1 NONE เมื่อค่าทางแสงของหลอดไฟไม่ได้แปรผันตามมุม tilt ของโคมฉาย โดยหาก

กำหนดเป็น TILT = NONE แล้วบรรทัดดังต่อไปนี้จะไม่ปรากฏในแฟ้มข้อมูล IES

06 <lamp-to-luminaire geometry>

07 <# of pairs of angles and multiplying factors>

08 <angles>

09 multiplying factors>

3.2 TILT = INCLUDE เมื่อค่าทางแสงของหลอดไฟแปรผันตามข้อมูล tilt ของโคมฉาย ดังนั้นในส่วน 4 บรรทัดต่อไปนี้จำเป็นต้องมีในแฟ้มข้อมูล IES

06 <lamp-to-luminaire geometry>

07 <# of pairs of angles and multiplying factors>

08 <angles>

09 <multiplying factors>

3.3 TILT = <filename> มีลักษณะเดียวกับ TILT = INCLUDE โดยที่ filename คือชื่อของแฟ้มข้อมูลที่มีข้อมูลทางแสงที่เกี่ยวกับมุม TILT ปรากฏอยู่

3 Lamp-to Luminaire Geometry (บรรทัด 06)

เป็นเลขจำนวนเต็มที่บอกถึงตำแหน่งที่ตั้งหรือทิศทางของหลอดไฟ ซึ่งอยู่ภายในโคมฉาย โดยความหมายของเลขต่างๆ เป็นดังต่อไปนี้

เลข 1 ฐานหลอดไฟอยู่ในลักษณะแนวดิ่งทั้งตั้งขึ้นและลง ส่วนโคมฉายเล็งลงล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลข 2 หลอดไฟวางตัวในแนวแกนนอน และยังคงอยู่ในแนวเดิม ถึงแม้ว่าโคมฉายเอียงลงล่างหรือหมุนรอบแกนศูนย์องศาในแนวแกนนอน

เลข 3 หลอดไฟอยู่ในแนวแกนนอนเมื่อโคมฉายเอียงลงล่าง แต่จะเปลี่ยนแนวไปเมื่อโคมฉายหมุนไปในแนวแกนศูนย์องศาในแนวแกนนอน

ค่าดังกล่าวจะไม่ปรากฏ ในกรณีที่ TILT = NONE

4 **Number of Pairs of TILT Angles and Multiplying Factors (บรรทัด 07)**

จำนวนเต็มที่แสดงถึงจำนวนมุม tilt ของหลอดไฟทั้งหมดที่ทำการทดลอง และค่าแฟคเตอร์ตัวคูณ candela

ในกรณี TILT = "NONE" จะไม่มีมุม

5 **TILT Angle (บรรทัด 08)**

แสดงค่ามุม TILT ของหลอดไฟที่ทำการทดลอง อาจเป็นจุดทศนิยมได้ ในกรณีที่ TILT = NONE บรรทัดนี้จะไม่ปรากฏ

6 **TILT Multiplying Factor (บรรทัด 09)**

แสดงค่าแฟคเตอร์ตัวคูณ Candela ที่มุม tilt ต่างๆของหลอดไฟ ในกรณีที่ TILT= NONE จะไม่ปรากฏบรรทัดนี้

7 **Number of Lamps (บรรทัด10)**

จำนวนหลอดไฟในโคมฉาย

8 **Lumens Per Lamp (บรรทัด 11)**

แสดงค่า Lumen ต่อหลอดไฟ ซึ่งค่าเหล่านี้มักจะเป็นของผู้ผลิตหลอดไฟ โดยที่แสดงเป็นเลขจำนวนจริง แต่ค่าดังกล่าวไม่ใช่ค่า lumen จริงของหลอดไฟที่ได้จากการทดสอบ

ในกรณีหลอดไฟมากกว่าหนึ่งหลอด ซึ่งมีค่า Lumen ต่างกัน จะใช้ค่าเฉลี่ยของหลอดไฟทั้งหมดในโคมฉาย

9 **Candela Multiplier (บรรทัด 10)**

เป็นเลขจำนวนจริงซึ่งแสดงถึงค่าตัวแฟคเตอร์ตัวคูณ เพื่อนำไปใช้คูณกับค่าของข้อมูลทางแสงภายใน (บรรทัด 14-17)

10 **Number of Vertical Angles (บรรทัด 10)**

เป็นเลขจำนวนเต็ม ซึ่งแสดงค่าจำนวนมุมทั้งหมดในแนวดิ่งที่ได้ทำการทดลอง ข้อมูลทางแสง (บรรทัด 14-17)

11 **Number of Horizontal Angles (บรรทัด 10)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเลขจำนวนเต็ม ซึ่งแสดงค่าจำนวนมุมทั้งหมดในแนวนอนที่ได้ทำการทดลองข้อมูลทางแสง(บรรทัด 14-17)

12 Photometric Type (บรรทัด 10)

บ่งบอกถึงชนิดต่างๆ ดังนี้

ค่า 1 คือ Type C

ค่า 2 คือ Type B

ค่า 3 คือ Type A

ในการวัดค่าความเข้มแสง (Candela)ทำได้โดย เสมือนว่ามีพื้นผิวสมมติขึ้นรูปโคมฉาย แล้วทำการวัดค่าบนพื้นผิวในทุกๆ ช่วงโดยแบ่งเป็นกริด (grid) หรือเรียกว่า "photometric web" ตำแหน่งของโคมฉาย จะต่างกันไปในแต่ละพื้นผิว ขึ้นอยู่กับชนิดต่างๆ (type)

Type C บอกถึงโคมฉายสำหรับ ถนน หรือโคมด้านสถาปัตย์ ซึ่งแกน polar อยู่ในแนวดิ่งของโคมฉาย และ ระนาบ 0-180 องศา เป็นแกนหลักของโคมฉาย (length)

Type B บอกถึงโคมฉายสำหรับภายนอก และกีฬา ซึ่งแกน polar ของโคมฉายเป็นแนวแกนรอง (width) และระนาบ 0-180 องศา เป็นแกนในแนวดิ่งของโคมฉาย

Type A บอกถึงโคมฉายสำหรับ automotive headlight และไฟสัญญาณ ซึ่งแกน polar ของโคมฉาย เป็นแกนหลักของโคมฉาย และ ระนาย 0-180 องศา เป็นระนาบในแนวดิ่ง

13 Unit type (บรรทัด 10)

ตัวเลขที่บอกถึง หน่วยการวัดที่ได้ทำการทดลอง โดย

ค่า 1 หมายถึง Feet

ค่า 2 หมายถึง Maters

15. Lumious Opening Dimensions (บรรทัด 10)

เป็นค่าที่บอกมิติของโคมฉาย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยแยกเป็นหลายส่วนดังนี้

15.1 Luminaire Width ความกว้างของโคมฉาย โดยวัดตามระนาบ 90-270 องศา

15.2 Luminaire Length ความยาวของโคมฉาย โดยวัดตามระนาบ 0-180 องศา

15.3 Luminaire Height ความสูงของโคมฉายโดยเฉลี่ย โดยวัดในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.4 Nonrectangular Luminous Openings สำหรับโคมฉายที่มี ลักษณะอื่นๆ โดยกำหนดรายละเอียดดังนี้

Width	Length	Height	ลักษณะของโคมฉาย
0	0	0	แบบจุด
w	l	h	สี่เหลี่ยมผืนผ้า
-d	0	0	วงกลม (d คือเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลม)
-d	0	-d	ทรงกลม(d คือเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลม)
-d	0	h	ทรงกระบอกแนวตั้ง(d คือเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอก)
0	l	-d	ทรงกระบอกแนวนอน (d คือเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอก)
-w	l	h	วงรี ซึ่งวางตามแนวยาวของโคมฉาย
w	-l	h	วงรี ซึ่งวางตามแนวกว้างของโคมฉาย
-w	l	-h	ทรงรี ซึ่งวางตามแนวยาวของโคมฉาย
w	-l	-h	ทรงรี ซึ่งวางตามแนวกว้างของโคมฉาย

16. Ballast Factor (บรรทัด 11)

อัตราส่วนของค่า Lumens ของหลอดไฟ เมื่อใช้งาน ballast ทั่วไปกับค่า lumen ของหลอดไฟ เมื่อใช้งานกับ ballast มาตรฐาน ในการใช้งานต้องนำค่า candela ที่อ่านได้จากแฟ้มข้อมูล IES(บรรทัด 14-17) คูณด้วยค่า Ballast Factor ผลลัพธ์ที่ได้จึงนำไปใช้งานต่อไป

17. Ballast-Lamp Photometric Factor หรือ Future Use(บรรทัด 11)

ในกรณี LM-63-1986 จะเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่า lumen ของหลอดไฟ โดยใช้ ballast และหลอดไฟชนิดที่ใช้สำหรับ photometric report กับค่า lumen ของหลอดไฟ โดยใช้ ballast และหลอดไฟ ชนิดที่ใช้สำหรับการทดสอบทางแสง

ในกรณี LM-63-1995 เนื่องจากค่านี้ได้มีการแสดงแล้วอยู่ในส่วน Ballast Factor ดังนั้นในส่วนนี้จึงแสดงค่าเป็น 1 เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับ LM-63 รุ่นก่อนๆ

18. Input Watt (บรรทัด 11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าพลังงานทั้งหมดที่โคมฉายใช้ไปได้มาจากการทดสอบ โดยที่ค่าดังกล่าวไม่เปลี่ยนไปตามค่า ballast factor หรือ ballast-lamp photometric factor แต่ค่านี้อาจเปลี่ยนเมื่อค่าความเข้มแสง(candela) ที่วัดได้เปลี่ยนแปลง

19. Vertical Angle(บรรทัด 12)

เป็นค่ามุมต่างๆ ในแนวดิ่ง

สำหรับ Type C ค่ามุมในแนวดิ่ง เริ่มจากค่า 0 หรือ 90 องศาไปสิ้นสุดที่มุม 90 หรือ 180 องศา

สำหรับ Type A หรือ B ค่ามุมในแนวดิ่ง เริ่มจากค่า –90 หรือ 0 องศา ไปสิ้นสุดที่มุม 90 องศา

20. Horizontal Angle(บรรทัด 13)

เป็นค่ามุมต่างๆ ในแนวนอน

สำหรับ type C ค่ามุม เริ่มจากค่า 0 องศา และไปสิ้นสุดที่ค่าต่างๆ ดังนี้

- 0 องศา ในกรณีนี้ คือมีแค่เพียงระนาบเดียวใช้กับโคมฉายที่มีลักษณะสมมาตรกันในทุกๆระนาบ

-90 องศา โคมฉายที่มีลักษณะสมมาตรกันในแต่ละ quadrant

-180 องศา โคมฉายที่มีลักษณะสมมาตรกันในรอบแนวแกน 0-180 องศา

-360 องศา โคมฉายที่มีลักษณะไม่สมมาตรกันในทุกๆมุมต่างๆ

สำหรับ type A,B ที่โคมฉายสมมาตรรอบแกนในแนวดิ่ง ค่ามุมเริ่มต้นของมุมในแนวนอนคือ 0 องศา และไปสิ้นสุดที่ค่า 90 องศา

สำหรับ type A,B ที่โคมฉายไม่สมมาตรรอบแกนในแนวดิ่ง ค่ามุมเริ่มต้นของมุมในแนวนอน คือ –90 องศา และไปสิ้นสุดที่ค่า 90 องศา

21. Candela Values (บรรทัด 14-170)

ค่าทั้งหมดนี้เป็นค่าความเข้มแสง (Candela) โดยที่ในบรรทัดเดียวกันจะมีค่ามุมในแนวนอนเดียวกัน และ ค่า Candela ในแต่ละบรรทัด เป็นค่า Candela ที่มุมในแนวดิ่งต่างๆ

ตัวอย่างข้อมูล IES

IESNA : LM-63-1995

[TEST] ABC1234 ABC Laboratories

[MANUFAC] Aardvark Lighting Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[LUMCAT] SKYVIEW 123-XYZ-abs-400

[LUMINAIRE] Wide beam flood to be used without tilt

[LAMPCAT] MH-400-CLEAR

[LAMP] Metal Halide 400 watt

[BALLASTCAT] Global 16G6031-17R

[BALLAST] 400W 277V MH

[MAINCAT] 4

[OTHER] This luminaire is useful as an indirect flood

[MORE] applications.

[SEARCH] POLLUTION SPORTS INDIRECT

[BLOCK]

[LUMCAT] TENNISVIEW 123-XYZ-abc-400

[LUMINAIRE] Wide beam flood for indirect applications.

[ENDBLOCK]

TILT – INCLUDE

1

13

0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 165 180

1.0 .95 .94 .90 .88 .87 .98 .87 .88 .90 .94 .95 1.0

1 50000 1 5 3 1 1 .5 .6 0

1.0 1.0 495

0 22.5 45 67.5 90

0 45 90

10000 50000 25000 10000 5000

10000 35000 16333 8000 3000

10000 20000 10000 5000 1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วิธีการ Point by Point

ในการคำนวณเพื่อหาค่าความส่องสว่างในลักษณะเป็นจุด ไม่ว่าจะเป็นจุดบนพื้นผิวล่าง หรือผนังก็ตาม จะต้องคำนวณโดยคำนึงถึง แสงสว่าง 2 ส่วน คือ ส่วนที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง และส่วนที่เกิดจาก แสงสะท้อนจากผนังต่างๆ แล้วนำมารวมกันซึ่งจะได้เป็นค่าของความส่องสว่าง ณ จุดนั้น

Source	Point			Linear			Area		
Plane	Horiz	Vert.	Inclened	Horiz	Vert.	Inclened	Horiz	Vert.	Inclened
1.Inverse Square	x	x	x						
2.Plan-Scale Method	x	x							
3.Angular Coord-DIC Method				x	X				
4.IES-London-Aspect Factor Method				x	X	x			
5.Illumination Charts and Tables	x	x	x	x	X	x	x	x	x
6.Idealized Soure Chart							x	x	
7.Configuration Factor							x	x	

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง และ วิธีคำนวนเพื่อหาค่าความส่องสว่าง ที่เหมาะสม สำหรับแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชนิด

โดยเป็นการเพื่อหาค่าความส่องสว่างโดยตรง จากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดนั้นที่พิจารณา เครื่องหมาย X จะแสดงให้เห็นว่า วิธีการคำนวณแบบใหม่ที่เหมาะกับแหล่งกำเนิดทรงนั้นๆ ซึ่งจะอธิบายวิธีคำนวรดังกล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

วิธีการคำนวณแบบ Inverse-Square Law

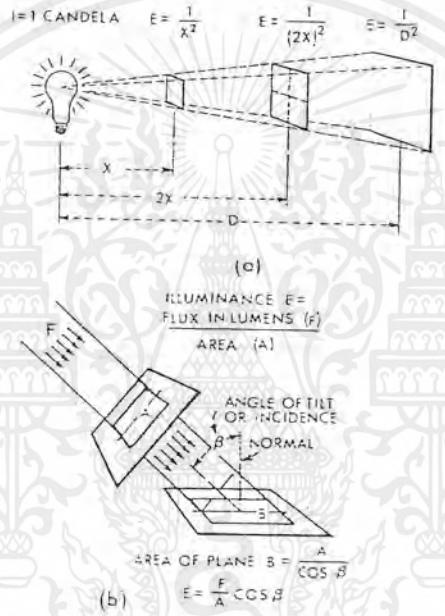
การใช้สูตรในการคำนวณ แบบวิธีอินเวอร์สแควร์ นั้น เป็นวิธีที่ต้องทราบระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และจุดที่จะต้องการทราบข้อมูลการส่องสว่างที่ชัดเจน แน่นอนที่ความส่องสว่างในทิศทางของแสงนั้น ต่อระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสง ถึงจุดบนระนาบ ยกกำลังสอง

$$E = \frac{I}{D^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพื้นผิวที่แสงส่องบนระนาบ เป็นพื้นผิวที่มีมุมยก เกิดขึ้นดังรูป ซึ่งค่าความส่องสว่างที่ปรากฏจริงบนระนาบ B จะมีค่าลดลง มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่าง พื้นที่. A ต่อ พื้นที่.
ซึ่งก็คือค่าของ cosine ของมุมที่เปลี่ยนไปจากแนวแกนดั้งฉากทางมุมเดิม ดังรูป

$$E = \frac{I}{D^2} \times \cos\beta$$



รูปที่2.11 แสดงการคำนวณแบบธรรมดา และ แบบมีมุมโดไซน์โดยวิธีอินเวิร์สสแควร์ลอว์

ซึ่ง β คือค่ามุมระหว่าง ทิศทางของแสงกับ แกนตั้งของระนาบที่แรงนั้นตกกระทบ

หากนำหลักการดังกล่าวข้างต้นไปประยุกต์ ใช้กับการหาค่าความส่องสว่าง บนพื้น และบนผนังตามรูป โดย H ระยะตั้งฉากระหว่าง แหล่งกำเนิดของแสงจนถึงตัวระนาบที่แสงตกกระทบ

R คือ ระยะทางตามแนวระนาบ จากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่แสงตกกระทบ

D คือ ระยะทางจริงของแหล่งกำเนิดแสง ถึง จุดที่ตกกระทบ

I คือ ความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง ตามทิศทางจริง(ซึ่งหาได้จาก Curve ที่แสดงในค่า I)

$$E_h = \frac{I \times \cos^3\theta}{H^2}$$

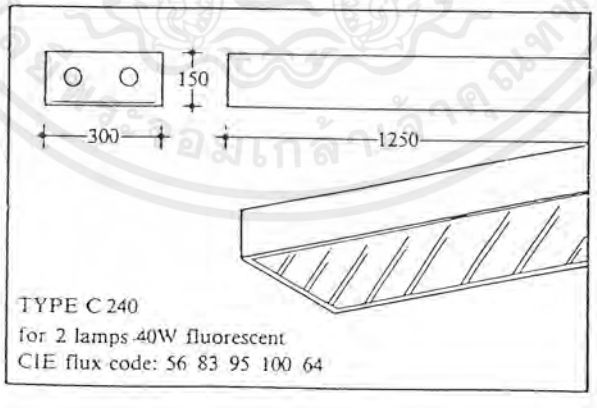
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การคำนวณโดยวิธี Applied Method ของ CIE

1. ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม (Photometric Luminaire Data) โดยทั่วไป แคตาลอคของดวงโคมจะบอกลักษณะการกระจายแสงในลักษณะใดลักษณะหนึ่งใน 4 แบบ ดังนี้คือ

- ฟลักซ์โค้ด (Flux Code)
- โซนอลฟลักซ์ (Zonal Flux)
- ความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย (Average Luminous Intensity)
- ความเข้มส่องสว่างในระนาบหรือเพลนต่างๆ (Luminous Intensity in C - Plane)

ฟลักซ์โค้ด เป็นการบอกลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในรูปอัตราส่วนของฟลักซ์ที่มุมเชิงของแข็ง (Solid Angle) ต่างๆ โดยแสดงในรูปของ N1, N2, N3, N4, N5 ซึ่ง N1, N2, N3 เรียกว่า ฟลักซ์ทริปเลต (Flux Triplet) ดวงโคมมาตรฐาน CIE ส่วนใหญ่จะบอกค่าฟลักซ์โค้ดมาให้ดังรูปที่ 1 ค่าฟลักซ์โค้ดมาให้ดังรูปที่ 1 ค่าฟลักซ์โค้ดที่กำหนดมาให้เมื่อนำไปใช้ต้องหารด้วย 100 ก่อน เช่น N1 = 0.56, N2 = 0.83



รูปที่ 2.12 การบอกการกระจายแสงของดวงโคมในรูป Flux Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซนอลฟลักซ์ เป็นการบอกลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของโซนอลฟลักซ์ที่มุมครึ่งยอดกรวย (Half Apex Angle) 0°-180° ดังแสดงในรูปที่ 2 การหาฟลักซ์โค้ดจากโซนอลฟลักซ์สามารถหาได้ดังนี้คือ

FC1 = ZF(41.4)

= -0.0605ZF(30) + 0.9801ZF(40) + 0.0804ZF(50)

FC2 = ZF(60)

FC3 = ZF(75.5)

= 0.3241ZF(70) + 0.7995ZF(80) – 0.1236ZF(90)

FC4 = ZF(90)

F = ZF(180)

S.PHI = Base Lumen

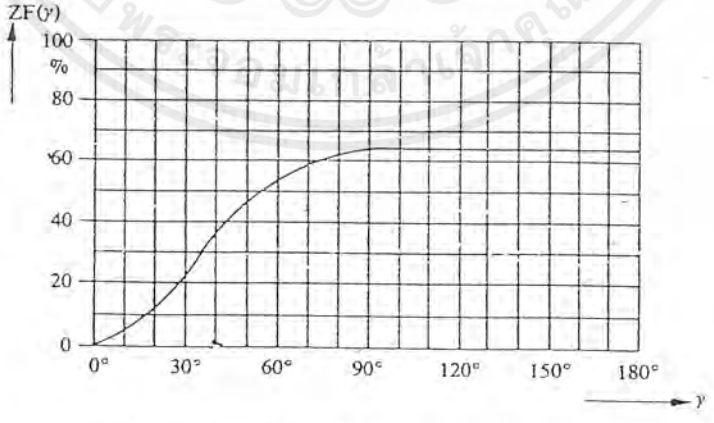
N1 = FC1/FC4

N2 = FC2/FC4

N3 = FC3/FC4

N4 = FC4/F

N5 = F/S.PHI



zonal flux : ZF(γ) per 10000 ℓm

γ : 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90° 180°

ZF(γ) : 29 110 222 342 449 531 587 621 640 640 ℓm

รูปที่ 2.13 การบอกการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของโซนอล ฟลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

FC1→FC4 คือ ฟลักซ์สะสม (Cumulative Flux) ซึ่งหาได้จากโซนอลฟลักซ์ที่มุมเชิงของแข็ง

F คือ ฟลักซ์ที่ออกจากดวงโคมทั้งหมด (Total Flux) ซึ่งหาได้จากโซนอลฟลักซ์ที่มุมเชิงของแข็ง

S คือ จำนวนหลอดไฟใน 1 ดวงโคม

PHI คือ ฟลักซ์ที่ออกจากหลอดไฟทั้งหมด

N1→N5 คือ ฟลักซ์โค้ด

ความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย (Average Luminous Intensity) เป็นการบอกลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของความเข้มส่องสว่างเฉลี่ยมุม γ เท่ากับ 0°-85° ในครึ่งทรงกลมล่าง และ 95°-175° ในครึ่งทรงกลมบน ดังแสดงในรูปที่ 3 การหาโซนอลฟลักซ์จากความเข้มส่องสว่างเฉลี่ยสามารถหาได้ดังนี้ คือ

ZF คือ โซนอลฟลักซ์

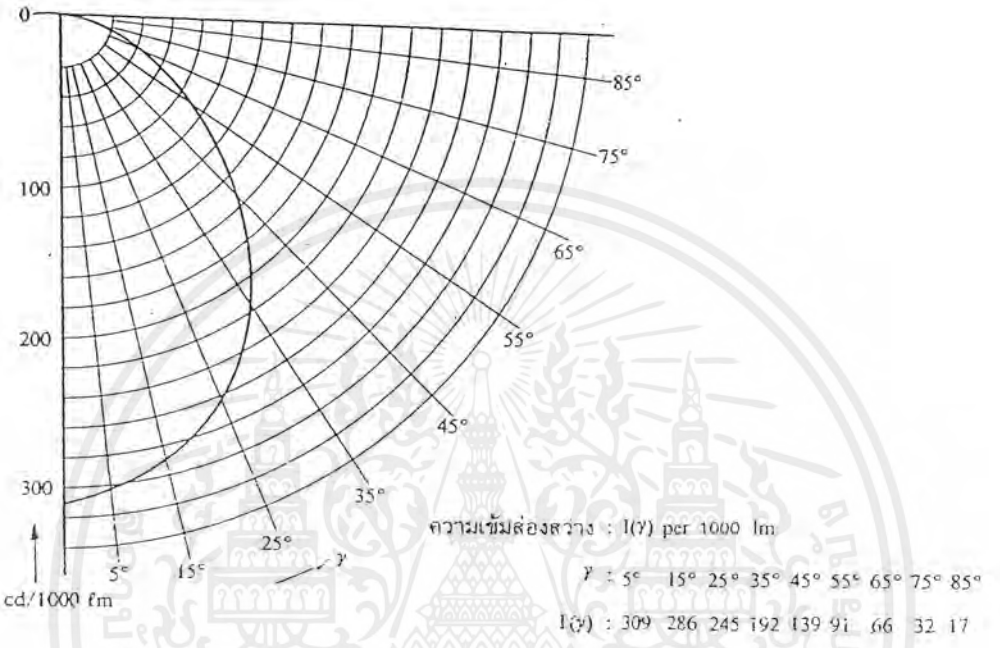
γ คือ มุมครึ่งยอดกรวย

I' คือ ความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย

$\Delta\omega$ คือ ค่าคงที่ซึ่งมีค่าดังนี้ คือ

γ	γ	$\Delta\omega$
5°	175°	0.0955
15°	165°	0.2835
25°	155°	0.4629
35°	145°	0.6282
45°	135°	0.7744
55°	125°	0.8972
65°	115°	0.9926
75°	105°	1.0579
85°	95°	1.0911

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การบอกการกระจายของดวงโคมในรูปของความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย

ความเข้มส่องสว่างในระนาบต่างๆ (Luminous Intensity in C-Plane) เป็นการบอกลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของความเข้มส่องสว่างที่มุม γ เท่ากับ 0° - 175° ในระนาบต่างๆ ดังรูปที่ 4 การหาความเข้มส่องสว่างเฉลี่ยจากความเข้มส่องสว่างในระนาบต่างๆ สามารถหาได้ดังนี้ คือ

เพลน C	ความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย
C = 0, 90	$I'(\gamma) = (I(0, \gamma) + I(90, \gamma))/2$
C = 0, 45, 90	$I'(\gamma) = (I(0, \gamma) + 2 \cdot I(45, \gamma) + I(90, \gamma)/4$
C = 0, 30, 60, 90	$I'(\gamma) = (I(0, \gamma) + 2 \cdot I(30, \gamma) + 2 \cdot I(60, \gamma) + I(90, \gamma))/6$

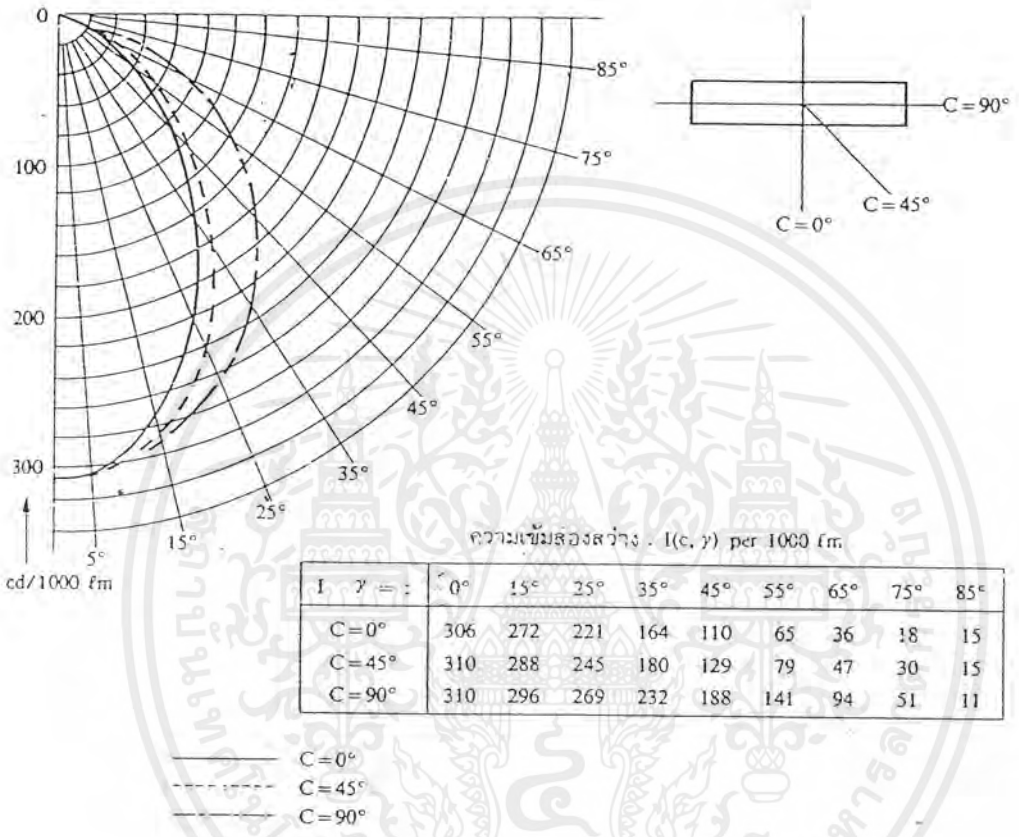
โดยที่

γ คือ มุมครึ่งยอดกรวยในระนาบต่างๆ

I' คือ ความเข้มส่องสว่างในระนาบต่างๆ

I' คือ ความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความเข้มส่องสว่าง . I(c, γ) per 1000 lm.

