หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

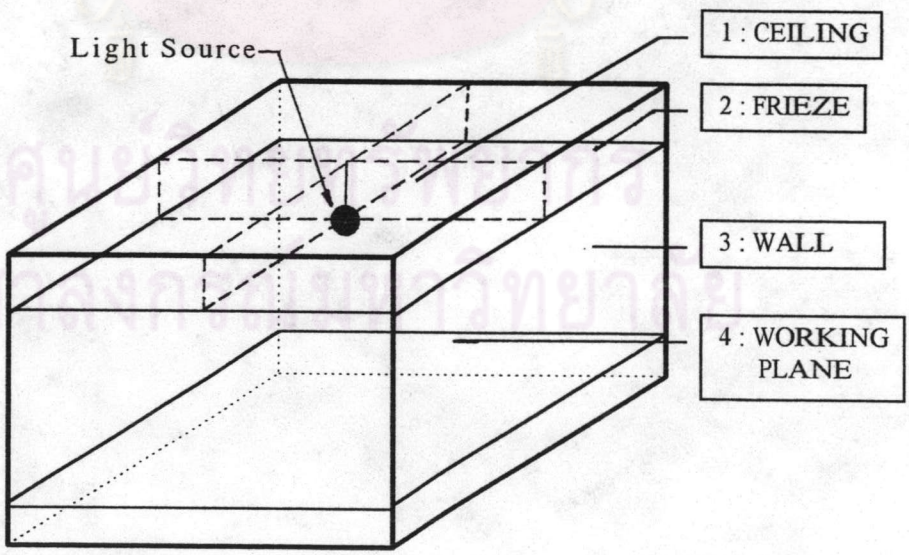
วิธีคำนวณแบบประยุกต์ของ CIE

วิธีคำนวณระบบแสงสว่างภายในอาคารแบบประยุกต์ของ CIE ได้อาศัยข้อมูลจากเอกสาร Publ. CIE No. 52 : Calculation for Interior Lighting : Applied Method, 1982 ซึ่งสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของความสว่างรวม,ความสว่างเนื่องจากฟลักซ์ส่องสว่างโดยตรง (Direct Flux) และความสว่างเนื่องจากฟลักซ์ส่องสว่างที่สะท้อนไปมา (Reflected Flux) บนเพดาน, ผนัง และพื้นที่ทำงาน

ข้อกำหนดทั่วไปตามวิธีประยุกต์ของ CIE

1. การใช้คำต่อท้าย (Suffixes)

การคำนวณตามวิธีประยุกต์ของ CIE จะมีส่วนที่ต่อท้ายคำ โดยมีความหมายแทนด้านต่าง ๆ ของห้องดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงด้านต่าง ๆ ของห้อง

1 สำหรับ เพดาน (Ceiling)

2 สำหรับ พื้นผิวบนฝาผนังที่อยู่ระหว่างเพดานกับระนาบของโคมไฟ (Frieze)

3 สำหรับ ฝาผนัง (Walls)

4 สำหรับ พื้นที่ทำงาน (Working Plane) และถ้าตัวแปรใดไม่มีส่วนที่ต่อท้ายคำจะหมายถึงเป็นของพื้นที่ทำงานยกตัวอย่าง เช่น R1 หมายถึงแฟคเตอร์การสะท้อนแสงของเพดาน, E2 หมายถึง ความสว่างบนพื้นผิวของฝาผนังระหว่างเพดานกับระนาบของโคมไฟ, L3 หมายถึง ความส่องสว่างของฝาผนัง, U4 หรือ U หมายถึงแฟคเตอร์การใช้แสง (Utilance) ของพื้นที่ทำงาน

2. แฟคเตอร์การสะท้อนแสงของพื้นผิวห้อง (Room Surface Reflectance)

ตามวิธีการคำนวณแบบประยุกต์ของ CIE ถือว่าทุกพื้นผิวหรือทุกด้านของห้องจะมีการสะท้อนแสงอย่างสม่ำเสมอ (Diffuse Reflection) ซึ่งสามารถแทนด้วยแฟคเตอร์การสะท้อนแสงคงที่ค่าหนึ่งได้ตลอดพื้นผิวนั้นโดยการแสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่าง ๆ