I γ = :	0°	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°	85°
C=0°	306	272	221	164	110	65	36	18	15
C=45°	310	288	245	180	129	79	47	30	15
C=90°	310	296	269	232	188	141	94	51	11

C=0°
C=45°
C=90°

รูปที่ 2.15 การบอกการกระจายแสงของดวงโคมในรูปความเข้มส่องสว่างในระนาบต่างๆ

2. รีดิวซ์ยูทิไลเซชันแฟกเตอร์ (Reduced Utilization Factor) รีดิวซ์ยูทิไลเซชันแฟกเตอร์ คือ อัตราส่วนของค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่พื้นผิวอ้างอิงหนึ่งต่อความหนาแน่นของฟลักซ์ที่ออกจากหลอดไฟ ค่านี้ขึ้นอยู่กับการกระจายแสงของดวงโคม ขนาดของห้อง สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวห้อง และการจัดวางตำแหน่งดวงโคม ซึ่งวิธี Applied Method ได้แสดงถึงขั้นตอนในการคำนวณหาไว้ดังนี้ คือ

ดัชนีห้องอัตราส่วนระยะแขวน (Room Index and Suspension Ratio) วิธีแอปพลายได้แบ่งห้องออกเป็น 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 5 และมีรายละเอียดดังนี้ คือ

1. เพดาน (Ceiling) คือ ส่วนของพื้นผิวในแนวนอนที่อยู่ส่วนบนสุดของห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผนังส่วนบน (Frieze) คือ ส่วนของพื้นผิวในแนวดิ่งของห้องระหว่างระนาบของดวงโคมและเพดาน

3. ผนัง (Wall) คือส่วนของพื้นผิวในแนวดิ่งของห้องระหว่างระนาบของดวงโคมและระนาบของพื้นที่ทำงาน

4. พื้นที่ทำงาน (Working Plane) คือ ส่วนของพื้นผิวในแนวนอนที่ใช้ทำงาน

ค่าดัชนีห้อง สามารถหาได้ดังนี้ คือ

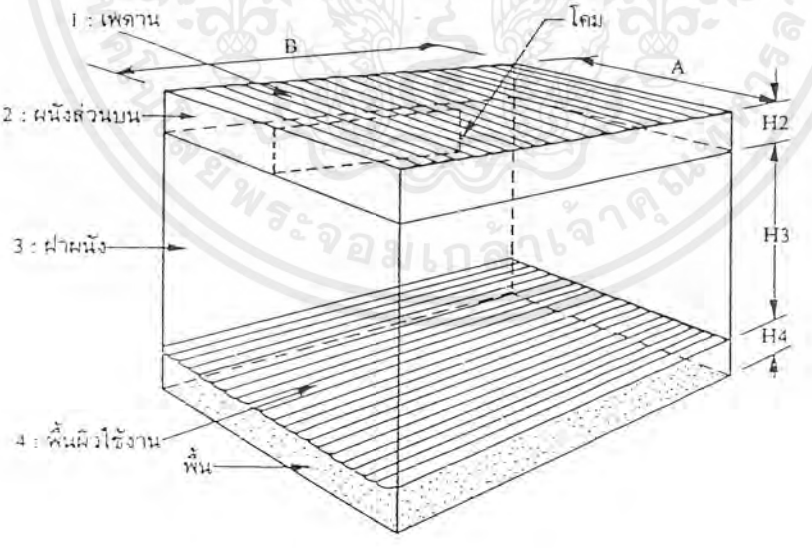
$$K = \frac{A \times B}{H3(A+B)}$$

โดยที่ K คือ ดัชนีห้อง

A คือ ความกว้างของห้อง

B คือ ความยาวของห้อง

H3 คือ ระยะระหว่างระนาบของดวงโคมกับระนาบของพื้นที่ทำงาน



รูปที่ 2.16 แสดงส่วนต่างๆ ของห้องที่แบ่งตามวิธี Applied Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราส่วนระยะแขวน สามารถหาได้ดังนี้ คือ

$$J = \frac{H2}{H2 + H3}$$

โดยที่

J คือ อัตราส่วนระยะแขวน

H3 คือ ระยะระหว่างระนาบดวงโคมกับระนาบของพื้นที่ทำงาน

H2 คือ ระยะระหว่างระนาบของดวงโคมกับเพดาน

จีโอเมตริกซ์มัลติพลายเออร์ **(Geometric Multiplier; GM)** เป็นเทอมที่แสดงถึงขนาดของพื้นที่ทำงานและตำแหน่งของดวงโคมเมื่อเทียบกับพื้นที่ทำงาน ในกรณีที่ติดตั้งดวงโคมเพียงดวงเดียว สามารถคำนวณหา GM ได้จากตารางหาค่า GM สำหรับโคมเดี่ยว

ไดเรต์เรโช **(Direct Ratio)** เป็นอัตราส่วนของฟลักซ์ที่ตกลงบนพื้นที่ทำงานทั้งหมดโดยตรงต่อฟลักซ์ที่ออกจากดวงโคมในทิศทางข้างล่างทั้งหมด ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้ คือ

$$DR = GM1 \cdot N1 + GM2 \cdot N2 + GM3 \cdot N3 + GM4$$

โดยที่

DR คือ ไดเรกต์เรโช

GM1-GM4 คือ จีโอเมตริกซ์มัลติพลายเออร์

N1-N3 คือ ฟลักซ์ทริปเลต

ค่าไดเรกต์เรโชนี้ บางครั้งแคตาลอกของดวงโคมจะบอกมาให้ โดยขึ้นอยู่กับค่าดัชนีห้องหรือบางครั้งอาจบอกมาให้ว่า ดวงโคมจัดอยู่ในคลาสไหน ซึ่งสามารถนำไปหาค่าไดเรกต์เรโชได้ จากตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

room index → class	0.60	0.80	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00	10.00	20.00
LIMIT	0.562	0.634	0.699	0.751	0.792	0.850	0.885	0.910	0.933	0.946	0.972	0.986
1	0.514	0.601	0.613	0.729	0.769	0.830	0.868	0.995	0.920	0.936	0.966	0.983
LIMIT	0.507	0.561	0.647	0.704	0.747	0.810	0.851	0.880	0.909	0.926	0.961	0.980
2	0.418	0.553	0.620	0.680	0.724	0.790	0.833	0.864	0.896	0.916	0.955	0.977
LIMI	0.450	0.526	0.594	0.655	0.701	0.771	0.815	0.848	0.883	0.905	0.949	0.914
3	0.423	0.500	0.568	0.631	0.679	0.752	0.799	0.833	0.871	0.895	0.944	0.972
LIMIT	0.395	0.473	0.542	0.607	0.656	0.732	0.781	0.818	0.859	0.885	0.939	0.969
4	0.368	0.446	0.516	0.583	0.634	0.712	0.764	0.802	0.846	0.875	0.933	0.966
LIMIT	0.339	0.419	0.409	0.558	0.611	0.692	0.746	0.736	0.834	0.864	0.927	0.962
5	0.312	0.392	0.463	0.533	0.588	0.672	0.729	0.771	0.822	0.854	0.923	0.960
LIMIT	0.284	0.365	0.437	0.509	0.566	0.653	0.712	0.756	0.809	0.844	0.917	0.857
6	0.265	0.346	0.417	0.489	0.546	0.634	0.685	0.739	0.795	0.831	0.909	0.952
LIMIT	0.247	0.325	0.394	0.465	0.521	0.609	0.669	0.715	0.773	0.811	0.894	0.942
7	0.228	0.302	0.368	0.437	0.492	0.578	0.638	0.684	0.744	0.764	0.874	0.929
LIMIT	0.212	0.281	0.343	0.408	0.461	0.545	0.606	0.652	0.714	0.755	0.853	0.914
8	0.194	0.259	0.318	0.380	0.431	0.513	0.573	0.620	0.683	0.726	0.831	0.900
LIMI	0.177	0.237	0.293	0.353	0.402	0.483	0.543	0.590	0.655	0.700	0.812	0.887
9	0.154	0.217	0.271	0.329	0.378	0.459	0.520	0.567	0.634	0.681	0.798	0.878
LIMIT	0.134	0.180	0.242	0.300	0.349	0.430	0.492	0.541	0.610	0.650	0.783	0.868
10	0.109	0.163	0.213	0.270	0.319	0.401	0.464	0.515	0.587	0.639	0.769	0.859
LIMIT	0.084	0.136	0.185	0.241	0.290	0.313	0.437	0.488	0.563	0.617	0.755	0.850

CIE installation classification

CIE values in the table represent the direct ratio of the centre of a class and its limits

ตารางที่ 2.4 การหาไดเรกต์เรโชจากคลาสของดวงโคม

การคำนวณรีดิวซ์ยูทิไลเซชันแฟกเตอร์ (Calculate Reduce Utilization Factor)

จากค่าฟลักซ์โค้ด ไดเรกต์เรโช และเวกติงแฟกเตอร์อาร์เอ็ม สามารถนำมาคำนวณหารีดิวซ์ยูทิไลเซชันแฟกเตอร์ได้ดังนี้ คือ

$$RU1 = (RM11 + (RM12 + RM13 \times DR) \times N4)/1000$$

$$RU3 = ((RM31 + (RM32 + RM33 \times DR) \times N4)/1000$$

$$RU4 = (RM41 + (RM42 + RM43 \times DR) \times N4)/1000$$

$$RUF1 = RU1 \times .N5$$

$$RUF3 = RU3 \times .N5$$

โดยที่ RUF1 คือ รีดิวซ์ยูทิไลเซชันแฟกเตอร์ของเพดาน

RUF3 คือ รีดิวซ์ยูทิไลเซชันแฟกเตอร์ของผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RUF4 คือ รีดิวซ์ยูทิไลเซชันแฟกเตอร์ของพื้นที่ทำงาน

RM คือ เวจติงแฟกเตอร์ (Weighting Factor)

DR คือ ไดเรกต์เรโช

N4,N5 คือ ฟลักซ์โค้ด

3. จำนวนดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้ง (Number of Luminaires) ในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร สามารถคำนวณหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของทุกๆ จุดบนพื้นผิวอ้างอิงพื้นผิวหนึ่งได้ดังนี้ คือ

ความเข้มแสงเฉลี่ย = ฟลักซ์ที่ตกกระทบลงบนผิวนั้น / พื้นที่ผิวนั้น

เนื่องจากฟลักซ์ที่ออกจากหลอดไฟทั้งหมดไม่ได้ตกกระทบลงบนพื้นผิวนั้นทั้งหมด แต่มีการสูญเสียเมื่อผ่านดวงโคมและการสะท้อนจากพื้นผิวอื่น ซึ่งแฟกเตอร์ที่แสดงความสัมพันธ์อันนี้ คือ Utilization Factor (UF) โดยนิยามได้ดังนี้

UF = ฟลักซ์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวนั้น / ฟลักซ์ที่ออกจากหลอดไฟ

ดังนั้น

ความเข้มแสงเฉลี่ย = ฟลักซ์ที่ออกจากหลอดไฟ × UF / พื้นที่ผิวนั้น

เนื่องจากค่าความเข้มแสงนี้เป็นค่าความเข้มแสงเริ่มต้นหลังจากการติดตั้งใหม่ แต่เมื่อมีการใช้งานที่ระยะเวลาหนึ่ง ค่าความเข้มข้นแสงจะลดลงเพราะความสูญเสียของแสงที่เกิดจากความเสื่อมของหลอดไฟ ดวงโคม และพื้นผิวห้อง ซึ่งแฟกเตอร์ที่แสดงความสัมพันธ์อันนี้คือ Maintenance Factor (MF) ดังนั้น

ความเข้มแสงที่ต้องการ = ฟลักซ์ที่ออกจากหลอดไฟ·UF·MF / พื้นที่ผิวนั้น

$$E = \frac{NM \cdot S \cdot Phi \cdot UF \cdot MF}{A}$$

ค่าความเข้มเฉลี่ยที่เพดานและผนังส่วนบน หาได้ดังนี้ คือ

$$E_1 = E_2 = \frac{NM \cdot S \cdot Phi \cdot MF \cdot UF1}{A1}; A1 = A \cdot B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{NM \cdot S \cdot Phi \cdot MF \cdot RUF1}{A \cdot B}$$

ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ผนัง หาได้ดังนี้ คือ

$$E_3 = \frac{NM \cdot S \cdot Phi \cdot MF \cdot UF3}{A3}; A3 = \frac{2A \cdot B}{K}$$

$$= \frac{NM \cdot S \cdot Phi \cdot MF \cdot RUF3}{A \cdot B}$$

ความเข้มแสงเฉลี่ยที่พื้นที่ทำงาน หาได้ดังนี้ คือ

$$E_4 = \frac{NM \cdot S \cdot Phi \cdot MF \cdot UF4}{A4}; A3 = A \cdot B$$

$$= \frac{NM \cdot S \cdot Phi \cdot MF \cdot RUF4}{A \cdot B}$$

โดยที่

E1, E2, E3, E4	คือ ความเข้มแสงเฉลี่ยที่เพดาน ผนังส่วนบน ผนัง และพื้นที่ทำงาน
UF1, UF3, UF4	คือ ยูทิไลเซชันของเพดาน ผนัง และพื้นที่ทำงาน
RUF1, RUF3, RUF4	คือ รีดิวซ์ยูทิไลเซชันของเพดาน ผลัง และพื้นที่ทำงาน
NM	คือ จำนวนดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้ง
S	คือ จำนวนหลอดไฟใน 1 ดวงโคม
PHI	คือ ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกจากหลอดไฟ

ส่วนใหญ่แล้วพื้นที่ทำงานจะอยู่ที่พื้นผิวใช้งาน ดังนั้นในการคำนวณหาจำนวนดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้ง สำหรับค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการในการออกแบบ คือ

$$NM = \frac{E \cdot A \cdot B}{S \cdot Phi \cdot MF \cdot RUF4}$$

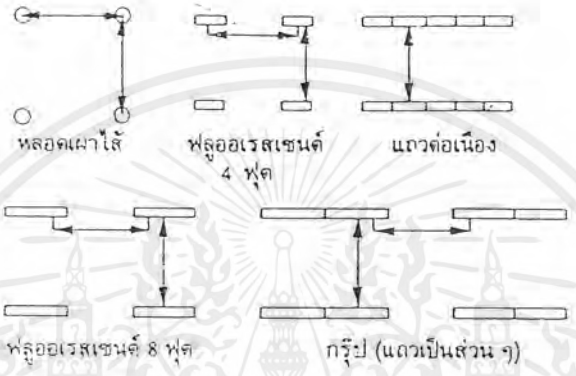
โดย E คือ ค่าความเข้มแสงในแนวนอนที่แนะนำในตารางทั่วๆไปตามมาตรฐาน CIE และ IES หรือดูได้จากตารางระดับความเข้มแสงที่ใช้ในการออกแบบ

4. การจัดวางตำแหน่งดวงโคม (Arangement of Luminaires) การจัดวางตำแหน่งดวงโคมสามารถแสดงได้ดังรูปข้างล่าง โดยแบ่งออกได้ดังนี้ คือ

- ดวงโคมแต่ละดวงแยกออกจากกัน (Individual)
- แถวที่ต่อเนื่อง (Continuous rows)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แถวที่แยกจากกัน (Partial rows)



รูปที่ 2.17 การจัดวางตำแหน่งดวงโคม

การจัดวางตำแหน่งดวงโคมด้วยวิธีดวงโคมแต่ละดวงแยกจากกัน สามารถจัดได้ดังนี้ คือ

- จำนวนดวงโคมในด้านกว้างของห้อง

$$N = \sqrt{\frac{A \cdot NM}{B}}$$

- จำนวนดวงโคมในด้านยาวของห้อง

$$M = \sqrt{\frac{B \cdot NM}{A}}$$

- ระยะห่างระหว่างดวงโคมกับดวงโคมในด้านกว้างของห้อง

$$SW = \frac{A}{N - \frac{1}{3}}$$

-ระยะห่างระหว่างดวงโคมกับดวงโคมในด้านยาวของห้อง

$$SL = \frac{B - (L \cdot M)}{M - \frac{1}{3}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีดวงโคมเป็นจุด (Point Source)

$$SL = \frac{B}{M - \frac{1}{3}}$$

กรณีดวงโคมมีความยาว (Linear source)

$$SL = \frac{B}{M - \frac{1}{3}}$$

-ระยะห่างระหว่างดวงโคมกับผนังในด้านกว้างของห้อง

$$PC = \frac{SW}{3}$$

-ระยะห่างระหว่างดวงโคมกับผนังในด้านยาวของห้อง

$$PL = \frac{SL}{3}$$

โดยที่ L คือ ความยาวของดวงโคม

NM คือ จำนวนดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้ง

A คือ ความกว้างของห้อง

B คือ ความยาวของห้อง

6. การตรวจสอบระยะห่างระหว่างดวงโคมกับดวงโคม (Check Spacing)แคตาลอกของดวงโคมจะบอกค่าระยะห่างสูงสุดต่อความสูงของการติดตั้ง (maximum spacing/mouthing height ratio) มาให้ ถ้าหากการติดตั้งดวงโคมอยู่ในระยะที่กำหนด การกระจายของความเข้มแสงเฉลี่ยจะสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ทำงาน โดยที่ค่าความสม่ำเสมอสำหรับระบบแสงสว่างแบบทั่วไปกำหนดไว้ว่า ค่าความเข้มแสงสูงสุดและค่าความเข้มแสงต่ำสุดของทุกๆจุดบนพื้นที่ทำงานจะไม่มีค่าสูงกว่า 1/6 และต่ำกว่า 1/6 ของค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในพื้นที่ทำงานนั้น

ถ้าระยะห่างระหว่างดวงโคมกับดวงโคมมากกว่าระยะห่างสูงสุดที่กำหนด การกระจายของค่าความเข้มแสงเฉลี่ยจะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นต้องแก้ไขโดยวิธีดังนี้ คือ

-เปลี่ยนขนาดของหลอดไฟ โดยให้ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟลดลง ซึ่งทำให้จำนวน1โคมที่ใช้ในการติดตั้งเพิ่มขึ้น ระยะห่างก็จะลดลง

-เปลี่ยนขนาดของหลอดไฟ โดยให้ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟลดลง ซึ่งทำให้จำนวนดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้งเพิ่มขึ้น ระยะห่างก็จะลดลง

-ลดระยะแขวนของดวงโคม ทำให้ดวงโคมมีการกระจายความส่องสว่างในพื้นที่มากขึ้น แต่ความส่องสว่างจะลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของดวงโคมเป็นลักษณะมีความยาว ปัญหาของจำนวนดวงโคมในด้านยาวของห้องมีมากเกินไปอาจเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีความยาวของดวงโคมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งถ้าติดตั้งไม่ได้สามารถทำการแก้ไขได้ดังนี้คือ

-เปลี่ยนขนาดของหลอดไฟโดยให้ฟลักซ์การส่องสว่างเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้งลดลง

-เปลี่ยนชนิดของหลอดไฟ จากแบบมีความยาวเป็นแบบจุดแทน (point source)

2.6 การออกแบบระบบแสงสว่าง (LIGHTING DESIGN)

แสงสว่าง เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ แสงสว่างนั้นไม่ว่าจะเป็นแสงไฟจากไฟฟ้าหรือแสงอาทิตย์ก็สามารถช่วยให้เรามองเห็นสิ่งต่างๆได้ แต่แสงสว่างที่เราเห็นนั้นมีประโยชน์มากกว่าแค่เพื่อการมองเห็น ดังนั้นในการออกแบบระบบแสงสว่างจึงไม่ใช่แค่การมุ่งเน้นทางวิศวกรรมเท่านั้น แต่ยังต้องมีการคำนึงถึงศิลปะด้วย ซึ่งแสงสว่างในมุมมองของศิลปะนั้น นิยมใช้กันมากในโรงภาพยนตร์ ตู้แสดงสินค้าและช่างถ่ายรูป การออกแบบแสงสว่างในแง่ดังกล่าวจึงต้องคำนึงถึงความสว่างที่เพียงพอและความสวยงามด้วย อาทิเช่น ติดตั้งหลอดไฟให้หลบหลังม่าน เป็นผลให้โคมไฟ, หลอดไฟและเทคนิคต่างๆในปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นมาก เพื่อความเหมาะสมกับสถานที่ต่างๆ

จากเหตุผลทางศิลปะนั้น แสงสว่างมีผลทางอารมณ์ต่อผู้ที่สัมผัส ดังนั้น นักออกแบบจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงคุณลักษณะต่างๆของแสงสว่าง อีกทั้งยังต้องเน้นถึงความรู้สึกของบุคคลที่สัมผัสต่อแสงสว่างลักษณะต่างๆ ผู้ออกแบบสามารถสังเกตได้จากโรงภาพยนตร์, ลักษณะแสงภายนอกและภายในอาคาร, การเปลี่ยนแปลงในฤดูต่างๆ เป็นต้น

ในการออกแบบที่มุ่งเน้นด้านวิศวกรรมนั้น อาจคิดคำนวณแต่ในลักษณะที่ว่าความสว่างนั้นต้องมีความสม่ำเสมอในแนวราบ ซึ่งอาจไม่มีความจำเป็นเลยหากต้องการออกแบบโดยเน้นทางศิลปะ โดยการออกแบบอาจมีแสงสว่างในแนวดิ่งเป็นจุดๆ หรือเกิดแสงเงาในบางที่ ซึ่งผลลัพธ์คืออาจส่งผลให้บุคคลที่ได้สัมผัสมีความรู้สึกชื่นชอบมากกว่าที่จะเน้นแต่ความสม่ำเสมอของแสงเพียงอย่างเดียว

กระบวนการออกแบบ (The Design Process)

ขั้นตอนการออกแบบ แบ่งเป็น 2 ขั้นหลัก คือ การวิเคราะห์และการสังเคราะห์ ขั้นแรก คือ รวบรวมข้อมูลพื้นฐานต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์และจัดการกับข้อมูลที่ได้มา (การวิเคราะห์) ขั้นต่อมา จึงทำการเลือกและรวบรวมส่วนประกอบต่างๆเพื่อทำการออกแบบ (การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์) ความยากในการออกแบบไม่ได้มีเพียงแค่การที่ส่วนประกอบต่างๆที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบนั้นมีจำนวนมาก แต่ยังต้องคำนึงถึงหน้าที่, รูปแบบ, ปัจจัยทางอารมณ์ ซึ่งต้องผสมผสานกันได้อย่างเหมาะสม

ผู้ออกแบบแสงสว่าง, สถาปนิก, ผู้รับเหมา, มัณฑนากรและวิศวกรที่ปรึกษา เหล่านี้ ควรคำนึงถึงกิจกรรมที่จะทำในบริเวณที่จะทำการออกแบบ อีกทั้งปัญหาด้านความพอใจ ระบบการป้องกันที่จะติดตั้งในกิจกรรมเหล่านี้ ปัญหาดังกล่าว รวมถึงการทำความเข้าใจในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด คณะผู้ออกแบบจะมีอิสระในการเลือกที่จะใช้โคมต่างๆโดยไม่ขึ้นกับด้านโครงสร้างต่างๆ

แสงจะมีอิทธิพลต่อจิตใต้สำนึกของผู้สังเกตต่อที่ว่างใดๆ ซึ่งการตัดสินใจของผู้สังเกตนั้นไม่เพียงแค่ขึ้นกับรูปร่างแต่จะขึ้นกับรูปร่างภายใต้แสงสว่างอีกด้วย ซึ่งต้องใช้ทั้งรสนิยมและลักษณะทางกายภาพควบคู่กันไปในการออกแบบ

<u>การเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบแสงสว่าง (Approaches To Lighting Design)</u>

- **พิจารณาถึงประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่ใช้**

เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการติดตั้งแสงสว่างอย่างมาก เช่น ในที่ทำงานในส่วนที่พิจารณา
คือ โต๊ะอ่านหนังสือ ในขณะที่โรงงานหรือบ้านพักอาศัยอาจไม่มีความจำเป็นต้องคำนึงถึงเลย แต่ในขณะที่บางปัจจัยนั้นจำเป็นต้องพิจารณาในทุกๆประโยชน์ใช้สอย เช่น ปัจจัยทางเศรษศาสตร์, ลักษณะทั่วไปของแสงโดยรวม, คุณภาพของแสง, อิทธิพลของแสงที่มีต่อจุดที่พิจารณา ดังนั้นเทคนิคการใช้งาน ซึ่งถูกแบ่งเป็นการออกแบบแสงสว่างในอุตสาหกรรม, ห้างร้าน, ที่ทำงาน ได้มีการพัฒนาบนรากฐานของวิธีการออกแบบสำหรับชนิดของจุดพิจารณาต่างๆซึ่งใช้ในแต่ละประเภทของการอยู่อาศัย การประยุกต์ใช้งานในแต่ละแบบได้มาจากการวิเคราะห์จากทฤษฎีทางวิศวกรรม ประสบการณ์ การยอมรับและความต้องการของผู้ใช้ในแต่ละกลุ่ม จึงจำเป็นต้องรวมความสัมพันธ์ของการออกแบบการติดตั้งระบบแสงสว่างให้กับแต่ละพื้นที่พิจารณา เพราะว่าสิ่งเหล่านี้จะมีมากกว่าราคาประเมิณที่ได้ตั้งเป้าไว้

- **เงื่อนไขในแง่คุณภาพและปริมาณของแสงสว่าง**

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกแสงสว่างให้กับพื้นที่พิจารณาต่างๆและให้กับพื้นที่แวดล้อมที่สามารถมองเห็นได้ แสงสว่างที่เลือกนี้ มีผลถึงความรู้สึกในการมองเห็นและความสามารถในการมองเห็นต่อพื้นที่ต่างๆ จากการศึกษา การมองเห็นที่ดีนั้นเกิดจากการที่ระดับความส่องสว่างมีความสม่ำเสมอ ไม่ว่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่พิจารณาหรือพื้นที่ข้างเคียง แต่สิ่งดังกล่าวเป็นการยากในการติดตั้งจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานด้านการตกแต่งหรือพื้นที่ที่ต้องจำกัดความสว่าง

จากที่ได้กล่าวไปแล้ว เรื่องแสงในแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งใช้กันมากในทางอุตสาหกรรมและธุรกิจ ดังนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยนี้ด้วย ดังนั้น การออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงทั้งคุณภาพของแสงและปริมาณของแสงที่เพียงพอกับการมองเห็นในพื้นที่พิจารณาและรอบข้าง ซึ่งค่าที่เหมาะสมได้มีการรวบรวมเอาไว้เป็นรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวก

- **การเลือกระบบแสงสว่าง, แหล่งกำเนิดและโคมฉาย**

ผู้ออกแบบมีทางเลือกมากมายในการเลือกชนิดและขนาดของแหล่งกำเนิด, โคมฉาย, อุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบแสงสว่าง โดยตัดสินใจได้จากประสบการณ์ รสนิยม เศรษฐกิจและอื่นๆ แล้วแต่ผู้ออกแบบแต่ละคน

ทางวิศวกรรมการส่องสว่าง ได้จัดระบบของแสงสว่างออกเป็น 5 ลักษณะ คือ แบบทั่วๆไป(General), แบบเฉพาะที่ (Local), แบบทั่วๆไปที่มีลักษณะเฉพาะที่ (Localized General), แบบเสริม (Supplementary), บริเวณรอบข้าง (Task-ambient), และได้จัดแบ่งโคมฉายตามลักษณะการกระจายแสงออกเป็น 5 ชนิด คือ แบบตรง (Direct), แบบกึ่งตรง (Semi-direct), แบบการกระจายแบบทั่วไป (General Diffuse), แบบกึ่งทางอ้อม (Semi-indirect), แบบอ้อม (Indirect), โดยที่การแบ่งเป็นประเภทต่างๆช่วยให้ง่ายในการกล่าวถึงแสงในที่ใดที่หนึ่ง

ทางเลือกในการเลือกแหล่งกำเนิด คุณสมบัติโคมฉายและการวางตำแหน่งของระบบแสงสว่าง มีความสัมพันธ์กันทั้งหมด ในขณะที่ผู้ออกแบบเลือกชนิดของแหล่งกำเนิด อาจเป็นได้ทั้งเหมาะสมและไม่เหมาะสมกับปัจจัยอื่นๆ ที่พบมาก เช่น แสงแบบเฉพาะพื้นที่ (Local) ใช้เงื่อนไขเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน, อุณหภูมิแวดล้อม, ฝุ่นละออง, ความต่อเนื่องของการใช้งานและสี ซึ่งทั้งหมดล้วนมีผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกแหล่งกำเนิด การติดตั้ง การใช้งาน ผลลัพธ์ การซ่อมบำรุงและผลโดยอ้อมคือเทคนิคในการประยุกต์ใช้งานกับระบบแสงสว่าง

ในการติดตั้งระบบแสงสว่าง ผู้ออกแบบอาจมีทางเลือกเป็นของผู้ออกแบบเอง แต่จากบางกรณี เช่น การออกแบบของสถาปนิกและเงื่อนไขของโครงสร้าง อาจทำให้ผู้ออกแบบต้องใช้วิธีเฉพาะแบบในกรณีนั้นๆ ดังนั้น การที่ผู้ออกแบบมีความรู้ในเรื่องของการควบคุมแสงสว่าง เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สามารถช่วยให้การออกแบบเป็นที่น่าพอใจและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยให้แก้ปัญหาต่างๆในการติดตั้งที่อาจเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การเลือกระบบควบคุมแสงสว่าง**

เป็นหัวข้อที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบันมีการให้ความสนใจในเรื่องการบริหารพลังงานเพื่อการประหยัดพลังงานเป็นอย่างมาก ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงระบบควบคุมแสงสว่างด้วย โดยระบบควบคุมแสงสว่างมีหลายระบบด้วยกัน ซึ่งมีทั้งระบบง่ายๆ เช่น photoelectric control ไปจนถึงระบบที่ควบคุมเฉพาะโคมฉาย ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม ระบบดังกล่าวใช้ในโครงการที่มีตึกหลายๆแห่งรวมอยู่ด้วยกัน อุปกรณ์ในการควบคุมก็มีทั้งสวิทช์, สวิทช์แบบหรี่ไฟได้, ตัวตั้งเวลา, photocellและอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งอุปกรณ์และระบบเหล่านี้ช่วยให้การจัดการพลังงานด้านแสงสว่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

- **การพิจารณาถึงปัจจัยด้านเศรษฐกิจ**

การออกแบบต้องคำนึงถึงต้นทุนทั้งหมด ซึ่งมีทั้งต้นทุนตอนติดตั้งและต้นทุนในขั้นของการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วต้นทุนในขั้นของการใช้งานมักจะได้รับการจัดว่าสำคัญมากกว่า ซึ่งมักจะพิจารณาจากอายุการใช้งานเป็นหลัก

เป็นการยากที่จะบอกถึงค่าที่แน่นอนของระบบแสงสว่างด้านพานิชย์และอุตสาหกรรม ในรูปของการผลิต ความปลอดภัย การควบคุมคุณภาพ คุณสมบัติของลูกจ้าง สุขภาพของพนักงาน หรือการให้น้ำหนักของความสำคัญของระบบแสงสว่างในบ้านเป็นตัวเงิน ผู้ออกแบบต้องทำให้ราคามีความสมดุลกับผลลัพธ์ของการติดตั้งระบบแสงสว่างใดๆที่ยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการแก้ปัญหา โดยการชั่งน้ำหนักของปัญหาทั้ง 2 ด้าน

- **พิจารณาถึงด้านส่วนประกอบทางกลและระบบทางเสียง**

เนื่องจาก ในอาคารใดจำเป็นต้องอาศัยระบบอื่นอีกมากมาย เช่น ระบบทำความเย็น, ระบบเสียง และยังมีการนำระบบต่างๆมาใช้งานรวมกัน อาทิเช่น ในช่องของโคมฉาย อาจมีทั้งแสงสว่างและเป็นช่องของระบบทำความเย็นในช่องเดียวกัน ดังนั้น ในการออกแบบการติดตั้งระบบแสงสว่างจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ร่วมกันได้กับระบบต่างๆได้อย่างลงตัว อีกทั้งต้องไม่ขัดแย้งกับมุมมองทางสถาปัตยกรรมอีกด้วย

- **พิจารณาร่วมกับเฟอร์นิเจอร์**

ในพื้นที่ของสำนักงาน จะมีการจัดวางเฟอร์นิเจอร์โดยการตกแต่งภายใน เพื่อจัดวางสิ่งต่างๆ เพื่อให้ได้ประโยชน์ใช้สอยได้มากที่สุด และในบางชนิดของเฟอร์นิเจอร์จะมีดวงโคมเฉพาะของตัวเอง เรียกว่า "Tasking Lighting" เพื่อส่องแสงสว่างไปเฉพาะเฟอร์นิเจอร์นั้นๆ แสงเหล่านี้อาจมีผลกระทบถึงค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างโดยรวมในพื้นที่นั้นๆ เว้นแต่จะมีการแก้ปัญหาโดยใช้แสงในลักษณะทางอ้อม (Indirect Lighting) ซึ่งส่องเข้าเพดานแล้วสะท้อนลงมาในพื้นที่พิจารณาอีกที ดังนั้น ในการติดตั้งระบบแสงสว่างจึงจำเป็นต้องมีการร่วมมือกันระหว่างผู้ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบระบบแสงสว่างกับสถาปนิกผู้ออกแบบตกแต่งภายในอาคาร เพื่อให้มีการจัดแสงสว่างให้เพียงพอกับเฟอร์นิเจอร์แต่ละชิ้น หรืออาจมีการเผื่อสำหรับอนาคต

- **ความสัมพันธ์กันระหว่างการออกแบบภายในและนอก**

ปัจจุบันได้มีการทำกิจกรรมในตอนกลางคืนเพิ่มขึ้น จึงต้องคำนึงถึงภายนอกอาคาร เช่น ในอาคารที่มีการใช้กระจกมาก จะมีผลต่อสภาวะภายนอกของอาคาร ทั้งกลางวันและกลางคืน ซึ่งอาจทำให้มีลักษณะมืดครึ้มเกินไป ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบในส่วนของภายนอกอาคารโดยใช้การออกแบบเช่นเดียวกับภายใน

Luminous Design Approach

มีขั้นตอน 3 ขั้น ดังนี้

1. พิจารณาถึงส่วนประกอบของพื้นที่พิจารณา

ผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจได้ว่าส่วนไหนของพื้นที่พิจารณาจะมีแสงสว่างหรือว่าส่วนไหนจะไม่มีแสงสว่าง หรือรูปแบบของแสงสว่างอย่างไรที่เหมาะสมกับโครงสร้างของพื้นที่นั้นๆ หรือขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำในพื้นที่นั้นๆ

ในทางปฏิบัติแล้ว สิ่งต่างๆเหล่านี้ทำโดยคนเพียงคนเดียว ซึ่งจำเป็นต้องมีความรู้ทั้งในด้านการตกแต่งภายใน, วิศวกรรมการส่องสว่างและวิศวกรรมไฟฟ้า โดยคำนึงถึงพื้นที่ลักษณะต่างๆในพื้นที่พิจารณาดังนี้

- จุดที่สนใจ ต้องทราบว่าระบบแสงสว่างในจุดที่สนใจนั้นมีเพียงพอหรือไม่เช่น ตู้แสดงสินค้า ต้นไม้หรือกำแพงที่มีเครื่องประดับที่ต้องการเน้น เป็นต้น ในบริเวณดังกล่าว ควรมีความเข้มแสงมากกว่าบริเวณใกล้เคียงประมาณ 5-6 เท่า

- ส่วนที่อยู่เหนือศีรษะ ในส่วนของเพดานนั้น มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมต่างๆบนพื้นที่พิจารณา ดังนั้น ควรคำนึงถึงรูปแบบ ความสว่างของแสงสว่างด้วย

- ส่วนรอบนอกของพื้นที่พิจารณา โดยมากแล้วความสว่างบริเวณนี้ควรมากกว่าส่วนเหนือศีรษะ โดยเฉพาะกรณีที่ต้องการอารมณ์ของแสงสว่างที่แสดงถึงความเรียบง่าย

- บริเวณใช้งานบริเวณนี้จะเป็นพื้นที่ใช้งานหรือพื้นที่ที่ทำกิจกรรมนั่นเอง การให้ความสว่างบริเวณนี้สามารถหาได้จากตารางแนะนำค่าความสว่าง

- การพิจารณาถึงพื้นที่รอยต่อระหว่างบริเวณต่างๆที่กล่าวมาแล้ว เป็นบริเวณที่จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเข้ากันได้หรือต้องการให้เกิดการเปลี่ยนของอารมณ์ของแสงสว่างระหว่างบริเวณ เช่น กรณีพื้นที่ว่างกับพื้นที่ใช้งาน อาจใช้อัตราส่วนความสว่างประมาณ 2 หรือ 3 ต่อ 1 และหากต้องการให้เกิดความแตกต่างระหว่างบริเวณต่างๆ จะใช้อัตราส่วน 10 ต่อ 1 ไปจนถึงความแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างอย่างมาก คือ 100 ต่อ 1 ทั้งนี้ยังพิจารณาถึงความต่อเนื่องหรือความแตกต่างทางสี (ความขาว) อีกด้วย

- ระดับของการกระตุ้นของแสงสว่าง แบ่งเป็นประเด็นย่อย ดังนี้

1) ระดับความสว่างทั่วไป มีความเข้มแสงประมาณ 35 แคนเดอลาต่อตารางเมตร มีลักษณะคล้ายขณะพระอาทิตย์ตก ดูสลัว

2) สีและรูปร่าง สีที่อบอุ่นมีลักษณะเป็นการกระตุ้น และสีที่เยือกเย็นเป็นการผ่อนคลาย ยิ่งสีที่เข้มจะยิ่งกระตุ้นมากกว่าสีอ่อน กรณีพื้นที่มืดแต่มีการเน้นแสงสว่างเป็นจุดจะทำให้รู้สึกโรแมนติก ในขณะที่แสงน้อยๆโดยปราศจากการเน้นแสงจะทำให้รู้สึกสบาย เรียบง่าย

3) ในกรณีที่บุคคลอยู่ภายใต้สภาวะที่ถูกกระตุ้น อาจทำให้เกิดความรู้สึกเบื่อกับกิจกรรมที่ตนทำอยู่ได้ อาจใช้เทคนิคของการกระตุ้นความสนใจ การทำให้มีชีวิตชีวา โดยใช้สีสรรค์ ความสว่างและแสงที่เป็นประกายช่วยได้

2. พิจารณาถึงลักษณะที่ปรากฏของวัตถุในพื้นที่พิจารณาที่ต้องการ

ลักษณะนี้ใช้บรรทัดฐานของแสงแนวขนานเข้าเกี่ยวข้องด้วย

- แบบกระจาย มีลักษณะช่วยลดความเปลี่ยนที่เกิดจากรูปแบบ (ลาดเอียง) และลักษณะขององค์ประกอบในพื้นที่นั้นๆได้ ดังจะเห็นได้จากการมองเห็นลูกเทนนิสในวันที่ฟ้ามืดครึ้มนั้นอาจเป็นการยากที่จะสังเกตเห็นได้ แต่อย่างไรก็ดี วิธีดังกล่าวก็ยังได้รับความนิยมนำมาใช้ในพื้นที่ทำงานเพื่อป้องกันการเกิดเงาของตัววัตถุเอง และในงานปั้นเพื่อช่วยลดความแข็งกระด้างลงได้

- แบบเป็นประกายหรือการเน้นของแสง ทำให้รู้สึกมีชีวิตชีวา ซึ่งทำได้โดยพิจารณาจากค่าความเข้มของแสงหรืออาจเลือกใช้แหล่งกำเนิดแบบจุดกับวัตถุที่มีลักษณะมัน วาว หรือหักเหแสงได้

- วิธีการแสดงของสี การจัดสีสรรค์ต่างๆได้มาจากการเลือกหลอดไฟ ซึ่งการเลือกหลอดไฟพิจารณาได้จากลักษณะของบุคคลหรือสินค้าในพื้นที่พิจารณา แต่ไม่ควรพิจารณาหลอดไฟแยกแต่ละพื้นที่ ควรพิจารณาเป็นภาพรวม เพราะกรณีที่พื้นที่แต่ละพื้นที่มีสีที่แตกต่างกันมากอาจมีผลกับการมองเห็นได้

3. การเลือกใช้โคมฉายให้เหมาะสมกับวัตถุในพื้นที่พิจารณาและให้เข้ากับลักษณะของการมองเห็นต่อวัตถุที่ต้องการ

คำว่าโคมฉายและส่วนประกอบของระบบแสงสว่างนั้นหมายรวมถึงระบบควบคุมแสงสว่างและปัจจัยต่างๆ อาทิ ความสว่างเพื่อคำนวณค่าแสงจ้า, การกระจายแสงเพื่อคำนวณการเน้นหรือฟุ้งกระจายของแสง ควรนำมาพิจารณาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. **ในแง่วิศวกรรม** จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรมเพื่อเลือกเทคนิคหรือวิธีต่างๆที่มีอยู่มากมายให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือลักษณะงาน ซึ่งความรู้ทางวิศวกรรมอาจได้จากประสบการณ์ของผู้ออกแบบหรือจากที่ปรึกษาคนอื่นๆในแขนงนี้ โดยการเลือกใช้เทคนิคต่างๆในขั้นต้น ทำได้โดยอาศัยปัจจัยต่างๆเหล่านี้ คือ การออกแบบที่ได้ทำไว้แล้ว, ต้นทุนดำเนินการ, การบำรุงรักษา, การกระจายแสง, การควบคุมความสว่าง

หลังจากทำการเลือกในขั้นต้นแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ ทำการทดลองแล้วปรับเปลี่ยนการออกแบบโดยใช้ผลการทดลอง และในขั้นที่สำคัญที่สุด คือ การเลือกในขั้นสุดท้ายโดยอาศัยข้อมูลในขั้นการเลือกขั้นแรกและในขั้นปรับเปลี่ยนมาเป็นเกณฑ์ช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งมีปัจจัยที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบแสงสว่าง ดังนี้

- คุณสมบัติการกระจายและสีสรรค์ของแสง พิจารณาว่าสิ่งที่เลือกไปแล้วนั้น ทำให้ได้การมองเห็นอย่างที่ต้องการหรือยัง ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วในขั้นตอนที่1 และ 2

- รูปแบบและขนาด พิจารณาถึงรูปทรงและขนาดที่เหมาะสมกับการออกแบบระบบแสงสว่าง พร้อมทั้งขนาดของตัวสะท้อน, ระยะของหลอดไฟกับโคมไฟ, มุมcut-off, การระบายอากาศของโคมและระยะแขวนของโคมฉายหรืออุปกรณ์ที่ยึดโคมฉาย

- ลักษณะของวัสดุเมื่อมีแสงและไม่มีแสง พิจารณาถึงคุณลักษณะของอุปกรณ์ทางแสงให้เหมาะสมกับคุณลักษณะโดยทั่วไปของวัสดุอื่นๆในอาคาร

- ต้นทุนเริ่มต้นและขณะปฏิบัติงาน พิจารณาว่าต้นทุนนั้นเหมาะสมกับคุณภาพของวัสดุและระบบต่างๆในการออกแบบอาคาร

- การบำรุงรักษา พิจารณาว่าระบบแสงสว่างนั้นๆสามารถเปลี่ยนหรือถอดเพื่อซ่อมหรือเพื่อทำความสะอาดได้สะดวกหรือไม่ ความสามรถในการเก็บสะสมฝุ่น การเสื่อมคุณภาพของอุปกรณ์ทางแสงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่นและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุง

- พลังงาน พิจารณาว่าระบบแสงสว่างนั้นๆมีประสิทธิภาพทางพลังงานมากน้อยเพียงใด

ข. **ในแง่สถาปัตยกรรม** จากโคมฉายและส่วนประกอบอื่นๆของระบบแสงสว่างที่ได้จากการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมนั้นกลายเป็นปัจจัยหลักในทางสถาปัตยกรรม หากต้องการในเรื่องของรสนิยม จำเป็นจะต้องรับและปรับความคิดในด้านสถาปัตยกรรมด้วย ดังนั้นอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆของระบบแสงสว่างควรได้รับพิจารณาจากมาตรฐานทางสถาปัตยกรรม มิใช่จากหน้าที่และประสิทธิภาพทางวิศวกรรมเพียงอย่างเดียว

- ความสว่าง, สี, ขนาดและรูปแบบ พิจารณาถึงอุปกรณ์เพื่อให้มีลักษณะองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือบทบาทที่เหมาะสมและมีความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ต่างๆ

- ความเหมาะสมกับการออกแบบในยุคสมัยต่างๆ พิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆให้ เข้ากับยุคสมัยทางสถาปัตยกรรมของสิ่งก่อสร้างต่างๆได้

- ความต้องการใช้ในพื้นที่พิจารณาและการลงรายละเอียดทางสถาปัตยกรรม พิจารณาว่าพื้นที่มีความพอเพียงหรือไม่กับความต้องการใช้พื้นที่ ลักษณะของห้องได้จัดส่วนที่เป็นโพรงหรือส่วนที่เว้าต่างๆที่เกี่ยวกับแสงตามที่ได้ออกแบบเพียงพอหรือไม่และรายละเอียดต่างๆ สามารถเข้ากันได้กับรายละเอียดของอุปกรณ์หรือระบบอื่นๆในอาคารได้

- ความเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมอื่นๆในอาคาร

ค. **โคมฉายในแง่ของสถาปัตยกรรม** จากการศึกษาประวัติศาสตร์ทางสถาปัตยกรรม แสดงให้เห็นถึงทางเลือกในการออกแบบระบบแสงสว่าง ซึ่งได้แบ่งเป็น 2 อย่าง คือ

- ระบบแสงสว่างที่ไม่เน้นให้มองเห็นโคมฉาย การติดตั้งแบบนี้จะพยายามไม่ให้โคมฉายมีบทบาทในส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรม การออกแบบลักษณะนี้จำเป็นต้องใช้ความก้าวหน้าทางวิศวกรรมอย่างมาก เพื่อให้แสงที่ได้มีค่าที่เพียงพอโดยที่ไม่เห็นโคมฉาย อาจด้วยวิธีการสะท้อน

- ระบบแสงสว่างที่เน้นในการมองเห็นโคมฉาย การติดตั้งแบบนี้ ในส่วนของโคมฉายและอุปกรณ์ทางแสงอื่นๆจะถูกรวมเข้ากันเป็นองค์ประกอบหนึ่งทางสถาปัตยกรรมด้วย

Visual Task Design Approach

ในพื้นที่ที่หน้าที่หลักของการติดตั้งระบบแสงสว่างเพื่อให้แสงสว่างแก่วัตถุที่ต้องการ จุดเริ่มต้นของการออกแบบ คือ วัตถุที่ต้องการนั่นเอง โดยมีปัจจัย ดังนี้

1. วัตถุที่ต้องการให้แสงสว่าง

- ในพื้นที่ที่ทำการออกแบบมีวัตถุที่ต้องการให้แสงสว่างเป็นอะไรบ้าง

- ควรให้แสงสว่างแก่วัตถุนั้นๆอย่างไร แบบกระจายหรือโดยตรง ควรให้มีหรือไม่มีเงาของวัตถุเกิดขึ้น ค่าการสะท้อนของวัตถุนั้นเหมาะสมหรือไม่ สีของวัตถุนั้นสำคัญอย่างไร

- ความสว่างที่ต้องการของวัตถุนั้นๆมีค่าเท่าไร

2. พื้นที่รอบข้างของวัตถุที่ต้องการให้แสงสว่าง

- ขนาดของพื้นที่เป็นเท่าไรและค่าการสะท้อนของพื้นผิวของพื้นที่นั้น

- พื้นที่ผิวนั้นทำให้เกิดค่าแสงจ้าหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความสม่ำเสมอของแสงสว่างเพียงพอหรือไม่

3. การเลือกโคมฉาย

- ชนิดของการกระจาย, ตัวควบคุมและคุณภาพของสีอย่างไรที่ต้องการเพื่อให้แสงกับวัตถุนั้น
- ต้องการให้แสงสว่างแก่พื้นผิวในพื้นที่นั้นๆชนิดใด
- ลักษณะของโคมฉายควรเป็นอย่างไร
- บรรยากาศของพื้นที่พิจารณาเป็นอย่างไรและลักษณะของการซ่อมบำรุงเป็นเช่นไร
- คำนึงถึงด้านต้นทุนของระบบแสงสว่าง

4. การคำนวณ, การวางผังและประเมินค่าต่างๆ

- การวางผังของโคมฉายอย่างไรที่ทำให้วัตถุได้รับแสงสว่างอย่างเหมาะสม
- การวางผังอย่างไรจะทำให้สบายตา, สวยงาม
- การบริหารพลังงานอย่างไรในการติดตั้งระบบ

ชนิดของระบบแสงสว่าง (Types Of Lighting Systems)

- แบ่งตามการวางผังและตำแหน่งของดวงโคม ได้ดังนี้

1. แสงแบบทั่วไป คือ การให้แสงสว่างโดยเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่พิจารณา โคมฉายในประเภทนี้มีลักษณะสมมาตรและพอดีกับลักษณะทั่วไปของพื้นที่พิจารณา การติดตั้งในแบบนี้สามารถทำได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงเฟอร์นิเจอร์หรือเครื่องจักรที่จะนำมาไว้ในพื้นที่พิจารณา ทำให้เป็นข้อได้เปรียบของระบบนี้ คือมีความยืดหยุ่น เนื่องจากสามารถเปลี่ยนตำแหน่งของเฟอร์นิเจอร์ได้โดยไม่มีผลกระทบในระบบแสงสว่าง

2. แสงแบบทั่วไปเพื่อให้กับพื้นที่เป็นบางส่วนนั้นเป็นการให้แสงสว่างในพื้นที่เป็นบางส่วน เช่น บนโต๊ะทำงานรวมทั้งให้แสงสว่างโดยเฉลี่ยกับห้องนั้นไปด้วยในตัว ระบบนี้มีข้อได้เปรียบ คือ บนพื้นที่ทำงานนั้นมีแสงที่ดีกว่าการให้แสงแบบทั่วๆไปทั้งห้องและโคมฉายจะอยู่ตำแหน่งเดียวกับพื้นที่ทำงาน ดังนั้น ทำให้หลีกเลี่ยงเงา, ค่าแสงจ้าและค่าสะท้อนให้เกิดขึ้นน้อยลงได้

3. แสงแบบเฉพาะพื้นที่บางส่วน เป็นการให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่เท่านั้นโดยไม่มีผลต่อแสงเฉลี่ย บริเวณแสงดังกล่าวอาจติดตั้งในระยะใกล้กับพื้นที่ที่ต้องการหรือระยะใกล้โดยใช้ spotlight การให้แสงลักษณะดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความสว่างเฉพาะพื้นที่ แต่ในกรณีที่มีการปรับความเข้มแสงหรือตำแหน่งดวงโคมที่ไม่เหมาะสมจะเป็นการรบกวนพื้นที่ในบริเวณใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียง จากปัญหาดังกล่าว แก้ไขโดยติดตั้งแสงแบบทั่วไปบริเวณรอยต่อของแสงแบบเฉพาะพื้นที่บางส่วน โดยให้มี 20-30 เปอร์เซนต์ของแสงแบบเฉพาะพื้นที่บางส่วน เรียกแสงดังกล่าวว่า "แสงเสริม"