ในกรณีที่ใช้โคมไฟแบบแขวน (Suspension Type) จะมีระยะระหว่างเพดานกับระนาบของโคมจะแสดงด้วยตัวเลข 4 ตัวโดยจะเรียกว่า Four Digit Number ส่วนกรณีที่ไม่มีระยะระหว่างเพดานกับระนาบโคมไฟซึ่งใช้โคมไฟแบบฝังเพดานหรือติดเพดาน (Recess or Suraface Type) จะใช้ตัวเลข 3 ตัวคือ Three Digit Number เช่น

Reflectance Code 7531 หมายถึง โคมไฟที่ใช้เป็นแบบแขวนเพดานจะมีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่าง ๆ ภายในห้อง ดังนี้คือ

R1 คือค่าการสะท้อนแสงของเพดาน = 70 %

R2 คือค่าการสะท้อนแสงของ Frieze = 50 %

R3 คือค่าการสะท้อนแสงของฝาผนัง = 30 %

R4 คือค่าการสะท้อนแสงของพื้นที่ทำงาน = 10 %

Reflectance Code 751 หมายถึง โคมไฟที่ใช้เป็นแบบฝังเพดานหรือติดเพดานจะมีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่าง ๆ ภายในห้อง ดังนี้คือ

R1 คือค่าการสะท้อนแสงของเพดาน = 70 %

R3 คือค่าการสะท้อนแสงของฝาผนัง = 50 %

R4 คือค่าการสะท้อนแสงของพื้นที่ทำงาน = 10 %

3. รูปร่างของห้อง (Shape of The Interior)

ห้องที่ใช้ต้องเป็นห้องรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด A*B โดยที่ A คือ ด้านกว้างของห้อง และ B คือ ด้านยาวของห้อง

<u>พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความสว่าง</u>

พารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้จะมีผลต่อค่าเฉลี่ยของความสว่างบนเพดานห้อง, ฝาผนัง และพื้นที่ทำงาน ได้แก่

1. ฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้งต่อตารางเมตร (Install Luminous Flux per Square Metre)

ถ้าพารามิเตอร์อื่นๆ คงที่ความสว่างจะเป็นสัดส่วนกับฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้งต่อขนาดพื้นที่ของพื้นห้องนั่นคือ

$$E = \phi / (A * B)$$

เมื่อ E คือ ความสว่าง (lux)

ϕ คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้ง (lumen, lm) และ

$(A * B)$ คือ ขนาดพื้นที่ของพื้นห้อง (m2)

2. สัดส่วนของห้อง (Proportion of The Interior)

ค่าดัชนีห้อง (Room Index, K) จะเป็นสัดส่วนกับขนาดของห้องคือ

$$K = (A*B)/[H3*(A+B)]$$

ถ้าหากพารามิเตอร์ทั้งหมดคงที่ค่าความสว่างโดยตรง (Direct Illuminance) บนพื้นที่ทำงานรวมกับค่าความสว่างจากการสะท้อนไปมา (Interreflection Illuminance) จากทุกพื้นที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าค่าดัชนีของห้องมีค่าเพิ่มขึ้น

3. ลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟ (The Zonal Flux Distribution of The Luminaire)

ตามวิธีคำนวณของ CIE ได้พิจารณาลักษณะคุณสมบัติการกระจายแสงของโคมโดยดูจาก FLUX CODE : N1, N2, N3, N4 และ N5 ถ้าพารามิเตอร์อื่น ๆ คงที่ทั้งหมด เมื่อ N1 มีค่า