4. แสงแบบเฉพาะวัตถุที่ต้องการ การให้แสงลักษณะนี้มักจะติดตั้งหลอดไฟเข้ากับเฟอร์นิเจอร์ เช่น โต๊ะเขียนหนังสือที่มีโคมไฟประกอบในตัว แสงที่เกิดขึ้นกับวัตถุนั้นๆประกอบด้วยแสงที่ติดอยู่กับตัววัตถุเองและแสงแบบทั่วไป เช่น จากเพดาน การเดินสายไฟเพื่อป้อนให้กับระบบแสงสว่างแบบนี้ทำได้โดยเดินสายไปตามพื้น

● **แบ่งตามชนิดโคมฉายของ CIE** ได้ดังนี้

1. แสงสว่างโดยตรง (Direct Lighting) คือ โคมฉายที่ 90-100 เปอร์เซนต์ของแสงทั้งหมดที่ส่องลงด้านล่าง การกระจายแสงอาจเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่แผ่กระจายจนถึงไม่แผ่กระจาย ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำเป็นตัวสะท้อนแสงและลักษณะควงโคม

การให้แสงโดยตรงสามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงสุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น แต่ในบางครั้ง

อาจมีการติดตั้งตัวบังแสงจ้าเพื่อหลีกเลี่ยงแสงจ้ามากเกินไปจากการให้แสงโดยตรง ค่าที่เหมาะสมที่จำกัดความสว่างโดยฉากนั้นโคมฉายนั้นไม่ควรเกิน 860 แคนเดอลาต่อตารางเมตร มิฉะนั้นจะมีผลกระทบเรื่องแสงจ้า

2. แสงสว่างแบบกึ่งโดยตรง (Indirect Lighting) คือ โคมฉายที่ 60-90 เปอร์เซนต์ของแสงทั้งหมดส่องลงด้านล่างและมีบางส่วนส่องขึ้นด้านบนของโคมฉาย ขึ้นสู่เพดานหรือกำแพงส่วนบน คุณสมบัติต่างๆโดยทั่วไปเหมือนกับแบบโดยตรงหากแต่แสงบางส่วนที่ส่องขึ้นด้านบนและกระทบเพดานแล้วสะท้อนลงด้านล่างนี้มีส่วนช่วยทำให้เงาที่เกิดขึ้นมีลักษณะนุ่มนวลและน้อยลง อีกทั้งยังช่วยเรื่องของความจ้าของแสง ข้อสังเกตในการใช้แสงแบบนี้ คือ ควรติดตั้งโคมฉายให้ใกล้กับเพดานเพื่อป้องกันการเกิดแสงจ้ามากเกินไปที่เกิดขึ้นกับเพดานในส่วนเหนือโคมฉายและสามารถติดตั้งตัวบังแสงจ้าได้หากแสงสว่างที่ได้นั้นมากเกินไป

3. แสงสว่างแบบกระจายโดยทั่วไป (General Diffuse Lighting) คือ โคมฉายที่มีแสงส่องขึ้นด้านบนเท่ากับลงด้านล่าง คือ 40-60 เปอร์เซนต์ของแสงทั้งหมดในแต่ละทิศทาง อีกทั้งยังมีโคมฉายชนิดพิเศษ ซึ่งเรียกว่า แบบผสม คือ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ความหมาย คือ บริเวณแนวนอนระนาบเดียวกับโคมฉาย ซึ่งแทบจะไม่มีแสงสว่างเลย ในขณะที่แสงส่องขึ้นด้านบนและลงด้านล่างยังคงเท่ากันซึ่งผิดกับแบบกระจายโดยทั่วไปที่แสงจะกระจายออกทุกทิศทุกทาง

คุณสมบัติของแบบกระจายโดยทั่วไปนั้นมีลักษณะเช่นเดียวกับคุณสมบัติของแบบโดยตรงและแบบโดยอ้อมผสมกัน ประสิทธิภาพของโคมฉายลักษณะนี้ด้อยกว่าแบบโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแบบกึ่งโดยตรงเล็กน้อย แต่ยังมีคุณสมบัติที่ดีเพียงพอที่จะนำมาใช้ในห้องที่มีพื้นผิวที่มีค่าการสะท้อนสูงๆได้ ในเรื่องของเงาที่เกิดจากแสงแบบโดยตรงมีความนุ่มนวลและน้อยกว่า เนื่องจากมีส่วนที่แสงขึ้นด้านบนแล้วสะท้อนกับเพดาน อีกทั้งยังสามารถควบคุมการเกิดแสงได้โดยการติดตั้งตัวบังแสงจ้า แต่ไม่ควรติดตั้งโคมฉายให้มีระยะแขวนมากเกินไป เนื่องจากผลของแสงที่ส่องไปยังเพดานที่สูงเกินไป

4. แสงสว่างแบบกึ่งโดยอ้อม คือ โคมฉายที่มีแสงสว่างส่องขึ้นด้านบนประมาณ 60-90 เปอร์เซนต์ของแสงทั้งหมด และมีบางส่วนส่องลงด้านล่าง คุณสมบัติของโคมฉายแบบนี้คล้ายกับแบบโดยอ้อม ยกเว้นแสงที่ส่องลงด้านล่างที่มากเกินไปอาจมีผลกระทบต่อค่าแสงจ้าได้ การเพิ่มแสงที่ส่องลงด้านล่างนี้ทำให้ประสิทธิภาพของโคมฉายมากขึ้นและมากกว่าแบบโดยอ้อมพอสมควร และจากการเพิ่มขึ้นของแสงที่ส่องลงด้านล่างนี้เองสามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างของห้องได้ในขณะที่จำนวนโคมฉายเท่าเดิม โดยปราศจากแสงบนเพดานที่มากเกินไปเพราะจำนวนโคมฉายมิได้เพิ่มขึ้น

5. แสงสว่างแบบอ้อม (Indirect Lighting) คือ โคมฉายที่มีแสงสว่างเกือบทั้งหมดส่องขึ้นด้านบน ประมาณ 90-100 เปอร์เซนต์ของแสงสว่างทั้งหมดไปสู่เพดานและผนังส่วนบน หากได้รับการออกแบบที่ดีแล้วสามารถคิดได้ว่าเพดานเปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดของแสง และแสงเงาแทบจะไม่ปรากฏขึ้นเลย เช่นเดียวกับค่าของแสงจ้าซึ่งจะลดลงอย่างมาก ในการติดตั้งโคมฉายลักษณะนี้ควรให้มีระยะห่างกับเพดานพอสมควรเพื่อให้เกิดการเฉลี่ยของแสงสว่างพอสมควร อีกทั้งป้องกันการเกิดแสงที่เพดานมากเกินไป

เนื่องจากการติดตั้งโคมฉายลักษณะนี้ต้องอาศัยการสะท้อนแสงจากเพดานและผนังส่วนบน ดังนั้น ค่าการสะท้อนของพื้นผิวของเพดานและผนังควรมีค่าสูงพอสมควร แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของแสงสว่างนั้นยังคงน้อยกว่าการติดตั้งโคมฉายชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แนวคิดและวิธีการใช้งานโปรแกรม

3.1 แนวคิดในการออกแบบโปรแกรม

ในขั้นต้นจำเป็นต้องหาข้อมูลของดวงโคมให้มีความละเอียดถูกต้องและแม่นยำ ดังนั้นจึงได้เลือกข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของ IES Files ซึ่งปัจจุบันมีความนิยมและได้เปรียบกว่าข้อมูลอื่นๆ ที่สามารถเก็บในรูปตัวอักษร ทำให้ง่ายต่อการเก็บ และถอดรหัสนำมาใช้ในการพิจารณาด้านความส่องสว่าง ดังนั้นจึงต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อถอดรหัส IES Files เพื่อนำมาใช้ก่อนจากนั้น โปรแกรมนี้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 วิธีได้แก่ การคำนวณแบบ Apply Method และการคำนวณแบบ Point by Point ซึ่งมีความแตกต่างของลักษณะงานดังนี้

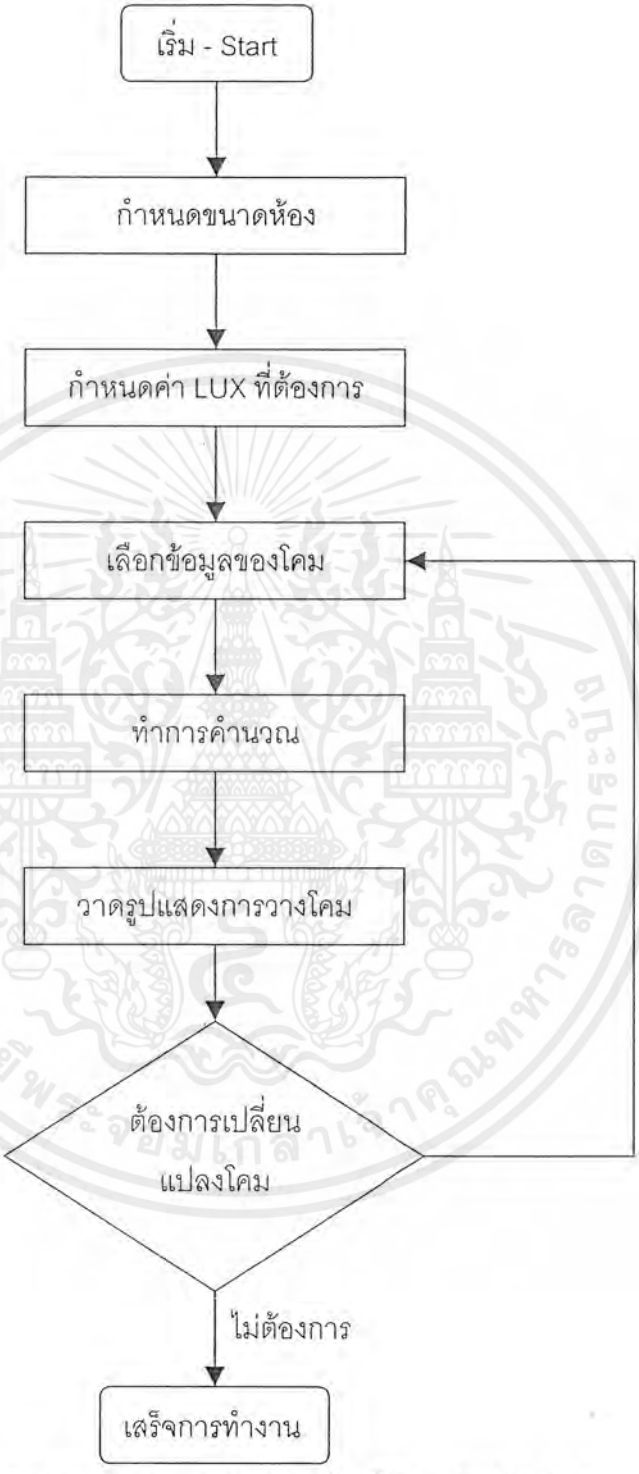
1.วิธี Apply Method เป็นวิธีคำนวณโดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณความเข้มแสงที่ต้องการเป็นหลัก ซึ่งเหมาะกับผู้ออกแบบที่ต้องการทราบจำนวนของดวงโคม และลักษณะการวางตามวิธี Apply Method ของมาตรฐาน CIE โดยเป็นข้อมูลแบบกว้าง ๆ ทำให้ผู้ออกแบบทราบถึงรูปแบบของการวางดวงโคมอย่างที่ควรจะเป็น โดยทำการออกแบบโปรแกรมสำหรับการคำนวณโดยวิธี Apply Method ได้ดังนี้จาก Flow chart ในรูป 3.1

การคำนวณโดยวิธี Applied Method นั้นยังมีการใช้ส่วนช่วยเลือกค่าความส่องสว่าง โดยดูจากตารางภาคผนวกท้ายเล่ม ซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานที่ห้องต่างๆ มีค่าความส่องสว่างที่ได้มาตรฐานแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะชนิดและ การใช้งาน

2.วิธี Point by Point วิธีนี้เป็นการคำนวณโดยใช้ข้อมูลของชนิดและการวางดวงโคมลงในแบบแปลนของห้องจำลองสี่เหลี่ยมที่กำหนดมาก่อน การออกแบบวิธีนี้เราจะทราบปริมาณความส่องสว่างที่ตกลงสู่พื้นที่ที่เราสนใจ โดยการแสดงผลนั้นจะออกมาในรูปตารางและรูปภาพเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ อีกทั้งยังคำนวณถึงค่ายูนิฟอร์มของการส่องสว่างด้วยว่ามีความพอดีหรือไม่ เหมาะสำหรับผู้ออกแบบที่ต้องการทดสอบว่าการวางดวงโคมในอาคารมีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้หรือไม่

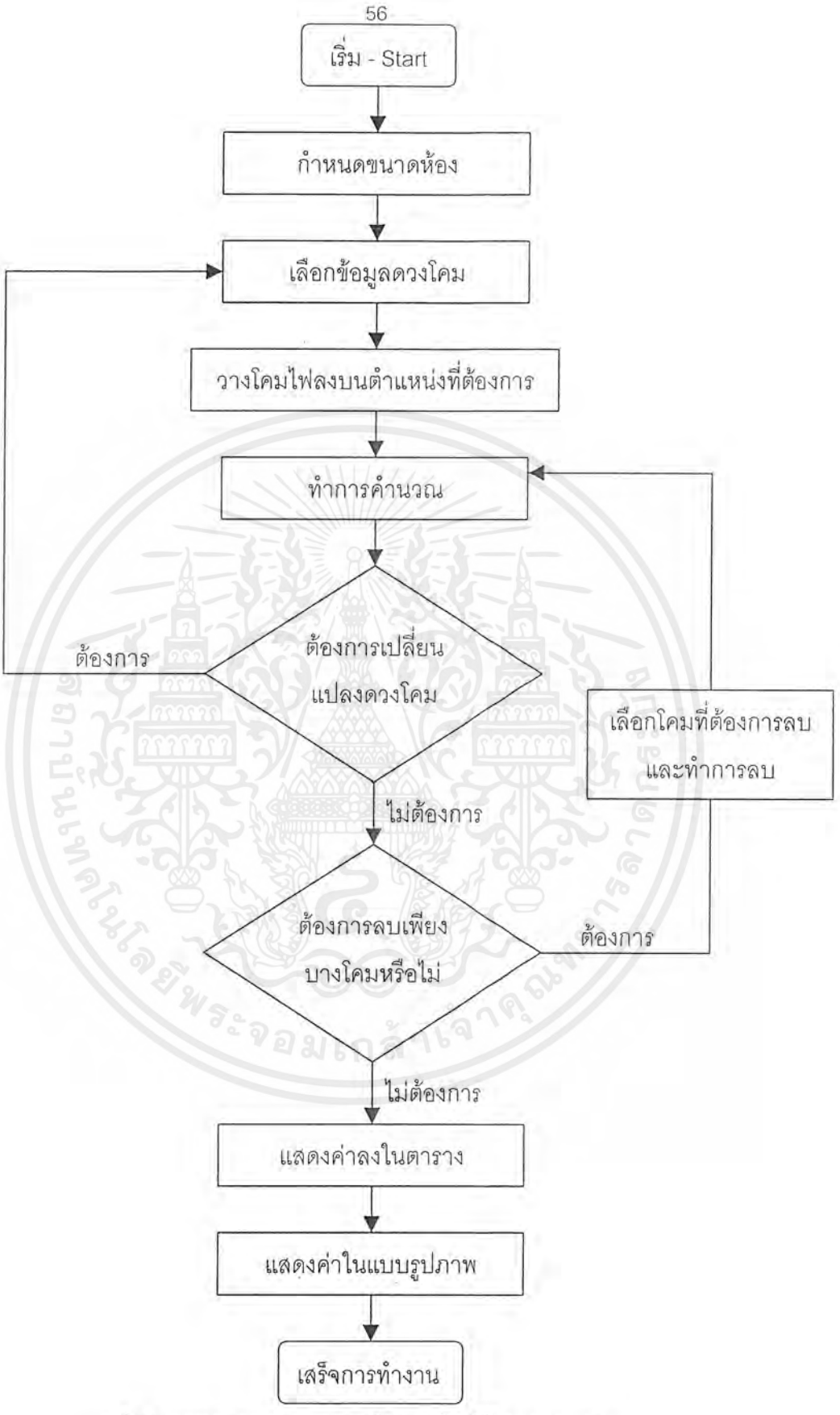
ซึ่งเมื่อต้องทำการคำนวณเพื่อหาค่าความส่องสว่างในแต่ละจุดทุกจุดบนพื้นห้องนั้น ก็ต้องออกแบบโปรแกรมสำหรับถอดรหัส IES Files ออกมาคำนวณหาค่า ตาม Flow Chart ในรูป 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



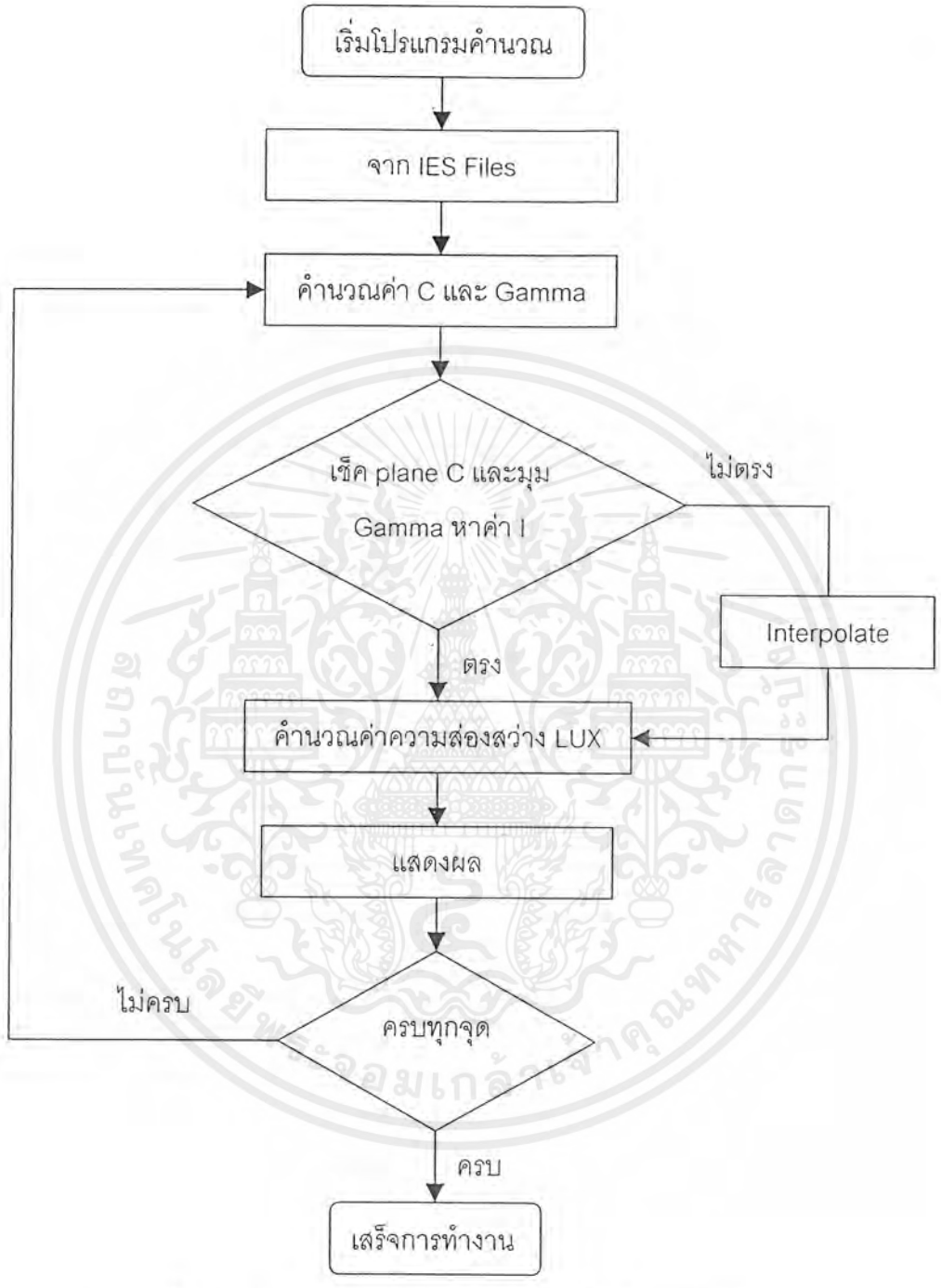
รูป 3.1 แสดง Flow Chart การคำนวณโดยวิธี Applied Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 แสดง Flow Chart การคำนวณโดยวิธี Point by Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

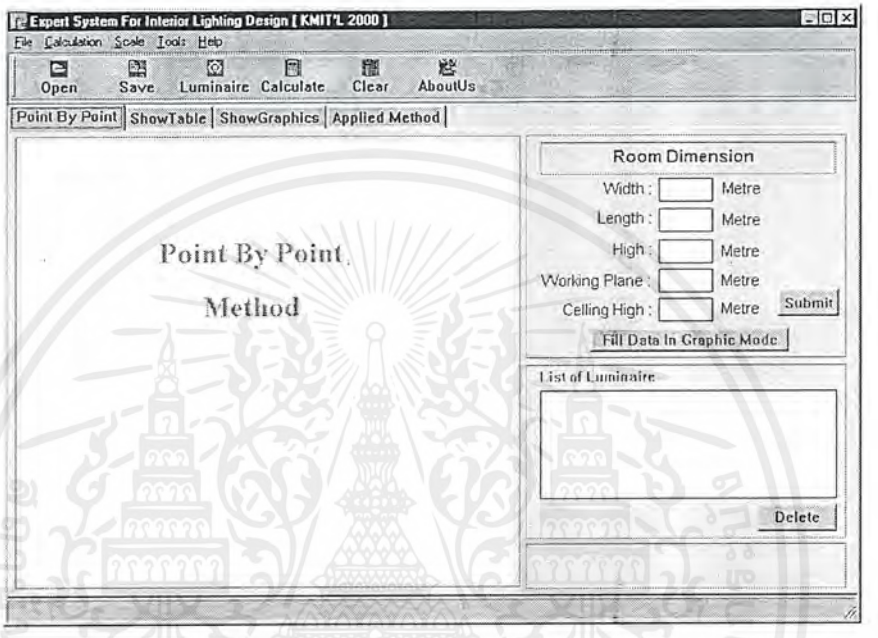


รูป 3.3 แสดง Flow Chart การคำนวณการอ่านค่าจาก IES Files

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การใช้โปรแกรม Expert System for Interior Lighting Design

เมื่อเริ่มต้นเปิดโปรแกรมขึ้นมา เราจะพบกับหน้าจอของหลักของตัวโปรแกรมมีลักษณะดังนี้ในรูป

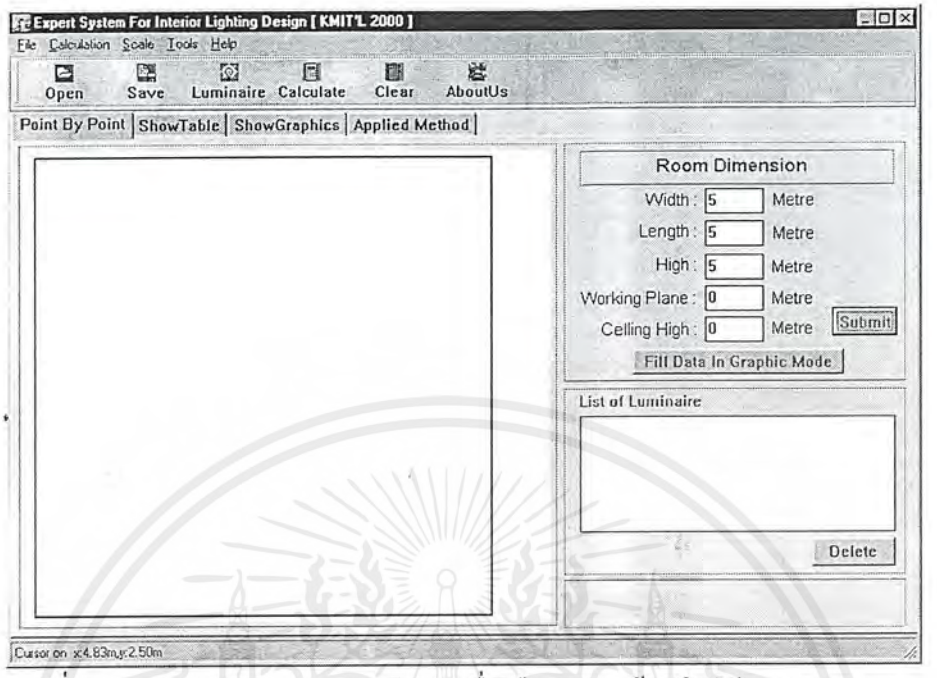


รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ตอนเริ่มเปิดโปรแกรม

การใช้โปรแกรมคำนวณวิธี Point by Point

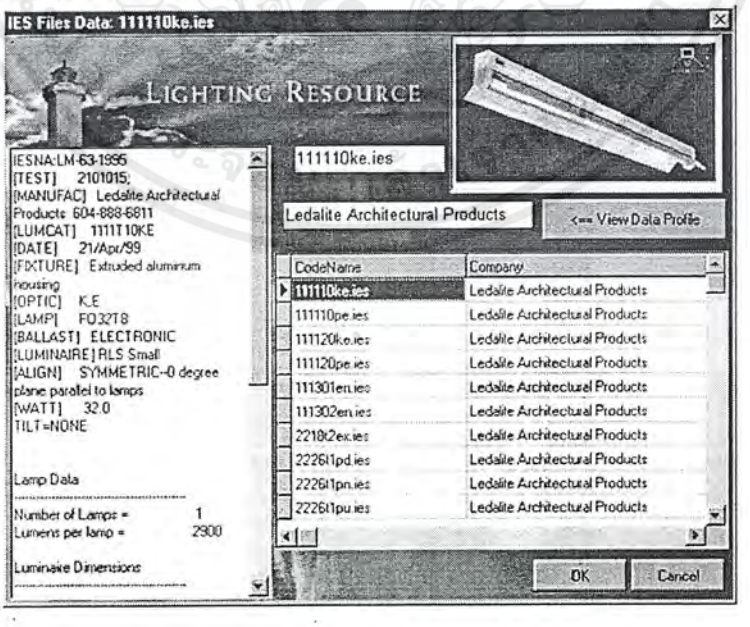
1. เมื่อเริ่มโปรเจคใหม่สามารถใส่ค่าความยาว, ความกว้าง และความสูงของห้องได้เลย พร้อมบอกถึงระยะพื้นที่ที่สนใจ สมมติให้ใส่ค่ามิติของห้อง ความยาว = 5 meter, ความกว้าง = 5 meter และความสูง = 5 meter โดยพื้นที่ที่สนในอยู่บนพื้นห้อง (เลือ working plane เป็น 0 หรือปล่อยว่างเอาไว้) และคลิกปุ่ม submit ดังในรูป 3.5
2. ทำการเลือกดวงโคมเพื่อที่จะมาวางลงในพื้นที่ห้องจำลอง โดยคลิ๊กปุ่ม Luminaire ด้านบนจะปรากฏกรอบข้อมูลของดวงโคมขึ้นมาซึ่งจะแสดงให้เห็นรูป และลักษณะ คุณสมบัติของดวงโคมให้ผู้ออกแบบได้เลือกใช้กันดังในรูป 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



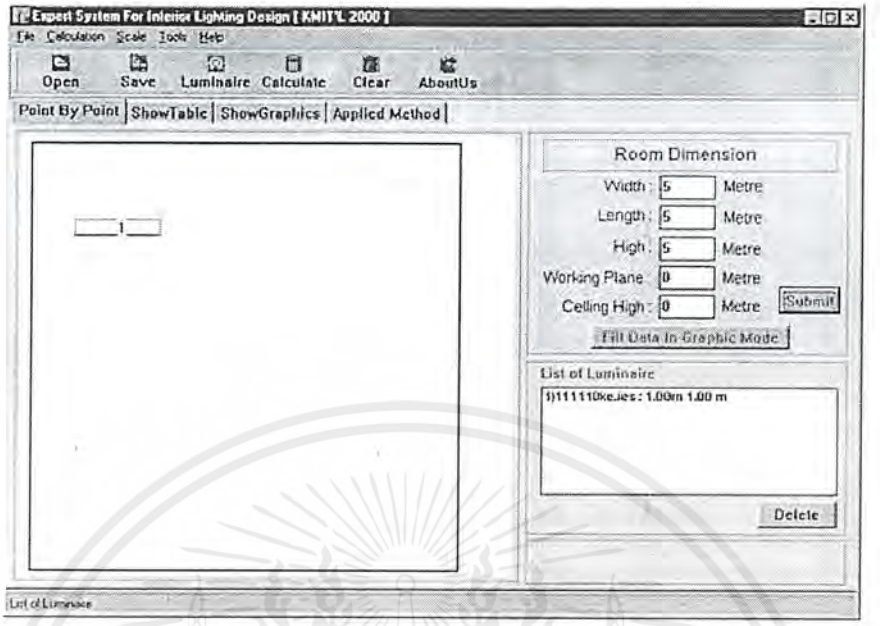
รูปที่ 3.5 แสดงโปรแกรม DooLux2000 เมื่อเลือกขนาดห้อง ในวิธี Point by Point

3. โดยในที่นี้ได้ทำการเลือกดวงโคมชนิด 111110ke.ies โดยคลิ๊กปุ่ม get this lamp กรอบจะหายไป จากนั้นผู้ออกแบบจะกำหนดตำแหน่งของดวงโคมโดยนำเมาส์คลิ๊กที่พื้นที่ของห้องจำลองโดยสังเกตุจากแถบสถานะด้านล่าง ในที่นี้เลือกที่ตำแหน่ง x=1 meter, y=1 meter สังเกตุได้จากรูป 3.7



รูปที่ 3.6 แสดงโปรแกรม DooLux2000มีข้อมูลของดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

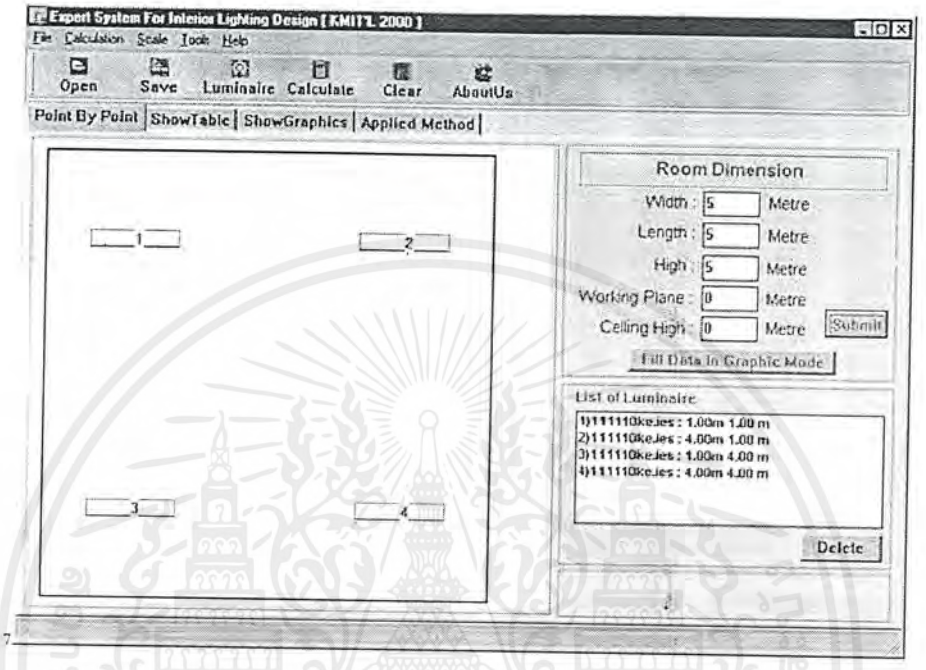


รูปที่ 3.7 แสดงโปรแกรม DooLux2000 เมื่อวางโคมที่ตำแหน่ง x=1 เมตร y=1 เมตร

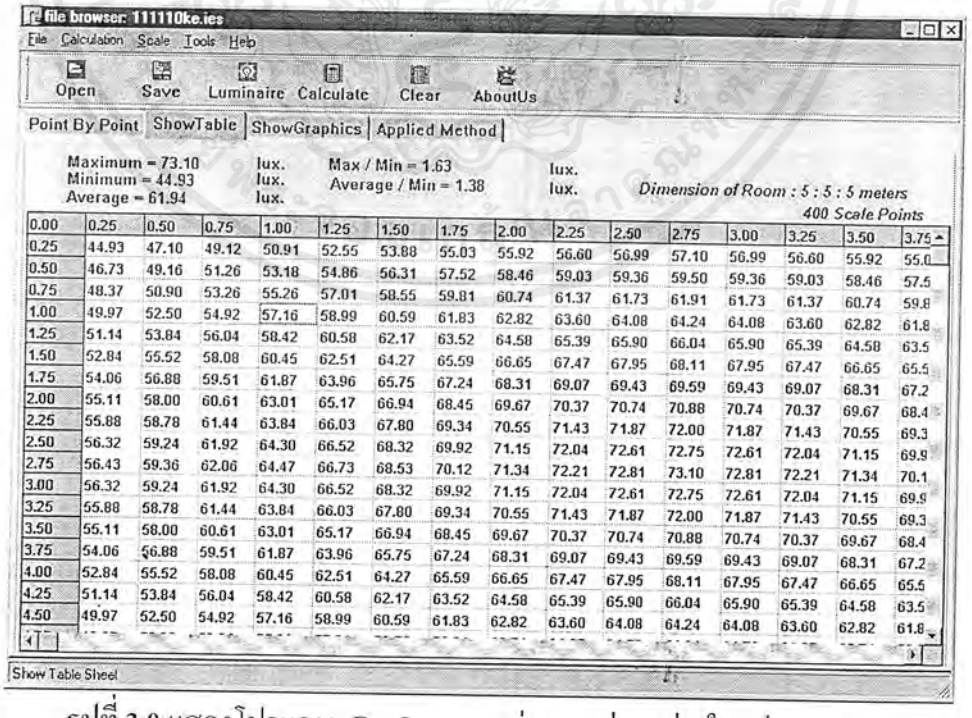
4. ทำการวางดวงโคมดวงอื่นๆ ต่อไป โดยถ้าหากเป็นดวงโคมชนิดเดิม ผู้ออกแบบสามารถลากเมาส์ไปคลิ๊กที่ตำแหน่งต่อไปได้ทันที ไม่ต้องมีการคลิ๊กปุ่ม Luminaire เพื่อทำการเลือกดวงโคมใหม่ แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนดวงโคมก็ต้องทำซ้ำแบบข้อ 3 ถ้าหากผู้ออ้อกแบบไม่พอใจการวางดวงโคมหรือวางในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องก็สามารถปรับเปลี่ยนโดยการลบดวงโคมนั้นได้ โดยสังเกตุที่ List of Luminaire จะแสดงดวงโคมที่ถูกวางไว้ ผู้ออกแบบเพียงใช้เมาท์เลือกและคลิ๊กปุ่ม Delete สำหรับลบ หรือถ้าต้องการลบหมดเพื่อวางดวงโคมใหม่ก็คลิ๊ก All Delete
5. ทำการวางดวงโคมที่ตำแหน่งต่างๆ โดยไม่ต้องเลือกชนิดดวงโคมใหม่สามารถใช้เมาส์คลิ๊กที่พื้นที่ภายในห้องจำลองได้เลยจะปรากฏดังรูป 3.8
6. เมื่อทำการวางดวงโคมเรียบร้อยแล้ว ก็จะเป็นการคำนวณเพื่อดูค่าความส่องสว่างโดยผู้ออกแบบทำการคลิ๊กปุ่ม Calculate เพื่อจะทำการคำนวณ โดยจะสังเกตเห็น บาร์เล็กๆ ที่แสดงการทำงาน และเมื่อคำนวณเสร็จแล้ว หน้าจอจะกลับสู่ภาวะปกติ ผู้ออกแบบสามารถดูค่าความส่องสว่างในพื้นที่ห้องจำลองได้แล้ว โดยทำการเปลี่ยนชีทไปสู่ชีทของ Show Table ก็จะเห็นตารางซึ่งแสดงค่าความส่องสว่างแต่ละจุดบนพื้นห้องของห้องจำลองว่ามีค่าเท่าใด และด้านบนจะแสดงค่าความส่องสว่างต่ำสุด สูงสุด และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความส่องสว่างเฉลี่ย พร้อมทั้งค่ายูนิฟอร์ม ด้วย เพื่อช่วยให้ผู้ออกแบบได้พิจารณาดูว่าเหมาะสมหรือไม่ดังในรูป 3.9



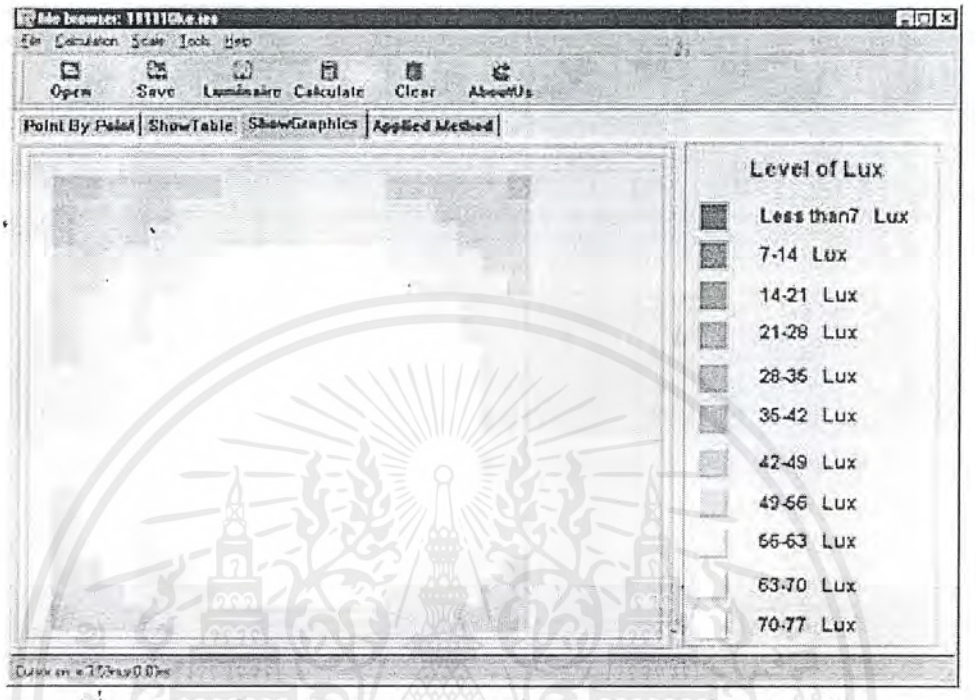
รูปที่ 3.8 แสดงโปรแกรม DooLux2000 โดยวางดวงโคมลงพื้นที่ทั้งหมด



0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75
0.25	44.93	47.10	49.12	50.91	52.55	53.88	55.03	55.92	56.60	56.99	57.10	56.99	56.60	55.92	55.0
0.50	46.73	49.16	51.26	53.18	54.86	56.31	57.52	58.46	59.03	59.36	59.50	59.36	59.03	58.46	57.5
0.75	48.37	50.90	53.26	55.26	57.01	58.55	59.81	60.74	61.37	61.73	61.91	61.73	61.37	60.74	59.8
1.00	49.97	52.50	54.92	57.16	58.99	60.59	61.83	62.82	63.60	64.08	64.24	64.08	63.60	62.82	61.8
1.25	51.14	53.84	56.04	58.42	60.58	62.17	63.52	64.58	65.39	65.90	66.04	65.90	65.39	64.58	63.5
1.50	52.84	55.52	58.08	60.45	62.51	64.27	65.59	66.65	67.47	67.95	68.11	67.95	67.47	66.65	65.5
1.75	54.06	56.88	59.51	61.87	63.96	65.75	67.24	68.31	69.07	69.43	69.59	69.43	69.07	68.31	67.2
2.00	55.11	58.00	60.61	63.01	65.17	66.94	68.45	69.67	70.37	70.74	70.88	70.74	70.37	69.67	68.4
2.25	55.88	58.78	61.44	63.84	66.03	67.80	69.34	70.55	71.43	71.87	72.00	71.87	71.43	70.55	69.3
2.50	56.32	59.24	61.92	64.30	66.52	68.32	69.92	71.15	72.04	72.61	72.75	72.61	72.04	71.15	69.9
2.75	56.43	59.36	62.06	64.47	66.73	68.53	70.12	71.34	72.21	72.81	73.10	72.81	72.21	71.34	70.1
3.00	56.32	59.24	61.92	64.30	66.52	68.32	69.92	71.15	72.04	72.61	72.75	72.61	72.04	71.15	69.9
3.25	55.88	58.78	61.44	63.84	66.03	67.80	69.34	70.55	71.43	71.87	72.00	71.87	71.43	70.55	69.3
3.50	55.11	58.00	60.61	63.01	65.17	66.94	68.45	69.67	70.37	70.74	70.88	70.74	70.37	69.67	68.4
3.75	54.06	56.88	59.51	61.87	63.96	65.75	67.24	68.31	69.07	69.43	69.59	69.43	69.07	68.31	67.2
4.00	52.84	55.52	58.08	60.45	62.51	64.27	65.59	66.65	67.47	67.95	68.11	67.95	67.47	66.65	65.5
4.25	51.14	53.84	56.04	58.42	60.58	62.17	63.52	64.58	65.39	65.90	66.04	65.90	65.39	64.58	63.5
4.50	49.97	52.50	54.92	57.16	58.99	60.59	61.83	62.82	63.60	64.08	64.24	64.08	63.60	62.82	61.8

รูปที่ 3.9 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ค่าความส่องสว่างในรูปตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ค่าความส่องสว่างในรูปกราฟฟิค

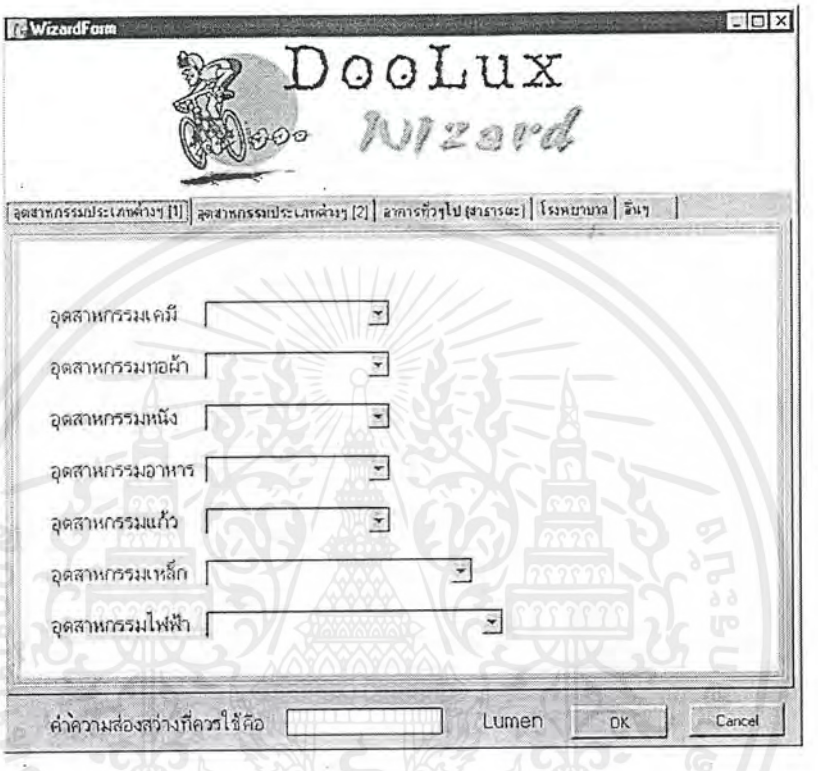
7 นอกจากนี้เรายังสามารถดูผลของค่าความส่องสว่างที่ได้จากรูปแผนภาพโดยเปลี่ยนชีทไปสู่ชีท Show Graphics ซึ่งผู้ออกแบบจะสังเกตุได้ง่ายกว่าโดยค่าความส่องสว่างจะแบ่งออกเป็น 11 ระดับ ระดับที่ความส่องสว่างมากที่สุดจะเป็นสีขาว และระดับที่ความส่องสว่างน้อยที่สุดจะเป็นสีดำ ซึ่งง่ายต่อการเปรียบเทียบดูแบบกว้างได้ดังรูป3.10

การใช้โปรแกรมคำนวณวิธี Applied Method

1.วิธีApplied Method สามารถเรียกได้จากการเลือกหน้าต่างApplied Method โดยวิธีการป้อนค่าเพื่อทำการคำนวณมีค่าที่ต้องป้อนคือ ความกว้าง,ความยาว,ความสูงของห้อง และความเข้มแสงของห้องที่ต้องการคำนวณซึ่งในส่วนความเข้มแสงนี้สามารถทำได้สองลักษณะคือ

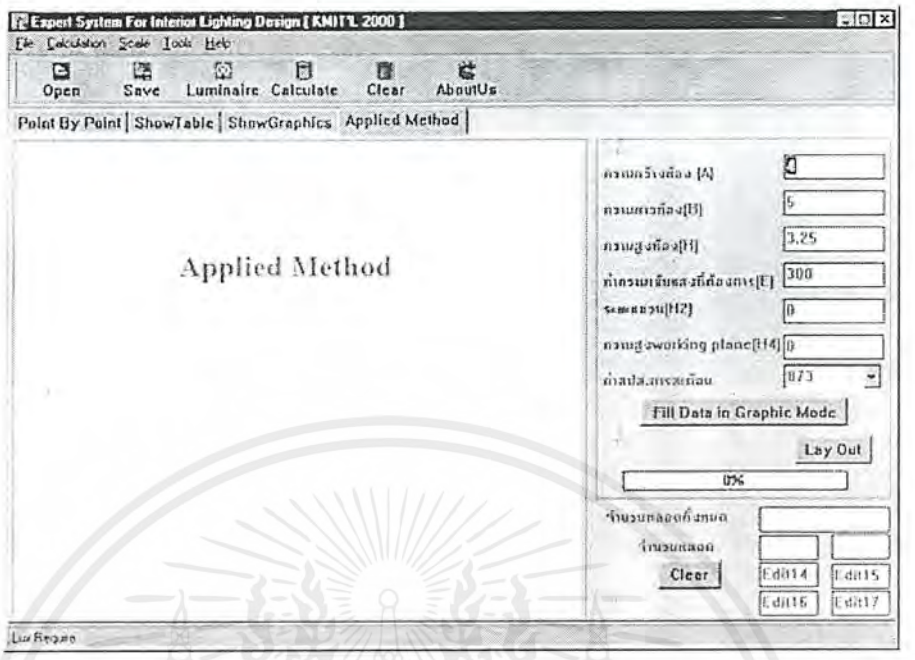
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากการเรียกโปรแกรมWizard เป็นการป้อนค่าในกรณีที่ผู้ใช้ทราบประเภทของห้องหรือพื้นที่ที่จะทำการคำนวณ ผู้ใช้เลือกประเภทของห้องหรือพื้นที่จากcomboboxเพียงหนึ่งชนิดเท่านั้น โดยโปรแกรมจะทำการป้อนค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมให้ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงโปรแกรม DooLux2000 กรอบช่วยเหลือในการเลือกค่าความส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ในการป้อนค่าขนาดห้อง

- จากการป้อนค่าด้วยตัวเอง ในกรณีที่ผู้ใช้ทราบค่าความเข้มแสงในห้องหรือพื้นที่ที่จะทำการคำนวณ ระบุในหน่วย lux ดังรูป 3.12

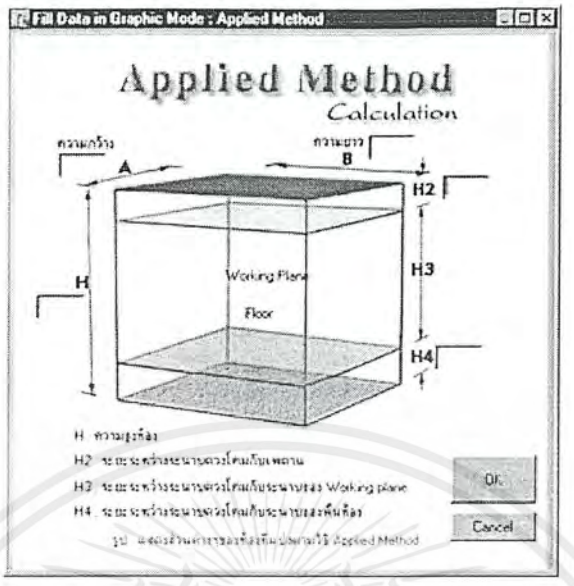
- ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการป้อนมิติของห้องแบบโดยเห็นรูปภาพ ให้คลิ๊กปุ่ม Fill Data in Graphic Mode ผู้ใช้จะสามารถเห็นความหมายของระยะต่างดังรูป 3.13

2.เลือกชนิดของหลอดไฟที่ต้องการติดตั้งในห้องหรือพื้นที่ที่จะทำการคำนวณ โดยคลิ๊กปุ่ม Luminaire แล้วทำการเลือกประเภทของหลอดจากตารางเช่นเดียวกับแบบ Point by Point

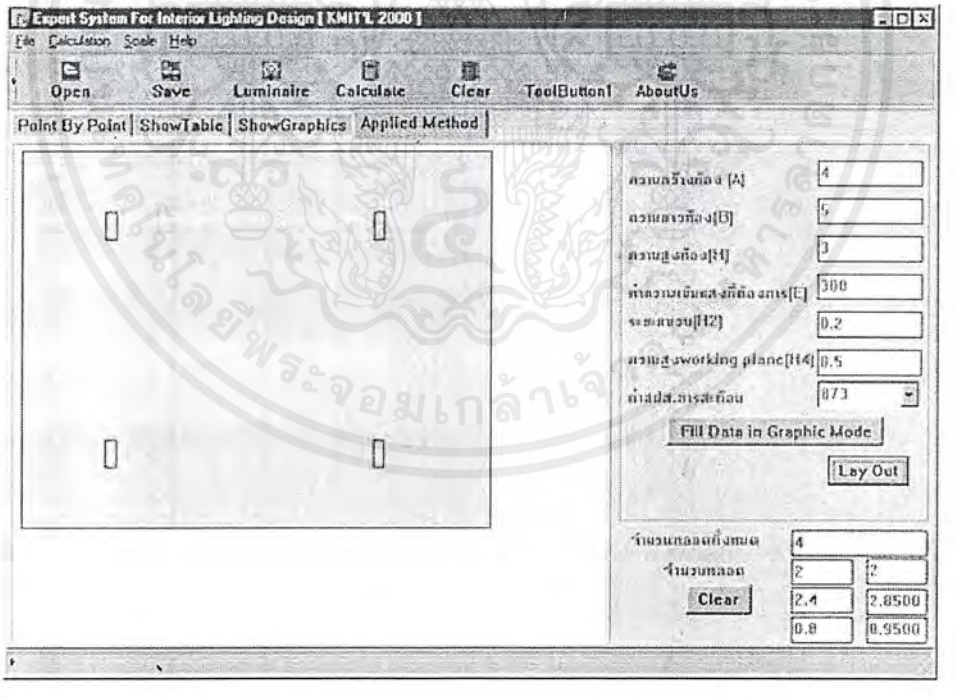
3.จากนั้นเป็นการสั่งให้โปรแกรมเริ่มทำการคำนวณโดยคลิ๊กปุ่ม Calculate สังเกตค่าผลลัพธ์จากช่องจำนวนหลอดทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยจำนวนหลอดรวมทั้งหมดและจำนวนหลอดในแนวความยาวและความกว้างห้อง

4.หากต้องการดูการวางหลอดไฟหลังจากที่ให้โปรแกรมทำการคำนวณแล้ว สามารถดูได้จากการคลิ๊กปุ่ม Lay Out ภาพการวางหลอดไฟจะปรากฏขึ้นในกรอบสีขาวด้านขวามือ ดังรูป 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงโปรแกรม DooLux2000 ในกรอบช่วยการกำหนดขนาดห้อง



รูปที่ 3.14 แสดงโปรแกรม DooLux2000 การวางดวงโคมจากวิธี Applied Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

ในการทดสอบเพื่อต้องการทราบความถูกต้องแม่นยำของโปรแกรมการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารนั้น เราจะทำการวัดในสองวิธีคือสำหรับวิธีการคำนวณแบบ Point by Point และ Applied Method ดังต่อไปนี้

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

การคำนวณด้วยวิธี Point by Point

การวัดค่าความส่องสว่างในห้องทดลองด้วยลักซ์มิเตอร์

จะเลือกใช้การวัดค่าความสว่างด้วยลักซ์มิเตอร์ ภายในห้องที่ไม่มีแสงสว่างจากภายนอก ซึ่งมีขนาดความกว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตร และสูง 3.25 เมตร ที่ถูกติดตั้งดวงโคมจำนวน 4 ดวงโคมๆ ละ 2 หลอด ๆ ละ 2690 lumen โดยต้องเตรียมลักซ์มิเตอร์ ตลับเมตร ให้พร้อมก่อนการทดลอง เพื่อนำมาใช้วัดค่าความส่องสว่างและวัดขนาดห้อง ความสูงของพื้นที่ที่สนใจด้วย และบันไดเพื่อทำการปีนขึ้นไปติดตั้งดวงโคมด้วยจากนั้นทำการทดลองดังนี้

1. ทำการแบ่งพื้นที่ภายในห้อง ออกเป็น ตารางขนาด 5x5 ช่องซึ่งในที่นี้จะได้ตารางที่มีขนาดเท่ากับ 1x0.8 เมตร
2. เปิดไฟทีละ 1 ดวงโคม โดยเริ่มจากดวงโคมตามรูปที่ 3.1
3. ทำการวัดค่าความส่องสว่างด้วยลักซ์มิเตอร์ ภายในตารางที่กำหนดขึ้นทั้ง 25 ช่องตารางที่ความสูง 0.75 เมตร และที่พื้น
4. บันทึกผล ระหว่างการวัดทั้ง 25 ช่อง จากนั้นให้ทำการเพิ่มจำนวนดวงโคม เป็น 2,3 และ 4 ดวงโคมตามลำดับ และทำการวัดพร้อมทั้งบันทึกผลเช่นเดิม

การใช้โปรแกรม DooLux2000 เพื่อหาค่าความส่องสว่าง

การทดสอบเพื่อหาค่าความถูกต้องของโปรแกรม DooLux2000 เพื่อที่จะหาค่าความส่องสว่าง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ สามารถทำได้โดย

1. เปิดโปรแกรม DooLux2000
2. เลือกการคำนวณแบบ Point by Point
3. กำหดขนาดของห้องให้เท่ากับขนาดของห้องที่ทำการทดลองด้วยลักซ์มิเตอร์ ในที่นี้ได้ขนาดห้องคือ กว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตร์ และ สูง 3.25 เมตร
4. กำหนด scale ของการพิจารณาที่ 5x5 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการคำนวณ ที่ความสูงที่ใช้งาน 1 ค่าได้แก่ที่ความสูง 0.75 เมตร จากพื้น
6. หลังจากทำการคำนวณบันทึกผล โดยดูจากค่าความส่องสว่างในรูปตาราง

การคำนวณด้วยวิธี Applied Method

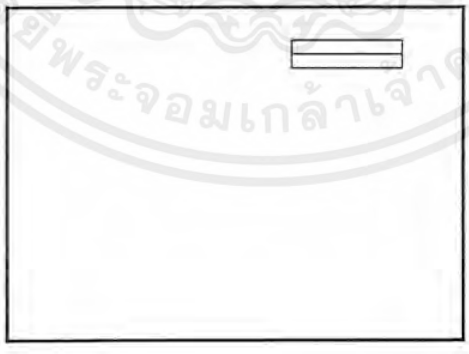
การทดสอบเพื่อหาค่าความถูกต้องของโปรแกรมในส่วนของการคำนวณแบบ Applied Method เราจะเลือกทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Easy Lux ของบริษัท Optical and Photometric Technology P/L ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นโดยหลักการเดียวกัน เพราะจะคำนวณจากดวงโคมมาตรฐาน IES ที่ใช้วิธี Applied Method ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองเหมือนกันดังนี้

1. กำหนดขนาดห้อง ในที่นี้ให้ใช้ขนาดห้องความกว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 3.25 เมตร ระยะแขวนของดวงโคมคือ 0 เมตร ความสูงของพื้นที่ใช้งานคือ 0.75 เมตร
2. เลือกดวงโคมชนิดเดียว ในที่นี้เลือกดวงโคมชื่อ 111110ke.ies ซึ่งเป็นดวงโคมประเภท ฟลูออเรสเซนต์
3. เลือกค่าความส่องสว่างที่ต้องการ ในที่นี้เลือกที่ 250 lux
4. ทำการคำนวณ และ lay out เพื่อบันทึกผลการทดลอง

4.2 ผลการทดลอง

เราจะทำการแบ่งการพิจารณาที่ 1, 2, 3, และ 4 ดวงโคมดังนี้

พิจารณาที่ 1 ดวงโคม



รูปที่ 4.1 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 1 ดวงโคม

ทำการวัดค่าความส่องสว่างโดยใช้ลักซ์มิเตอร์ ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้น โดยได้ค่าลักซ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	25	52	105	115
12	29	59	110	130
20	29	57	109	115
19	25	40	95	105
8	14	25	40	52

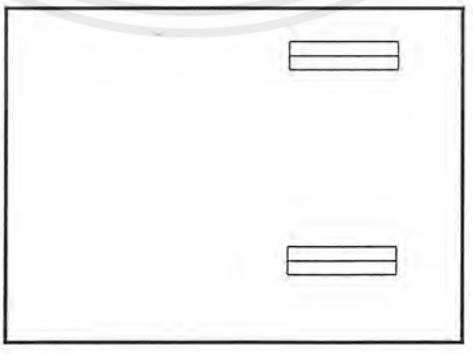
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ ของดวงโคม 1ดวงโคม ที่ความสูง 0.75 เมตร วัดจากพื้น

ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้นได้ค่าดังนี้

14.11	29.93	63.11	120.67	157.39
13.82	30.55	69.29	139.74	187.83
14.18	30.84	67.86	133.49	178.43
13.64	27.55	55.95	101.21	129.21
10.54	19.55	36.93	58.66	70.67

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม ของดวงโคม 1 ดวงโคมที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้น

<u>พิจารณาที่ 2 ดวงโคม</u>



รูปที่ 4.2 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 2 ดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดค่าความส่องสว่างโดยใช้ลักซ์มิเตอร์ ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้นโดยได้ค่าลักซ์ดังนี้

15	25	65	130	168
20	40	86	165	212
21	48	89	190	200
25	49	109	201	219
22	45	111	195	219

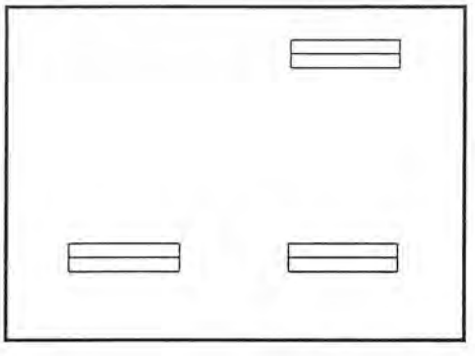
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ ของดวงโคม 2 ดวงโคมที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้น

ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้นได้ค่าดังนี้

19.45	38.80	76.86	139.65	178.73
22.18	45.49	95.90	180.37	235.90
25.80	53.39	111.73	208.72	272.32
27.37	55.82	115.70	213.17	275.36
24.55	50.09	104.44	192.48	249.17

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม ของดวงโคม 2 ดวงโคม ที่ความสูง 0.75 เมตร โดยทำการวัดจากพื้น

<u>พิจารณาที่ 3 ดวงโคม</u>



รูปที่ 4.3 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 3 ดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดค่าความส่องสว่างโดยใช้ลักซ์มิเตอร์ ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้นโดยได้ค่าลักซ์ดังนี้

25	55	89	145	160
60	89	129	180	145
98	135	178	225	278
128	189	218	258	289
136	205	215	245	268

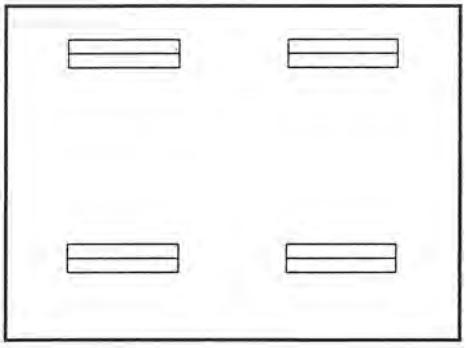
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ ของดวงโคม 3 ดวงโคมที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้น

ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้นได้ค่าดังนี้

38.42	60.14	95.83	153.39	187.60
62.81	93.56	136.53	206.97	250.84
101.03	147.28	186.96	252.58	294.86
139.33	201.97	227.66	272.91	303.62
158.38	228.59	238.27	260.00	279.71

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม ของดวงโคม 3 ดวงโคม ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้น

<u>พิจารณาที่ 4 ดวงโคม</u>



รูปที่ 4.4 แสดงการวางตำแหน่งดวงโคม 4 ดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดค่าความส่องสว่างโดยใช้ลักซ์มิเตอร์ ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้นโดยได้ค่าลักซ์ดังนี้

148	200	210	210	211
198	268	252	252	258
220	300	305	305	315
210	290	280	300	322
199	285	281	274	275

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยลักซ์มิเตอร์ ของดวงโคม 4 ดวงโคมที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้น

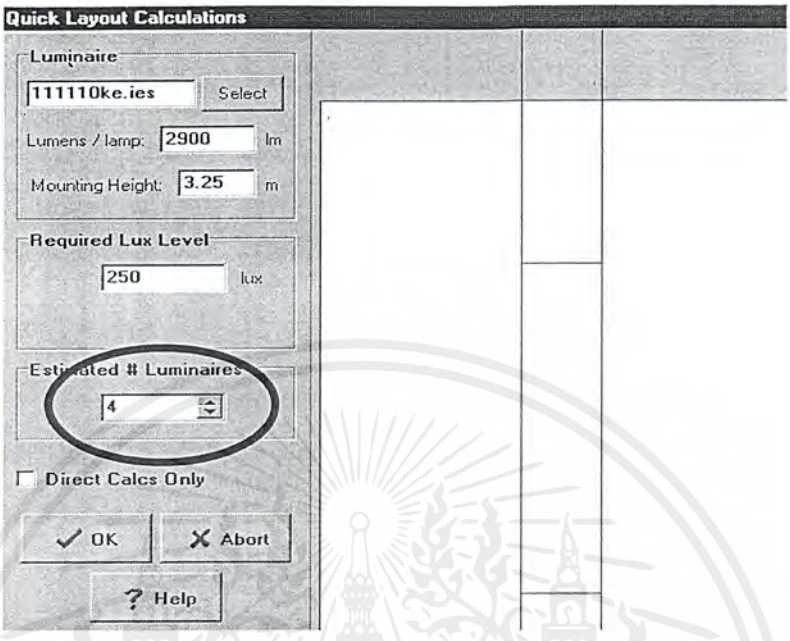
ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้นได้ค่าดังนี้

159.10	217.53	216.51	216.51	217.53
202.55	281.39	276.27	276.27	281.39
234.52	325.71	320.45	320.45	325.71
240.54	331.18	328.87	328.87	331.18
217.04	299.26	296.93	296.93	299.26

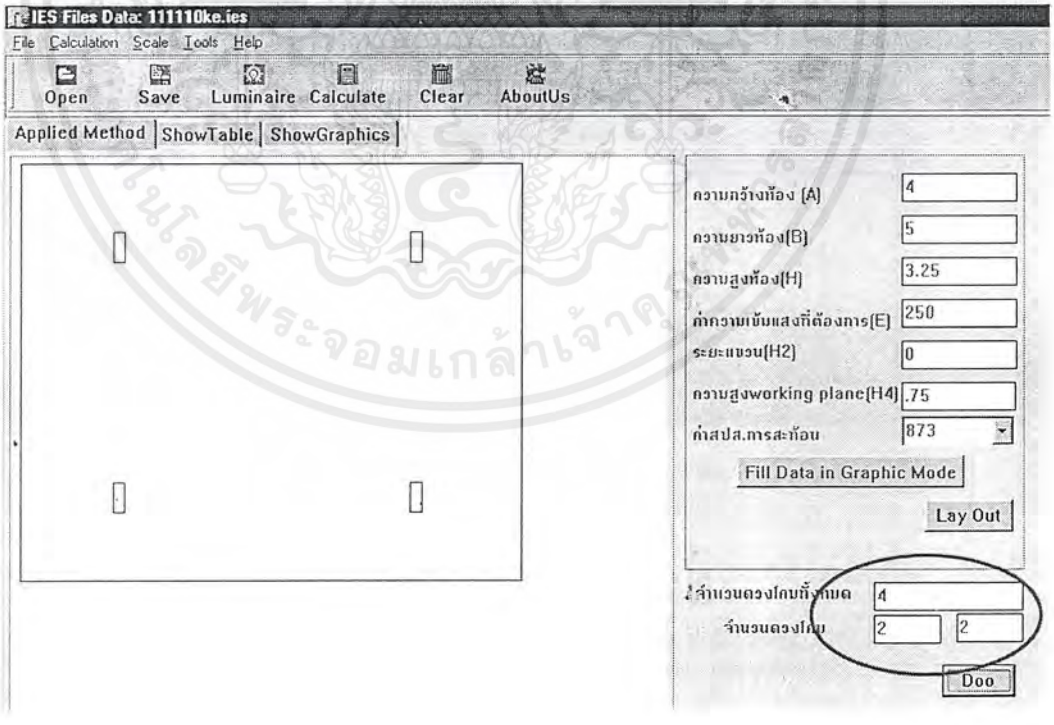
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม ของดวงโคม 4 ดวงโคมที่ความสูง 0.75 เมตรวัดจากพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง ส่วน Applied Method



รูป 4.5 แสดงรูปที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Easy Lux



รูป 4.6 แสดงรูปที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Doolux2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน และวิจารณ์การทำงาน

การดำเนินการของโครงงานนี้ ในส่วนของโปรแกรมนั้น แบ่งเป็นสองส่วน คือ

1.การคำนวณแบบจุด (Point by Point)

เป็นเครื่องมือช่วยผู้ออกแบบในการตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ได้ทำไปแล้ว โดยพิจารณาค่าความส่องสว่างในแต่ละจุด เพื่อนำไปปรับตำแหน่ง ประเภท หรือจำนวนหลอด ให้เหมาะสม ซึ่งข้อมูลนั้นแสดงในรูปแบบของกราฟิกเพื่อง่ายต่อการพิจารณาแบบคราวๆและยังมีรายละเอียดของค่าความส่องสว่างในแต่ละจุดในรูปของตารางให้ประกอบการพิจารณา และยังมีการคำนวณค่าความสม่ำเสมอ(Uniform)ของแสงในพื้นที่อีกด้วย

ผู้ใช้โปรแกรมสามารถทดลองปรับเปลี่ยนตำแหน่ง หรือชนิดของดวงโคมได้พร้อมทั้งสามารถตรวจดูค่าความส่องสว่างที่ได้ทำการเปลี่ยนนั้นได้ทันที จึงอาจกล่าวได้ว่าเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบได้

2.การคำนวณโดยใช้ทฤษฎี Applied Method

เป็นโปรแกรมออกแบบ ซึ่งผู้ใช้เพียงแต่ใส่มิติ และประเภทของห้องที่ต้องการออกแบบ โปรแกรมจะทำการออกแบบซึ่งจะบอกจำนวนหลอดไฟที่ต้องใช้ พร้อมทั้งวางตำแหน่งหลอดไฟให้ด้วย และยังสามารถตรวจสอบค่าความส่องสว่างแบบจุดได้อีกทีหนึ่ง

นอกจากส่วนคำนวณข้างต้นแล้วยังมีส่วนของข้อมูลของดวงโคมซึ่งใช้เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณทั้งหมด ซึ่งได้มาจากแฟ้มข้อมูลทางแสง(IES File) โดยโปรแกรมสามารถอ่านไฟล์ดังกล่าวได้โดยตรงทำให้เพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้กล่าวคือ ผู้ใช้ไม่ได้จำกัดประเภทของดวงโคมอยู่แค่ที่โปรแกรมจัดมาให้ แต่ยังสามารถหาเพิ่มเติมจากแหล่งอื่นๆได้ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการนำดวงโคมที่ไม่มีอยู่ในโปรแกรมมาคำนวณด้วยโปรแกรมนี้ได้

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโปรแกรม

1. โปรแกรมการคำนวณแบบจุด ได้มีการนำผลลัพธ์ของโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับการวัดค่าความส่องสว่างในห้องจริงๆด้วย lux meter โดยจำลองโปรแกรมให้มีลักษณะเดียวกับห้องทดลองซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าค่อนข้างตรงกัน
2. การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้ทฤษฎี Applied Method ได้มีการนำผลลัพธ์ของโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับโปรแกรม easy lux ซึ่งเป็นโปรแกรมในลักษณะเดียวกันและผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ต้องเพิ่มเติมให้กับโปรแกรม

1. ข้อจำกัดในการคำนวณ ในโปรแกรมนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบของแสงพร่านัยน์ตา (Glare) ดังนั้นหากต้องการให้โปรแกรมมีความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องคำนึงถึงแสงจ้าพร่านัยน์ตาด้วย
2. ในส่วนรับค่าของโปรแกรมควรปรับให้มีการรับค่าที่ละเอียดมากขึ้น เช่น สามารถรับค่าความกว้าง และความยาวเป็นจุดทศนิยมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ตารางค่า GM, ตารางค่าความเข้มแสง และการใช้ลักซ์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

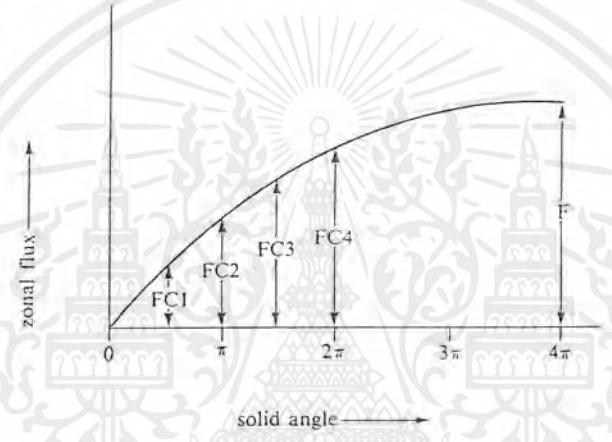
ตารางหาค่า GM (Geometric Multipler) สำหรับโคมเดี่ยว (Single Luminaire)

ในกรณีที่โคมมีความหมายของฟลักซ์โค้ด (Flux Code) และฟลักซ์ทริปเล็ต (Flux Triplet) โดยที่

ฟลักซ์โค้ดดวงโคม : N1, N2, N3, N4,N5

ฟลักซ์ทริปเลต : N1, N2, N3

จะสามารถพิจารณาได้จากรูปข้างล่าง



รูปแสดงโซนอลฟลักซ์ไดอะแกรมของดวงโคม

จากรูปดังกล่าว โดยที่ N1 = FC1/FC4

N2 = FC2/FC4

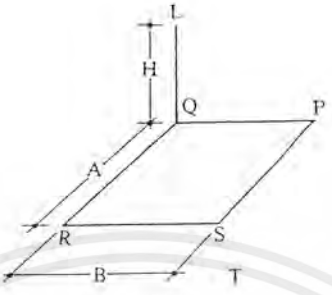
N3 = FC3/FC4

N4 = FC4/F

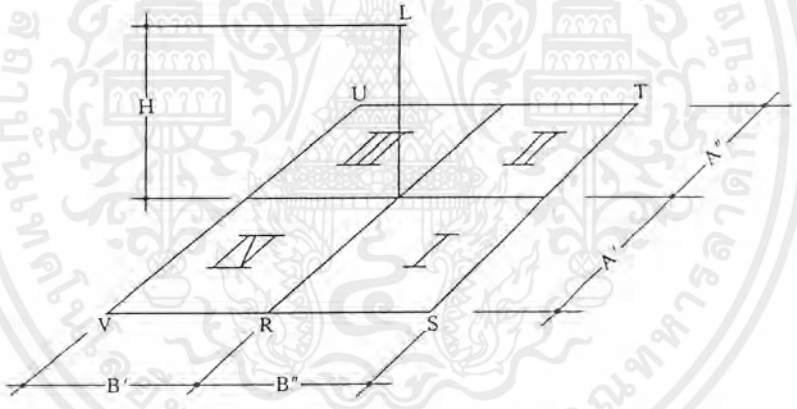
N5 = F/PHIS

นอกจากนี้ค่า GM เช่น GM1, GM2, GM3, GM4 ซึ่งแสดงในตารางต่อไปนี้พิจารณาสำหรับค่า A/H และ B/H โดยจะพิจารณาได้จากรูปข้างล่างนี้ทั้งสองรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปดวงโคม L วางอยู่ในแนวดิ่งเหนือมุมของรูปสี่เหลี่ยม PQRS (ซึ่งมีขนาดกว้าง-ยาวคือ AB) และสูง H



รูปดวงโคม L วางอยู่เหนือรูปสี่เหลี่ยม STUV และมีความสูง H

จากรูปดังกล่าวทั้งสองรูปนี้

ฟลักซ์จาก L บนพื้นที่ PQRS

$$F_{L\rightarrow PQRS} = (N1\times GM1 + N2\times GM2 + N3\times GM3 + GM4) \times N4 \times F$$

ฟลักซ์จาก L บนพื้นที่ STUV

$$F_{L\rightarrow STUV} = F_{L\rightarrow I} + F_{L\rightarrow II} + F_{L\rightarrow III} + F_{L\rightarrow IV}$$

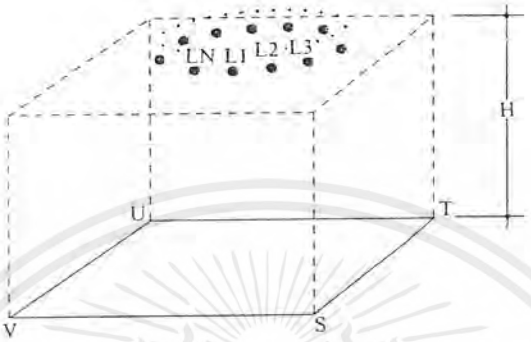
$$= (N1\times SGM1 + N2\times SGM2 + N3\times SGM3 + SGM4) \times N4 \times F$$

ในกรณีที่ i = 1, 2, 3, 4

$$SGM_i = GMi_I + GMi_I + GMi_{II} + GMi_{III} + GMi_{IV}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปต่อไปนี้



รูปแสดงการติดตั้งดวงโคม $L_1, L_2, \ldots, L_N$ บนเพดานซึ่งมีความสูง H เหนือ STUV

ฟลักซ์การติดตั้งโคม $L_1, L_2, \ldots, L_N$ บนพื้นที่ STUV

$$F_{INST \rightarrow STUV}$$

$$= F_{L1 \rightarrow STUV} + F_{L2 \rightarrow STUV} + \ldots + F_{LN \rightarrow STUV}$$

$$= \sum_{j=1}^{n} F_{Lj \rightarrow STUV}$$

$$= [\, N1 \times \sum_{j=1}^{n} SGM1 + N2 \times \sum_{j=1}^{n} SGM2 + N3 \times \sum_{j=1}^{n} SGM3 + \sum_{j=1}^{n} SGM4] \times N4 \times F$$

$$= [N1 \times IGM1 + N2 \times IGM2 + N3 \times IGM3 + IGM4]N4 \times F$$

โดยที่ IGM1, IGM2, IGM3, IGM4 เป็นค่า GM สำหรับการติดตั้งฟลักซ์โดยตรง (Direct Flux) จากการติดตั้งบนพื้นที่ผิวใช้งาน (รูปดังต่อไปนี้)

$$F4 = (N1 \times GM1 + N2 \times GM2 + N3 \times GM3 + GM4] \times N4 \times F$$

โดยที่ GM1, GM2, GM3, GM4 เป็นค่า GM สำหรับการติดตั้งไดเรกเรโชมีค่า

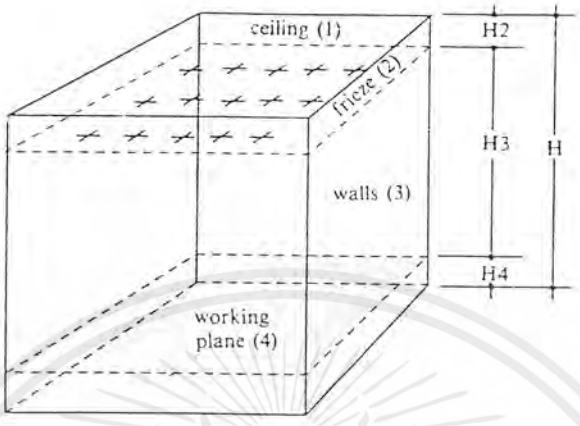
$$DR = \frac{F4}{N4xF}$$

$$= N1 \times GM1 + N2 \times GM2 + N3 \times GM3 + N4$$

ฟลักซ์ที่แผ่ออก (Flux Emitted) โดยการติดตั้งเข้าสู่ฝาผนังคือ F3

โดยที่ $F3 = (1\text{-}DR) \times N4 \times F$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงการติดตั้งดวงโคม ซึ่งจะพบว่าติดตั้งเป็นแบบสี่เหลี่ยมและสม่ำเสมอ

ตารางแสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																		
0.05	GM1	6																
	MG2	−5																
	MG3	2																
	MG4	0																
	GM1	12	24															
0.10	GM2	−9	−18															
	GM3	4	8															
	GM4	−1	−2															
	GM1	18	36	53														
0.15	GM2	−13	−26	−38														
	GM3	6	12	17														
	GM4	−1	−2	−3														
	GM1	23	46	68	88													
0.20	GM2	−17	−34	−49	−62													
	GM3	8	15	21	27													
	GM4	−1	−3	−4	−5													
	GM1	28	56	81	105	126												
0.25	GM2	−20	−40	−58	−73	−86												
	GM3	9	17	25	32	37												
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7												
A/H →		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																		
0.30	GM1	32	64	93	120	144	164											
	GM2	−23	−45	−65	−82	−97	−108											
	GM3	10	19	28	36	42	46											
	GM4	−2	−4	−5	−7	−8	−9											
	GM1	36	70	103	132	159	181	200										
0.35	GM2	−25	−48	−70	−89	−104	−116	−125										
	GM3	11	21	30	38	45	49	53										
	GM4	−2	−4	−6	−7	−8	−9	−10										
	GM1	38	75	110	142	171	195	215	231									
0.40	GM2	−26	−51	−73	−93	−109	−121	−130	−135									
	GM3	11	22	31	40	46	51	54	56									
	GM4	−2	−4	−6	−7	−8	−9	−10	−10									
	GM1	40	80	116	150	180	205	226	242	255								
0.45	GM2	−26	−52	−75	−95	−111	−124	−132	−136	−137								
	GM3	11	22	32	40	47	52	55	56	56								
	GM4	−2	−4	−6	−7	−9	−9	−10	−10	−10								
	GM1	42	82	121	156	186	212	234	251	263	271							
0.50	GM2	−27	−52	−75	−95	−111	−123	−131	−135	−135	−132							
	GM3	11	22	32	40	47	51	54	55	54	53							
	GM4	−2	−4	−6	−7	−8	−9	−10	−10	−10	−9							
	GM1	43	84	124	159	190	217	239	256	268	276	281						
0.55	GM2	−26	−52	−75	−94	−110	−121	−128	−131	−130	−126	−119						
	GM3	11	22	31	39	46	50	52	53	52	50	47						
	GM3	11	22	31	39	46	50	52	53	52	50	47						
	GM4	−2	−4	−6	−7	−8	−9	−9	−9	−9	−9	−8						
	GM1	43	86	125	161	193	220	241	258	270	278	282	283					
0.60	GM2	−26	−51	−73	−92	−107	−117	−123	−125	−123	−118	−110	−101					
	GM3	11	21	31	39	44	48	50	50	49	46	43	38					
	GM4	−2	−4	−6	−7	−8	−9	−9	−9	−9	−8	−8	−7					
	GM1	44	86	126	162	193	220	242	258	270	278	281	282	280				
0.65	GM2	−25	−49	−71	−89	−103	−112	−117	−118	−115	−109	−100	−89	−77				
	GM3	11	21	29	37	42	46	47	47	46	42	38	34	29				
	GM4	−2	−4	−5	−7	−8	−8	−9	−8	−8	−7	−7	−6	−5				
	GM1	44	86	126	162	193	219	241	257	268	275	278	278	276	271			
0.70	GM2	−24	−47	−68	−85	−98	−107	−111	−110	−106	−99	−89	−77	−64	−50			
	GM3	10	20	28	35	40	43	45	44	42	38	34	29	24	19			
	GM4	−2	−4	−5	−6	−7	−8	−8	−8	−7	−7	−6	−5	−4	−3			
	GM1	43	85	125	160	192	218	238	254	265	271	274	273	270	265	258		
0.75	GM2	−23	−45	−65	−81	−93	−100	−103	−102	−97	−89	−78	−65	−51	−36	−22		
	GM3	10	−19	27	34	38	41	42	41	38	35	30	25	19	14	8		
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7	−7	−8	−7	−7	−6	−5	−4	−3	−2	−1		
	GM1	43	85	124	159	189	215	235	251	261	267	269	267	264	258	251	242	
0.80	GM2	−22	−43	−62	−77	−88	−94	−96	−94	−88	−78	−67	−53	−38	−23	−7	8	
	GM3	9	18	26	32	36	39	39	38	35	31	26	20	15	9	4	−1	
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7	−7	−7	−7	−6	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	
	GM1	43	84	122	157	187	212	232	246	256	261	263	261	256	250	242	233	224
0.85	GM	−21	−41	−58	−72	−82	−88	−89	−86	−79	−68	−56	−41	−25	−9	7	23	38
	GM3	9	17	25	31	34	36	37	35	32	27	22	17	11	5	−1	−6	−10
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7	−7	−6	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2
	GM1	42	83	120	155	184	209	228	242	251	255	256	254	249	242	234	224	215
0.90	GM2	−20	−39	−55	−68	−77	−82	−82	−78	−70	−59	−45	−30	−14	3	20	37	52
	GM3	9	17	24	29	33	35	34	32	29	24	19	13	7	1	−5	−10	−14
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	2

A/H →	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับ โคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																		
	GM1	41	81	119	152	181	205	224	237	246	250	250	247	241	234	225	215	205
0.95	GM2	−19	−37	−53	−65	−73	−76	−75	−70	−62	−50	−36	−20	−3	15	32	49	65
	GM3	8	16	23	28	31	33	32	30	27	22	16	10	4	−2	−8	−13	−18
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	3
	GM1	41	80	117	150	178	202	220	232	240	244	243	240	234	226	217	207	196
1.00	GM2	−18	−35	−50	−61	−68	−71	−69	−64	−54	−42	−27	−10	7	25	43	61	77
	GM3	8	16	22	27	30	31	31	28	25	20	14	8	2	−4	−10	−15	−20
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−5	−5	−4	−3	−2	0	1	2	2	3
	GM1	40	78	113	145	173	195	212	223	230	233	231	227	220	211	201	190	179
1.10	GM2	−17	−32	−45	−55	−61	−62	−59	−52	−42	−28	−12	6	24	43	62	80	97
	GM3	8	15	21	26	28	29	29	26	22	17	11	5	−2	−8	−13	−19	−23
	GM4	−1	−3	−4	−5	−5	−6	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	3	4
	GM1	39	76	110	141	167	189	205	215	221	223	221	216	208	198	188	176	164
1.20	GM2	−16	−30	−42	−50	−55	−55	−51	−43	−32	−17	0	18	38	57	76	95	113
	GM3	8	15	21	25	28	28	27	25	21	16	10	4	−3	−9	−15	−20	−24
	GM4	−1	−3	−4	−5	−5	−5	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	3	4
	GM1	38	74	108	138	163	184	199	209	214	215	212	206	198	188	176	164	152
1.30	GM2	−15	−28	−39	−47	−51	−50	−46	−37	−24	−9	8	27	47	67	87	106	124
	GM3	8	15	20	25	28	28	27	25	21	16	10	4	−2	−8	−14	−19	−23
	GM4	−1	−3	−4	−5	−5	−5	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	3	3
	GM1	37	73	106	135	160	179	194	203	208	208	205	198	189	179	167	154	141
1.40	GM2	−14	−27	−37	−45	−48	−47	−42	−32	−20	−4	14	33	53	74	94	113	131
	GM3	8	15	21	25	28	29	28	26	22	17	11	5	−1	−7	−12	−17	−21
	GM4	−1	−3	−4	−5	−5	−6	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	2	3
	GM1	36	72	104	133	157	176	190	199	203	203	199	192	183	172	159	147	133
1.50	GM2	−14	−26	−36	−43	−46	−45	−39	−30	−16	−1	18	37	57	78	98	117	135
	GM3	8	15	21	26	29	30	29	27	23	19	13	7	2	−4	−9	−13	−17
	GM4	−1	−3	−4	−5	−5	−6	−6	−5	−4	−4	−3	−2	−1	0	1	2	2
	GM1	36	71	103	131	155	173	187	195	199	199	194	187	178	166	154	141	127
1.60	GM2	−14	−26	−36	−42	−45	−43	−38	−28	−15	1	19	39	59	80	100	119	137
	GM3	8	15	22	27	30	31	31	29	25	21	16	10	5	−1	−5	−10	−13
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	1	2
	GM1	36	70	102	130	153	171	185	193	196	195	191	184	174	162	149	136	122
1.70	GM2	−13	−26	−35	−42	−45	−43	−37	−27	−14	2	20	40	60	80	100	119	138
	GM3	8	16	23	28	31	33	33	31	28	23	19	13	8	3	−1	−5	−9
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−2	−1	0	1	1
	GM1	35	69	101	129	152	170	183	191	194	193	188	181	171	159	146	133	119
1.80	GM2	−13	−26	−36	−42	−45	−43	−37	−28	−15	1	20	39	59	80	100	119	137
	GM3	9	17	23	29	33	34	34	33	30	26	21	17	12	7	3	−1	−4
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−6	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	0	1
	GM1	35	69	100	128	151	169	182	190	193	191	187	179	169	157	144	130	116
1.90	GM2	−14	−26	−36	−42	−45	−44	−38	−28	−15	1	18	38	58	78	98	117	135
	GM3	9	17	24	30	34	36	36	35	32	29	24	20	15	11	7	3	1
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−2	−1	0	0
	GM1	35	69	100	127	150	168	181	189	192	190	185	177	167	155	142	129	115
2.00	GM2	−14	−26	−36	−43	−46	−44	−39	−29	−17	−1	17	36	56	76	96	114	132
	GM3	9	18	25	31	35	38	38	37	35	31	27	23	18	14	11	7	5
	GM4	−2	−3	−4	−6	−6	−7	−7	−6	−6	−5	−4	−4	−3	−2	−1	−1	0
	GM1	35	69	100	127	150	167	180	188	190	189	184	176	166	154	141	127	113
2.20	GM2	−14	−27	−37	−44	−46	−47	−41	−32	−20	−4	13	32	52	71	90	109	126
	GM3	10	19	27	33	38	41	42	41	39	36	33	29	25	21	18	15	13
	GM4	−2	−3	−5	−6	−6	−7	−7	−7	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−2	−1	−1
	GM1	35	69	99	127	149	167	180	187	190	189	184	176	165	153	140	126	112
2.40	GM2	−14	−28	−38	−46	−49	−49	−44	−35	−23	−8	9	27	47	66	85	103	120
	GM3	10	19	28	35	40	43	45	45	43	41	37	34	30	27	24	22	20
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7	−7	−7	17	−6	−6	−5	−4	−3	−3	−2	−2	−1
A/H=		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																		
2.60	GM1	35	69	100	127	149	167	180	187	190	189	184	176	166	154	141	127	113
	GM2	−15	−28	−39	−47	−51	−51	−47	−38	−26	−12	5	23	42	61	79	97	113
	GM3	10	20	29	36	42	45	47	48	46	44	41	38	35	32	30	28	26
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7	−7	−7	−7	−7	−6	−5	−4	−4	−3	−2	−2	−1
2.80	GM1	35	69	100	127	150	168	180	188	191	189	184	177	166	154	141	128	114
	GM2	−15	−29	−40	−49	−53	−53	−49	−41	−30	−15	1	19	37	56	74	92	108
	GM3	11	21	30	37	43	47	49	50	49	47	45	42	39	36	34	32	31
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7	−7	−7	−7	−7	−6	−5	−4	−4	−3	−2	−2	−1
B/H																		
4																		
3.00	GM1	35	69	100	127	150	168	181	188	191	190	185	177	167	155	142	129	115
	GM2	−15	−30	−41	−50	−55	−55	−51	−43	−32	−18	−2	15	33	52	70	87	102
	GM3	11	21	31	38	44	49	51	52	51	50	47	45	42	40	38	36	35
	GM4	−2	−3	−5	−6	−7	−7	−7	−7	−6	−6	−5	−4	−4	−3	−2	−2	−1
3.50	GM1	35	69	100	128	151	169	182	190	193	192	187	179	169	157	145	133	117
	GM2	−16	−31	−43	−52	−58	−59	−55	−48	−38	−24	−9	6	24	43	61	77	92
	GM3	11	22	32	40	47	51	54	55	55	54	52	50	48	45	44	43	42
	GM4	−2	−3	−5	−6	−6	−7	−7	−7	−6	−5	−5	−4	−3	−2	−1	−1	0
4.00	GM1	35	69	101	128	151	170	183	191	194	193	188	181	171	159	147	135	120
	GM2	−16	−32	−44	−54	−60	−61	−58	−52	−41	−28	−13	3	20	38	54	71	86
	GM3	12	23	33	41	48	53	56	57	57	56	55	53	51	49	47	47	46
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−1	0	0	1
4.50	GM1	35	70	101	129	152	170	183	191	195	194	189	182	172	161	148	135	121
	GM2	−17	−32	−45	−55	−61	−63	−60	−54	−44	−31	−16	0	17	34	50	66	81
	GM3	12	23	33	42	48	53	57	58	59	58	56	54	52	51	49	49	48
	GM4	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−6	−6	−5	−4	−3	−2	−1	0	0	1	2
5.00	GM1	36	70	101	129	152	171	184	192	195	195	190	183	173	162	149	136	123
	GM2	−17	−33	−46	−56	−62	−64	−62	−55	−46	−33	−18	−2	14	31	48	63	78
	GM3	12	23	33	42	49	54	57	59	59	58	57	55	53	51	50	50	50
	GM4	−1	−3	−4	−5	−5	−6	−6	−5	−4	−4	−3	−2	−1	0	1	2	3
5.50	GM1	36	70	101	129	153	171	184	192	196	195	191	183	174	162	150	137	123
	GM2	−17	−33	−46	−56	−63	−65	−62	−56	−47	−34	−20	−4	13	30	46	61	76
	GM3	12	23	33	42	49	54	57	59	59	59	57	55	53	52	51	50	50
	GM4	−1	−3	−4	−5	−5	−5	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	3	4
6.00	GM1	36	70	101	129	153	171	184	193	196	195	191	184	174	163	150	137	124
	GM2	−17	−33	−46	−57	−63	−65	−63	−57	−47	−35	−21	−5	12	28	45	60	74
	GM3	12	23	33	42	49	54	57	59	59	59	57	55	53	52	51	50	50
	GM4	−1	−3	−4	−4	−5	−5	−5	−4	−3	−3	−1	0	1	2	3	4	5
6.50	GM1	36	70	102	129	153	171	185	193	196	196	191	184	174	163	151	138	124
	GM2	−17	−33	−47	−57	−63	−65	−63	−57	−48	−36	−21	−5	11	28	44	59	74
	GM3	12	23	33	42	49	54	57	59	59	59	57	55	53	52	50	50	50
	GM4	−1	−3	−4	−4	−5	−5	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	3	4	5	5
7.00	GM1	36	70	102	130	153	171	185	193	197	196	192	184	175	163	151	138	125
	GM2	−17	−33	−47	−57	−63	−66	−64	−58	−48	−36	−22	−6	11	27	43	59	73
	GM3	12	23	33	42	49	54	57	59	59	58	57	55	53	52	50	50	50
	GM4	−1	−2	−3	−4	−5	−5	−4	−4	−3	−2	−1	1	2	3	4	5	6
7.50	GM1	36	70	102	130	153	172	185	193	197	196	192	184	175	164	151	138	125
	GM2	−17	−33	−47	−57	−64	−66	−64	−58	−48	−36	−22	−6	10	27	43	58	73
	GM3	12	23	33	42	49	54	57	59	59	58	57	55	53	51	50	49	49
	GM4	−1	−2	−3	−4	−4	−4	−4	−3	−2	−1	0	1	2	4	5	6	7
A/H→		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																		
	GM1	36	70	102	130	153	172	185	193	197	196	192	184	175	164	151	138	125
8.00	GM2	17	−33	−47	−57	−64	−66	−64	−58	−49	−36	−22	−6	10	27	43	58	72
	GM3	12	23	33	42	49	54	57	58	59	58	56	55	53	51	50	49	49
	GM4	−1	−2	−3	−4	−4	−4	−4	−3	−2	−1	0	1	3	4	5	6	7
	GM1	36	70	102	130	153	172	185	193	197	196	192	185	175	164	151	138	125
9.00	GM2	−17	−33	−47	−57	−64	−66	−64	−58	−49	−36	−22	−6	10	26	43	58	72
	GM3	12	23	33	42	48	53	57	58	58	57	56	54	52	50	49	48	48
	GM4	−1	−2	−3	−4	−4	−4	−3	−3	−2	−1	1	2	3	5	6	7	8
	GM1	36	70	102	130	153	172	185	193	197	196	192	185	175	164	151	138	125
10.00	GM2	−17	−33	−47	−57	−64	−66	−64	−58	−49	−36	−22	−7	10	26	43	58	72
	GM3	12	23	33	41	48	53	56	58	58	57	55	54	52	50	48	48	47
	GM4	−1	−2	−3	−4	−4	−4	−3	−2	−1	0	1	3	4	5	6	8	9
	GM1	36	70	102	130	153	171	185	193	197	196	192	184	175	163	151	138	125
20.00	GM2	−17	−33	−47	−57	−63	−65	−63	−57	−48	−36	−21	−6	11	27	44	59	73
	GM3	11	22	32	41	47	52	55	56	56	55	53	51	49	47	45	44	44
	GM4	−1	−2	−3	−3	−3	−3	−2	−1	0	1	3	4	6	7	9	10	11
	GM1	36	70	102	129	153	171	185	193	196	196	191	184	175	163	151	138	124
30.00	GM2	−17	−33	−47	−57	−63	−65	−63	−57	−48	−35	−21	−5	11	28	44	60	74
	GM3	11	22	32	40	47	52	54	56	56	54	53	50	48	46	44	43	43
	GM4	−1	−2	−2	−3	−3	−3	−2	−1	0	2	3	5	6	8	9	11	12
	GM1	36	70	102	129	153	171	185	193	196	196	191	184	174	163	151	138	124
40.00	GM2	−17	−33	−47	−57	−63	−65	−65	−57	−48	−35	−21	−5	12	28	44	60	74
	GM3	11	22	32	40	47	51	54	56	55	54	52	50	48	46	44	43	43
	GM4	−1	−2	−2	−3	−3	−2	−2	−1	0	2	3	5	7	8	9	11	12
	GM1	36	70	102	129	152	171	185	193	196	196	191	184	174	163	151	138	124
50.00	GM2	−17	−33	−47	−57	−63	−65	−63	−57	−48	−35	−21	−5	12	28	45	60	74
	GM3	11	22	32	40	47	51	54	55	55	54	52	50	48	46	44	43	42
	GM4	−1	−2	−2	−3	−3	−2	−2	−1	0	2	3	5	7	8	10	11	12
A/H →		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85

B/H ↓																		
	GM1	205																
0.90	GM2	67																
	GM3	−18																
	GM4	3																
	GM1	195	185															
0.95	GM2	81	94															
	GM3	−21	−25															
	GM4	3	4															
GM1	185	175	164														
1.00	GM2	93	107	120														
	GM3	−24	−27	−30														
	GM4	4	4	5														
	GM1	167	156	145	125													
1.10	GM2	113	128	141	163													
	GM3	−27	−30	−32	−35													
	GM4	4	5	5	5													
	GM1	152	140	129	108	90												
1.20	GM2	129	144	158	180	197												
	GM3	−28	−31	−33	−35	−34												
	GM4	4	5	5	5	5												
A/H →		0.90	0.95	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																	
1.30	GM1	139	127	115	93	75	59										
	GM2	140	155	169	192	209	221										
	GM3	−26	−29	−31	−32	−31	−28										
	GM4	4	4	5	5	5	4										
	GM1	129	116	104	82	62	46	34									
1.40	GM2	148	163	177	200	216	225	235									
	GM3	−24	−26	−28	−29	−27	−25	−18									
	GM4	3	4	4	4	4	3	3									
	GM1	120	107	95	72	53	36	23	13								
1.50	GM2	152	167	181	204	221	232	239	242								
	GM3	−20	−22	−25	−24	−22	−17	−11	−4								
	GM4	3	3	3	4	3	3	2	1								
	GM1	114	101	88	65	45	29	15	5	−3							
1.60	GM2	154	169	183	205	222	233	240	242	243							
	GM3	−16	−16	−19	−18	−16	−11	−4	3	11							
	GM4	2	3	3	3	2	2	1	0	−1							
	GM1	109	96	83	60	40	25	10	−1	−9	−15						
1.70	GM2	154	169	183	205	221	232	238	241	241	239						
	GM3	−11	−13	−13	−13	−9	−4	3	11	19	28						
	GM4	2	2	2	2	2	1	0	−1	−2	−3						
	GM1	105	92	79	56	35	19	5	−5	−14	−20	−24					
1.80	GM2	153	168	182	203	219	230	236	238	237	234	230					
	GM3	−6	−7	−8	−7	−3	3	10	19	27	36	55					
	GM4	1	1	2	1	1	0	−1	−2	−3	−4	−5					
	GM1	102	89	76	53	32	16	2	−9	−17	−23	−27	−30				
1.90	GM2	151	166	179	201	216	226	232	233	232	229	225	219				
	GM3	−1	−2	−3	−1	3	10	17	26	35	45	54	63				
	GM4	1	1	1	1	0	0	−1	−2	−3	−4	−5	−6				
	GM1	101	87	74	51	30	14	0	−11	−19	−25	−29	−32	−34			
2.0	GM2	148	163	176	197	212	222	227	228	227	224	218	212	206			
	GM3	3	3	2	5	9	16	24	33	43	53	62	72	81			
	GM4	0	0	1	0	0	−1	−2	−3	−4	−5	−6	−7	−7			
	GM1	99	85	72	49	28	12	−2	−12	−21	−27	−31	−34	−35	−36		
2.20	GM2	142	156	169	189	204	213	217	218	215	211	205	199	191	176		
	GM3	12	12	12	15	21	28	37	47	57	67	78	88	97	114		
	GM4	0	0	0	0	−1	−2	−3	−4	−5	−6	−7	−8	−8	−9		
	GM1	99	85	72	48	28	12	−2	−12	−20	−26	−30	−33	−35	−36	−34	
2.40	GM2	135	149	161	181	195	203	206	206	204	199	192	185	177	160	144	
	GM3	19	19	20	24	30	38	48	58	69	80	91	101	111	129	145	
	GM4	−1	−1	−1	−1	−1	−2	−3	−4	−5	−6	−7	−8	−9	−9	−10	
	GM1	99	86	73	49	29	12	−1	−11	−19	−25	−29	−31	−33	−33	−32	−30
2.60	GM2	128	142	154	173	186	193	196	196	192	187	180	172	164	146	129	113
	GM3	26	26	27	31	38	47	57	68	79	91	102	113	123	142	158	171
	GM4	−1	−1	−1	−1	−2	−3	−4	−5	−6	−6	−7	−8	−9	−9	−9	−9
	GM1	100	87	74	50	30	14	1	−10	−17	−23	−27	−29	−31	−31	−29	−27	−23
2.80	GM2	122	136	147	166	178	185	187	186	182	176	169	160	151	133	115	98	83
	GM3	31	32	33	38	45	54	65	76	88	100	111	122	133	152	169	183	194
	GM4	−1	−1	−1	−1	−2	−2	−3	−4	−5	−6	−7	−8	−8	−9	−9	−9	−8
A/H →		0.90	0.95	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H ↓																	
	GM1	101	88	75	52	32	16	2	−8	−15	−21	−24	−27	−28	−28	−26	−23	120
3.00	GM2	117	130	141	159	171	177	179	178	173	167	159	150	141	122	103	86	70
	GM3	35	36	38	43	54	69	71	83	95	107	119	130	141	161	178	192	205
	GM4	−1	−1	−1	−1	−1	−2	−3	−4	−5	−6	−7	−7	−8	−8	−8	−8	−7
	GM1	104	91	78	55	36	20	7	−3	−10	−15	−19	−21	−22	−22	−19	−16	−12
3.50	GM2	106	119	130	146	157	162	163	161	155	148	139	130	120	99	79	60	44
	GM3	43	44	46	52	60	70	82	94	107	119	132	144	155	175	193	208	221
	GM4	0	0	0	0	0	−1	−2	−3	−3	−4	−5	−5	−6	−6	−6	−5	−4
	GM1	106	93	81	58	39	23	10	1	−6	−11	−15	−16	−17	−16	−14	−10	−6
4.00	GM2	99	111	122	138	146	152	152	149	143	135	126	116	105	83	62	43	25
	GM3	47	48	50	57	66	76	88	101	114	127	139	151	163	184	202	218	230
	GM4	1	1	2	2	1	1	0	−1	−1	−2	−3	−3	−3	−3	−3	−2	0
	GM1	108	95	83	60	41	25	13	4	−3	−8	−11	−13	−14	−13	−10	−6	−1
4.50	GM2	94	106	116	132	141	145	145	141	135	127	117	106	95	73	51	31	13
	GM3	49	51	53	59	68	79	91	104	117	130	143	156	167	189	207	223	235
	GM4	2	3	3	3	3	2	2	1	1	0	0	−1	−1	0	0	1	3
	GM1	109	96	84	62	43	27	15	6	−1	6	−9	−10	−11	−10	−7	−2	2
5.00	GM2	91	103	113	128	137	141	140	136	130	121	111	100	89	66	43	23	4
	GM3	50	52	54	61	70	81	93	106	119	132	145	158	169	191	209	225	238
	GM4	3	4	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	3	4	6
	GM1	110	97	85	63	44	28	16	7	0	−4	−7	−9	−9	−8	−4	0	5
5.50	GM2	89	100	110	125	134	138	137	133	126	117	107	96	84	61	38	17	−1
	GM3	51	52	55	61	70	81	94	107	120	133	146	158	170	192	210	226	239
	GM4	4	5	5	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	5	6	7	9
	GM1	111	98	86	63	45	29	17	8	1	−3	−6	−7	−8	−6	−3	1	6
6.00	GM2	87	99	109	123	132	136	135	130	123	114	104	93	81	58	35	14	−5
	GM3	51	52	55	61	71	81	94	107	120	133	146	158	170	192	210	226	239
	GM4	5	6	6	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	7	8	10	12
	GM1	111	98	86	64	45	30	18	9	2	−2	−5	−7	−7	−5	−2	3	7
6.50	GM2	86	98	108	122	131	134	133	129	122	113	102	91	79	55	33	11	−8
	GM3	51	52	54	61	70	81	93	106	120	133	146	158	170	191	210	225	238
	GM4	6	7	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7	8	8	10	12	14
	GM1	111	99	87	64	46	30	18	9	3	−2	−5	−6	−6	−5	−1	3	8
7.00	GM2	86	97	107	122	130	134	132	128	121	112	101	90	78	54	31	10	−10
	GM3	50	52	54	61	70	81	93	106	119	132	145	157	169	190	209	224	237
	GM4	7	7	8	8	9	9	9	8	8	8	8	9	9	10	12	14	16
	GM1	112	99	87	65	46	31	19	10	3	−1	−4	−6	−6	−4	−1	4	9
7.50	GM2	85	97	106	121	130	133	132	127	120	111	100	89	77	53	30	9	−11
	GM3	50	51	54	60	69	80	92	105	118	131	144	157	168	189	208	223	236
	GM4	7	8	8	9	9	10	10	9	9	9	10	10	10	12	13	16	18
	GM1	112	99	87	65	46	31	19	10	3	−1	−4	−5	−6	−4	0	4	9
8.00	GM2	85	96	106	121	129	133	131	127	120	110	100	88	76	52	29	8	−11
	GM3	50	51	53	60	69	80	92	105	118	131	143	156	167	188	207	222	235
	GM4	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	12	13	15	17	20
	GM1	112	99	87	65	46	31	19	10	3	−1	−4	−5	−5	−4	0	5	10
9.00	GM2	85	96	106	120	129	132	131	126	119	110	99	88	76	52	29	7	−12
	GM3	49	50	52	59	68	79	91	103	116	129	142	154	166	187	205	220	232
	GM4	9	9	10	11	11	12	12	12	12	12	12	13	13	15	17	20	22
	GM1	112	99	87	65	46	31	19	10	4	−1	−4	−5	−5	−4	0	5	10
10.00	GM2	85	96	106	120	129	132	131	126	119	110	99	88	76	52	29	7	−12
	GM3	48	49	52	58	67	77	89	102	115	128	140	153	164	185	203	218	230
	GM4	9	10	11	12	12	13	13	13	13	13	14	14	15	17	18	22	24
A/H →		0.90	0.95	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																	
	GM1	112	99	87	64	46	30	18	9	3	−2	−5	−6	−6	−5	−1	3	8
20.00	GM2	86	98	107	122	131	134	133	129	121	112	102	91	79	55	32	11	−8
	GM3	44	46	48	54	62	72	84	96	108	121	133	145	156	176	193	207	219
	GM4	12	13	14	15	16	17	17	18	18	19	19	20	21	23	26	29	33
	GM1	111	98	86	64	45	30	18	9	2	−2	−5	−6	−7	−5	−2	3	7
30.00	GM2	87	98	108	123	132	135	134	130	122	114	103	92	80	57	34	13	−6
	GM3	43	44	46	52	61	71	82	94	107	119	131	143	153	173	190	204	215
	GM4	13	14	15	16	17	18	18	19	19	20	21	21	23	25	28	31	35
	GM1	111	98	86	64	45	30	18	9	2	−2	−5	−7	−7	−6	−2	2	7
40.00	GM2	87	99	108	123	132	135	135	130	123	114	104	93	81	57	35	14	−5
	GM3	43	44	46	52	60	70	81	93	106	118	130	142	153	172	189	203	214
	GM4	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	22	23	25	29	32	36
	GM1	111	98	86	64	45	30	18	9	2	−3	−5	−7	−7	−6	−2	2	7
50.00	GM2	87	99	108	123	132	136	135	130	123	114	104	93	81	58	35	14	−5
	GM3	43	44	46	51	60	70	81	93	105	118	130	141	152	172	188	202	213
	GM4	13	14	15	16	17	18	19	19	20	21	21	22	23	26	29	32	36
A/H →		0.50	0.95	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80

B/H ↓																	
	GM1	−16															
3.00	GM2	56															
	GM3	214															
	GM4	−6															
	GM1	−5	1														
3.50	GM2	29	−1														
	GM3	231	249														
	GM4	−3	1														
	GM1	−2	8	16													
4.00	GM2	10	−21	−43													
	GM3	241	259	270													
	GM4	1	6	10													
	GM1	3	13	21	27												
4.50	GM2	−3	−36	−58	−74												
	GM3	246	265	276	281												
	GM4	5	10	15	20												
	GM1	7	17	25	32	36											
5.00	GM2	−12	−45	−68	−85	−96											
	GM3	249	267	278	283	286											
	GM4	8	14	20	25	30											
	GM1	9	20	28	35	39	43										
5.50	GM2	−18	−52	−76	−92	−103	−111										
	GM3	250	268	279	284	286	286										
	GM4	11	17	24	30	35	40										
	GM1	11	22	30	37	42	45	48									
6.00	GM2	−22	−56	−80	−97	−109	−117	−122									
	GM3	249	268	278	283	285	285	283									
	GM4	14	21	27	33	39	45	50									
	GM1	12	23	32	39	43	47	49	51								
6.50	GM2	−25	−59	−84	−100	−112	−120	−126	−130								
	GM3	249	267	277	282	283	283	281	279								
	GM4	17	23	30	37	43	49	54	58								
A/H →		3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	9.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)แสดงว่า GM สำหรับโคมเดี่ยวที่วางอยู่เหนือมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่ง

B/H																	
7.00	GM1	13	24	33	40	45	48	51	52	54							
	GM2	−27	−61	−86	−103	−115	−123	−128	−132	−134							
	GM3	247	266	275	280	281	281	279	277	274							
	GM4	19	26	33	40	46	52	58	62	67							
7.50	GM1	14	25	34	40	45	49	51	53	54	55						
	GM2	−28	−63	−87	−104	−116	−124	−130	−133	−136	−137						
	GM3	246	264	274	278	279	278	277	274	271	268						
	GM4	21	28	36	43	49	56	61	66	70	74						
8.00	GM1	14	25	34	41	46	49	52	54	55	56	56					
	GM2	−29	−63	−88	−105	−117	−125	−131	−134	−137	−138	−139					
	GM3	245	263	272	276	277	276	274	271	268	265	261					
	GM4	22	30	38	45	52	58	64	69	74	78	82					
9.00	GM1	14	26	35	41	46	50	52	54	55	56	57	57				
	GM2	−29	−64	−88	−105	−118	−126	−131	−135	−137	−139	−139	−139				
	GM3	242	260	269	272	273	271	269	266	262	259	255	248				
	GM4	25	33	42	49	57	63	69	75	80	84	88	95				
10.00	GM1	15	26	35	41	46	50	53	54	55	56	57	57	57			
	GM2	−29	−64	−88	−105	−117	−125	−131	−134	−137	−138	−139	−138	−137			
	GM3	240	257	265	269	269	267	264	261	257	253	249	242	235			
	GM4	28	36	44	53	60	67	73	79	84	89	93	100	106			
20.00	GM1	13	24	33	39	44	47	49	51	52	52	53	53	53	43		
	GM2	−25	−59	−82	−99	−110	−117	−122	−125	−126	−127	−127	−125	−123	−99		
	GM3	228	243	249	251	249	246	241	236	230	225	219	209	200	147		
	GM4	37	46	56	65	75	83	90	97	103	109	114	123	131	168		
30.00	GM1	12	23	32	38	42	46	48	49	50	50	50	50	49	38	32	
	GM2	−23	−56	−80	−96	−107	−114	−118	−120	−122	−122	−121	−119	−116	−88	−74	
	GM3	224	239	245	246	244	239	234	229	223	216	211	199	189	128	105	
	GM4	39	49	59	69	78	87	95	102	108	114	120	130	138	179	193	
40.00	GM1	12	23	31	37	42	45	47	48	49	49	49	49	48	36	29	25
	GM2	−22	−55	−79	−94	−105	−112	−116	−118	−120	−120	−119	−117	−114	−82	−66	−58
	GM3	223	237	243	244	241	237	231	225	219	213	207	195	184	120	94	81
	GM4	40	50	60	70	80	88	96	103	110	116	122	132	140	184	199	206
50.00	GM1	12	22	31	37	41	45	47	48	49	49	49	48	47	34	27	23	21
	GM2	−21	−55	−78	−94	−104	−111	−115	−117	−118	−118	−118	−115	−112	−79	−62	−53	−48
	GM3	222	236	242	243	240	236	230	224	218	211	205	193	182	116	88	74	67
	GM4	40	50	61	71	80	89	97	104	111	117	123	133	142	186	202	210	214
A/H→		3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	9.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคำนวณค่าความเข้มแสง E_1, E_3, E_4

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 0.60

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้นผิวใช้งาน : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1255	−889	−189	418	222	−465	473	−64	719
871	1203	−882	−267	367	229	−543	436	−59	662
773	1216	−861	−183	355	267	−456	401	−13	729
771	1173	−866	−260	314	269	−531	372	−12	676
753	1124	−930	−65	271	205	−349	300	−88	858
751	1100	−923	−136	247	212	−418	287	−84	820
731	1052	−964	−54	204	175	−345	232	−131	913
711	1018	−993	3	174	149	−294	193	−165	979
551	1069	−898	−132	172	275	−409	199	−11	831
531	1036	−950	−53	144	230	−342	163	−69	917
511	1013	−988	3	123	198	−294	137	−110	978
331	1021	−937	−53	85	284	−339	97	−7	920
311	1008	−983	3	74	246	−294	82	−56	978
111	1003	−978	3	24	294	−294	27	−3	978
000	1000	−1000	0	0	300	−300	0	0	1000

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 0.80

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้นผิวใช้งาน : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1273	−864	−198	468	315	−581	564	−91	678
871	1201	−852	−285	398	327	−664	512	−83	616
773	1231	−836	−191	396	364	−569	477	−32	692
7111	540	−525	4	65	358	−392	94	−64	975
5551	642	−526	−86	116	435	−511	148	53	817
5531	630	−570	−35	101	378	−444	128	−23	906
5331	569	−515	−31	74	402	−442	98	4	908
5511	621	−604	5	89	334	−392	112	−81	975
5111	515	−500	4	46	376	−393	66	−36	975
3331	540	−488	−30	52	422	−441	66	33	910
3311	536	−521	4	46	376	−393	58	−29	975
1111	471	−458	4	13	408	−393	17	11	974
0000	444	−444	0	0	400	−400	0	0	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 1.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้นผิวใช้งาน : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1284	−845	−202	501	412	−691	632	−112	650
871	1194	−829	−294	417	427	−778	568	−101	584
773	1240	−816	−195	424	464	−679	534	−48	665
771	1166	−810	−287	356	470	−763	485	−43	604
753	1156	−908	−60	347	380	−556	438	−153	820
751	1109	−890	−156	300	396	−643	409	−143	767
731	1060	−949	−61	260	342	−556	354	−216	885
711	1026	−994	12	229	301	−489	312	−271	975
551	1073	−864	−152	208	470	−630	284	−42	784
531	1042	−933	−60	182	411	−551	248	−122	891
511	1019	−986	12	162	366	−490	221	−183	974
331	1029	−917	−59	108	478	−547	147	−30	897
311	1011	−979	12	97	429	−491	132	−97	973
111	1004	−972	12	32	492	−492	44	−12	972
000	1000	−1000	0	0	500	−500	0	0	1000

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 1.25

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้นผิวใช้งาน : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1292	−827	−204	531	537	−826	695	−132	625
871	1185	−807	−300	432	555	−915	618	−117	555
773	1246	−798	−197	448	590	−813	587	−62	642
771	1158	−789	−294	369	598	−900	528	−56	578
753	1169	−900	−57	377	496	−684	496	−181	806
751	1104	−876	−162	319	517	−778	459	−168	746
731	1063	−942	−62	281	455	−685	407	−253	874
711	1031	−995	16	251	407	−612	366	−320	974
551	1072	−851	−158	221	595	−764	319	−56	766
531	1044	−926	−61	197	530	−680	285	−145	881
511	1022	−986	16	178	478	−613	259	−217	973
331	1026	−910	−60	116	602	−676	168	−41	888
311	1013	−978	16	106	547	−615	154	−115	971
111	1004	−969	16	35	616	−616	51	−16	969
000	1000	−1000	0	0	625	−625	0	0	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 1.50

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้นผิวใช้งาน : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1297	– 814	– 205	552	662	– 959	742	– 146	606
871	1176	– 790	– 304	441	684	– 1050	654	– 128	534
773	1251	– 785	– 197	466	716	– 945	626	– 73	625
771	1150	– 773	– 297	377	727	– 1033	560	– 65	558
753	1180	– 894	– 53	400	615	– 811	542	– 203	796
751	1103	– 865	– 166	332	640	– 911	497	– 186	730
731	1065	– 938	– 63	297	572	– 814	448	– 281	865
711	1034	– 996	20	269	517	– 736	408	– 358	974
551	1071	– 840	– 162	231	720	– 895	345	– 67	753
531	1046	– 920	– 62	208	650	– 809	314	– 163	873

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 1.50

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้นผิวใช้งาน : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
511	1024	– 986	20	190	593	– 737	289	– 243	972
331	1027	– 904	– 61	123	726	– 803	185	– 50	881
311	1014	– 977	20	113	667	– 739	172	– 130	970
111	1005	– 968	19	37	740	– 740	57	– 19	968
000	1000	– 1000	0	0	750	– 750	0	0	1000

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 2.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1303	– 795	– 205	580	915	– 1220	808	– 165	582
871	1161	– 766	– 307	451	942	– 1313	703	– 144	506
773	1259	– 766	– 197	489	971	– 1206	681	– 88	601
771	1138	– 751	– 301	387	984	– 1296	603	– 78	532
753	1195	– 886	– 48	432	858	– 1066	608	– 233	782
751	1099	– 849	– 171	350	890	– 1172	550	– 211	708
731	1067	– 930	– 64	319	812	– 1069	507	– 321	853
711	1041	– 999	25	294	747	– 983	471	– 414	975
551	1069	– 826	– 167	243	972	– 1155	382	– 81	734
531	1047	– 913	– 63	224	895	– 1064	355	– 189	862
511	1029	– 987	25	207	829	– 985	332	– 281	972
331	1028	– 896	– 62	132	975	– 1058	209	– 62	871
311	1017	– 976	25	123	910	– 987	197	– 151	968
111	1006	– 965	24	41	989	– 989	65	– 24	965
000	1000	– 1000	0	0	1000	– 1000	0	0	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 2.50

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1306	−783	−205	598	1170	−1479	850	−177	566
871	1150	−750	−308	457	1199	−1573	734	−153	488
773	1258	−754	−197	504	1226	−1465	717	−97	587
771	1129	−736	−303	393	1241	−1556	630	−86	516
753	1205	−881	−45	454	1105	−1320	652	−254	773
751	1096	−839	−174	361	1141	−1439	585	−228	694
731	1069	−926	−65	334	1056	−1324	547	−348	845
711	1045	−1001	29	311	983	−1232	514	−452	976
551	1067	−816	−170	251	1225	−1413	407	−91	722
531	1048	−908	−64	234	1143	−1318	383	−207	855
511	1032	−988	29	219	1070	−1234	363	−307	972
331	1028	−891	−63	138	1226	−1312	226	−70	865
311	1019	−976	28	130	1156	−1237	215	−166	967
111	1006	−963	28	43	1239	−1239	71	−28	963
000	1000	−1000	0	0	1250	−1250	0	0	1000

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 3.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1308	−774	−204	611	1424	−1737	880	−186	555
871	1142	−739	−309	461	1456	−1831	755	−159	476
773	1259	−745	−197	514	1481	−1722	742	−104	576
771	1122	−726	−303	396	1497	−1814	649	−91	504
753	1213	−878	−42	470	1353	−1573	685	−268	767
751	1094	−831	−176	369	1393	−1687	610	−239	684
731	1070	−922	−65	345	1302	−1577	576	−368	840
711	1049	−1002	32	323	1222	−1481	546	−481	977
551	1065	−809	−171	256	1478	−1669	424	−98	714
531	1049	−904	−64	241	1391	−1571	403	−219	850

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 3.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
511	1034	−989	31	228	1314	−1484	385	−327	972
331	1029	−887	−63	142	1477	−1565	237	−76	860
311	1020	−975	31	135	1403	−1487	228	−177	967
111	1007	−962	31	44	1489	−1489	75	−31	962
000	1000	−1000	0	0	1500	−1500	0	0	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 4.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1310	−762	−203	627	1932	−2249	920	−196	540
871	1130	−723	−309	465	1967	−2344	782	−167	459
773	1261	−733	−196	528	1990	−2234	775	−112	563
771	1112	−712	−304	400	2008	−2326	674	−97	489
753	1224	−873	−39	492	1853	−2080	728	−288	760
751	1091	−820	−178	378	1897	−2198	643	−254	670
731	1071	−918	−66	359	1798	−2083	615	−393	832
711	1054	−1005	36	341	1709	−1980	590	−519	978
551	1063	−800	−174	263	1984	−2179	447	−107	702
531	1050	−899	−65	251	1890	−2076	430	−236	843
511	1038	−990	35	240	1805	−1983	415	−353	972
331	1029	−882	−63	148	1979	−2070	253	−84	854
311	1022	−975	34	142	1899	−1986	245	−191	966
111	1007	−961	34	47	1990	−1990	81	−34	961
000	1000	−1000	0	0	2000	−2000	0	0	1000

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 5.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1312	−754	−203	637	2440	−2759	945	−203	531
871	1123	−714	−309	468	2476	−2854	799	−172	449
773	1262	−726	−195	536	2498	−2743	796	−117	554
771	1106	−703	−304	403	2517	−2836	689	−101	480
753	1231	−870	−37	506	2354	−2585	756	−300	755
751	1088	−814	−180	384	2402	−2706	663	−263	661
731	1072	−914	−66	368	2297	−2588	639	−410	827
711	1057	−1007	38	352	2200	−2479	618	−544	979
551	1061	−794	−175	268	2489	−2687	462	−112	695
531	1050	−896	−65	257	2391	−2581	448	−246	839
511	1040	−991	37	247	2300	−2483	434	−370	972
331	1030	−878	−64	151	2481	−2574	263	−89	850
311	1024	−975	37	146	2397	−2487	256	−200	966
111	1008	−960	36	48	2490	−2490	84	−36	960
000	1000	−1000	0	0	2500	−2500	0	0	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 10.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1314	−738	−202	658	4969	−5292	997	−215	511
871	1106	−693	−309	472	5009	−5388	834	−180	428
773	1264	−710	−195	554	5027	−5276	839	−127	536
771	1092	−684	−305	408	5049	−5370	720	−109	460
753	1247	−864	−33	537	4866	−5106	817	−325	744
751	1082	−799	−183	397	4921	−5233	706	−281	642
731	1074	−908	−67	388	4799	−5103	693	−444	816
711	1065	−1011	43	378	4682	−4980	680	−599	982
551	1058	−780	−179	277	5009	−5213	493	−123	679
531	1052	−889	−66	271	4897	−5096	485	−268	829
511	1046	−993	42	265	4790	−4984	477	−406	973

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 10.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
331	1030	−871	−64	159	4991	−5089	285	−99	842
311	1027	−975	42	156	4893	−4989	281	−220	965
111	1009	−958	41	51	4993	−4993	92	−41	958
000	1000	−1000	0	0	5000	−5000	0	0	1000

อัตราส่วนการแขวน : .0 ดัชนีห้อง : 20.00

ค่าการสะท้อน	ความเข้มแสงที่เพดาน : E_1			ความเข้มแสงที่ฝาผนัง : E_3			ความเข้มแสงที่พื้น : E_4		
	RM11	RM12	RM13	RM31	RM32	RM33	RM41	RM42	RM43
873	1315	−729	−202	670	10010	−10336	1024	−221	501
871	1097	−682	−309	475	10052	−10431	852	−184	416
773	1265	−701	−195	564	10069	−10320	862	−131	526
771	1084	−674	−305	410	10092	−10413	736	−112	449
753	1256	−861	−31	554	9890	−10136	851	−336	737
751	1079	−790	−185	404	9949	−10266	729	−289	632
731	1074	−904	−68	399	9811	−10123	722	−462	810
711	1070	−1014	46	393	9676	−9983	715	−630	983
551	1055	−773	−181	283	10039	−10245	509	−128	670
531	1052	−885	−66	279	9911	−10115	505	−279	824
511	1049	−994	45	275	9787	−9988	501	−427	974
331	1031	−867	−65	164	10008	−10108	297	−104	837
311	1029	−975	44	162	9895	−9993	295	−231	965
111	1009	−956	43	53	9998	−9998	96	−43	956
000	1000	−1000	0	0	10000	−10000	0	0	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ลักซ์มิเตอร์ [3]

ลักซ์เป็นหน่วยวัดความเข้าแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่ ๆ หนึ่ง ยิ่งแสงบนพื้นที่นั้นมีมากค่าลักซ์ก็จะยิ่งมากค่าลักซ์ก็จะยิ่งมาก ส่วนลูเมนเป็นหน่วยวัดบอกถึงค่าความสว่างของหลอดไฟ (ต้นกำเนิดแสง) ว่ามีมากน้อยประการใด ฉะนั้นเวลาพูดถึงลูเมนเราจะพบเขาบอกกันว่าหลอดไฟดวงนี้สว่าง 800 ลูเมน เป็นต้น

ในระยะทางจากดวงไฟถึงพื้นที่รับแสงเท่า ๆ กัน หากหลอดไฟมีลูเมนเท่ากันจะมีผลทำให้ได้ลักซ์บนพื้นที่นั้นเท่ากันด้วย

สำหรับเรา ๆ ซึ่งเป็นคนใช้สายตาทั่ว ๆ ไป เราจะเกี่ยวข้องก็แต่ว่า พื้นที่ที่เราใช้งาน สายตาอยู่นั้นสว่างพอเพียงหรือไม่ หรือจ้าเกินไป ความเข้าแสงซึ่งมากเกินไปจะทำให้ตาเกิดการระคายเคืองได้ง่าย (เกิด glare) เช่น เราดูหนังสือกลางแสงแดด หรือหากความเข้มแสงน้อยเกินไปตาก็ต้องเพ่งมาเกินกว่าความจำเป็น

ในงานแต่ละประเภท ความเข้าที่เหมาะก็จะแตกต่างกันไป มีวิธีเดียวที่เราจะสามารถรับรู้ขนาดความเข้มที่แน่นอนของแสงได้ โดยการนำลักซ์มิเตอร์ไปวัด ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ดังรูปที่2 แสดงหน้าตาและส่วนประกอบที่สำคัญของลักซ์มิเตอร์

ด้านหน้ามีปุ่มเลือกช่วงการวัด 3 ช่วง คือ 300, 1000 หรือ 3000 ลักซ์สูงสุด ให้บิดปุ่มนี้อยู่ที่ตำแหน่ง 3000 ก่อนเสมอ ไม่ว่าเวลาเริ่มใช้งานหรือเวลาจะเลิกใช้เพื่อป้องกันเข็มตีเกินสเกลหากความเข้มเกิน ส่วนที่สำคัญที่สุดของลักซ์มิเตอร์จะอยู่ที่ "ตัวรับแสง" ซึ่งมีลักษณะเป็นโดมขุ่น ๆ ประมาณครึ่งวงกลมในโดมนี้จะบรรจุซีลีเนียมโฟโตเซลล์เอาไว้ทำหน้าที่รับแสงแล้วแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าขยายให้แรงด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์นำมาป้อนให้เข็มกระดิกได้ ในโดมจะมีฟิลเตอร์กรองแสงเพื่อให้สามารถวัดแสงที่ได้มาจากหลอดไฟไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือแสงธรรมชาติได้มาตรฐานโดยไม่ต้องใช้ฟิลเตอร์ภายนอกมาแก้ ส่วนตัวโดมครึ่งวงกลมจะช่วยทำหน้าที่รับแสงที่มาจากทุกทิศทางต่อพื้นที่รับแสงนั้น ๆ การวัดจะถูกต้องดียิ่งขึ้น ตัวรับแสงจะมีสายยาวประมาณ 75 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถยืดไปมาในตำแหน่งรับแสงได้สะดวกโดยตัวมิเตอร์ไม่ต้องเคลื่อนตาม เนื่องจากซีลีเนียมโฟโตเซลล์นี้กลัวความชื้นมาก (แม้จะปกปิดไว้ในโดมสนิทแล้วก็ตาม) ก็ไม่ควรที่ผู้ใช้จะนำไปถูกน้ำ และควรเก็บในที่ที่แห้งและเย็น ๆ เพื่อไม่ให้เกิดไอน้ำเกาะภายใน ข้อระวังในการจับถือก็คืออย่าให้มิเตอร์หล่น โครงสร้างอาจแตกหักเสียหายได้ การนำเอาตัวรับแสงไปวางรับแสงไว้ ให้วางราบกับพื้นที่ดังรูปที่ 3 หากความเข้มแสงที่ต้องการวัดมีค่าต่ำมากๆ (เช่นต่ำกว่า 20 ลักซ์) ก็ควรเลือกใช้ลักซ์มิเตอร์ที่อ่านค่าเป็นตัวเลข LED แบบรูปที่ 4 ซึ่งจะสว่างที่ตัวเลขเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่หากใช้แบบเข็มจะมืดมากจนอ่านค่าจากหน้าปัดเข็มได้ยาก การเลือกช่วงวัดควรเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้พอเหมาะกับย่านความเข้มที่วัดโดยการใช้สเกล สูง ๆ ก่อน หากเข็มกระดิกน้อย ๆ ก็ค่อยบิดเลื่อนสเกลที่ต่ำลงมาเข้ามาวัดเป็นลำดับไป

ข้อระวังอีกอันก็คือ หากแสงที่เรานำลักซ์มิเตอร์ไปวัดความเข้มเป็นแสงสีที่ผิดไป (โดยปกติแสงสีของหลอดไฟจะบอกเป็นความยาวคลื่น เช่น 620 nm หรือนาโนเมตร) เราจำเป็นต้องแก้ค่าที่อ่านได้โดยใช้กราฟในรูปที่ 5 เช่นหลอดไฟที่เราใช้มแสงสีอยู่ที่ความยาวคลื่น 600 nm แทนที่จะเป็น 550 nm แบบหลอดทั่ว ๆ ไป ค่าที่อ่านได้จากลักซ์มิเตอร์ก็จะเป็นเพียง 60 % ของค่าที่ควรจะเป็น ฉะนั้นเราเอาค่าที่อ่านได้หารด้วย 0.6 ก็จะเป็นค่าลักซ์ที่แท้จริง อีกกรณีหนึ่งก็คือ เราไม่สามารถวางตัวรับแสงราบกับพื้นที่วัดได้เลย มุมที่ผิดไปจะทำให้ค่าที่วัดได้อ่านได้ลดลง หากมุมผิดไปถึง 90 องศา ค่าที่อ่านได้จะเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ศุลี บรรจงจิตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา รวมทั้งคอยตรวจสอบความถูกต้องตลอดการดำเนินงานของโครงงาน คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูและเอาใจใส่เป็นอย่างดีตลอดมา พร้อมทั้งเปิดโอกาสทางการศึกษาให้ผู้จัดทำได้อย่างเต็มที่ และยังคอยเป็นกำลังใจให้ผู้จัดทำเสมอมา คณะผู้จัดทำขอระลึกในพระคุณของท่าน ขอกราบขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

นายณัฐพงศ์ ศาสนนันทน์
นายทศเอก ตันสกุล
นายธณัฐพงศ์ จริยะโสภิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] IES Handbook Illuminance Engineering Society of North America (IESNA),หน้า 9-39 ถึง 9-41, 1986

[2] สุลี บรรจงจิตร, " วิศวกรรมการส่องสว่าง " บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

[3] อุดม ธีรกาญจน์ , " การใช้ลักซ์มิเตอร์ " , 70 เรื่องน่ารู้เทคนิคไฟฟ้า,หน้า 266-271
บริษัท เอ็มแอนอี จำกัด

[4] ศักดิ์สิทธิ์ สิทธิศักดิ์ , " หลอดฟลูออเรสเซนต์ ", 70 เรื่องน่ารู้เทคนิคไฟฟ้า,หน้า 276-290
บริษัท เอ็มแอนอี จำกัด

[5] ศักดิ์สิทธิ์ สิทธิศักดิ์ , " หลอดโซเดียมความดันสูง " , 51 เรื่องน่ารู้เทคนิคไฟฟ้า ,หน้า 307-311
บริษัท เอ็มแอนอี จำกัด

[6] www.ledalite.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐพงศ์ ศาสนนันทน์ ชื่อเล่น ดุ๊ก
62/1 ถ.พุทธมงคล ต.ปากน้ำโพ อ.เมืองฯ
จ.นครสวรรค์ 60000
โทรศัพท์ 056-313309, 02-9407785
เพจเจอร์ 152-314549

นายทศเอก ตันสกุล ชื่อเล่น ทศ
6/4 ซ.16เจริญ1 ถ.อมรเดช ต.ปากน้ำ อ.เมืองฯ
จ สมุทรปราการ 10270
โทรศัพท์ 02-3880810
เพจเจอร์ 152-236232

นายธณัฐพงศ์ จริยะโสภิต ชื่อเล่น พงศ์
813 ซ.อิสรภาพ 33 ถ.อิสรภาพ เขตบางกอกใหญ่
กรุงเทพฯ 10600
โทรศัพท์ 02-8911136
เพจเจอร์ 1188-8120622

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้