สูงขึ้นนั่นคือความสว่างบนพื้นที่ทำงานจะสูงตามไปด้วยแต่ความสว่างของฝาผนัง และเพดานจะมีค่าต่ำลง และเมื่ออัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟที่ส่องลงต่อฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ได้จากโคมไฟ (Downward Light Output Ratio : N4>N5) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ทุกพื้นผิวในห้องมีความสว่างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่ออัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ได้จากโคมไฟต่อฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดของหลอดไฟ (Light Output Ratio: N5) มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ค่าความสว่างทุกพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้น และ Flux Code ของโคมเหล่านี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้สำหรับคำนวณ ตามวิธีคำนวณแบบประยุกต์ของ CIE นี้

4. ลักษณะของการติดตั้ง (Geometry of The Installation)

ลักษณะทางเรขาคณิตของการติดตั้งโคมไฟ การจัดเรียงโคมไฟสามารถกำหนดได้โดย 5 ตัวแปร ดังนี้

1.) ระยะระหว่างโคมไฟแถวนอกสุดกับฝาผนังที่ใกล้ที่สุดตามแนวยาว หรือตามด้านยาวของห้อง (Proximity Lengthwise)

2.) ระยะระหว่างโคมไฟแถวนอกสุดกับฝาผนังที่ใกล้ที่สุดตามแนวขวาง หรือตามด้านกว้างของห้อง (Proximity Crosswise)

3.) ระยะห้อยของโคมไฟ (Suspension Height)

4.) จำนวนของโคมไฟตามแนวขวางหรือด้านกว้างของห้อง (Number of Luminaires Crosswise, N)

5.) จำนวนของโคมไฟตามแนวยาวหรือด้านยาวของห้อง (Number of Luminaires Lengthwise, M)

ถ้าพารามิเตอร์ทุกตัวคงที่ เมื่อระยะระหว่างโคมไฟแถวนอกสุดกับฝาผนังที่ใกล้ที่สุด (Proximity) น้อยลง นั่นคือโคมไฟแถวนอกอยู่ชิดผนังมากขึ้นจะทำให้ความสว่างบนพื้นที่ทำงานน้อยลงและความสว่างบนฝาผนังสูงขึ้น เมื่อทุกพารามิเตอร์คงที่รวมถึงฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้งและค่าดัชนีห้อง พบว่าจำนวนโคมไฟจะมีผลต่อความสว่างของพื้นผิวน้อยกว่าอิทธิพลของระยะแขวนโคมไฟและ Proximity การเปลี่ยนแปลงระยะแขวนโคมไฟจะมีผลต่อดัชนีห้องและอัตราส่วนระยะห้อย (Suspension Ratio) ด้วย

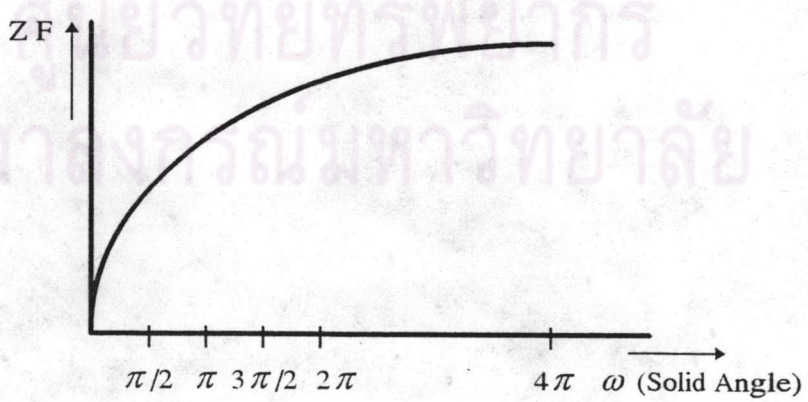
5. การสะท้อนแสงของพื้นผิว (Reflectance of The Surface)

ความสว่างของพื้นผิวของห้องสามารถจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือเกิดจากฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงโดยตรงจากโคม และจากฟลักซ์ส่องสว่างที่สะท้อนไปมาระหว่างพื้นผิว ถ้าทุกพารามิเตอร์คงที่ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ฟลักซ์ส่องสว่างในส่วนที่สะท้อนไปมา (Reflected Flux) จะมีค่าสูงขึ้นนั่นคือระดับความสว่างสูงขึ้น ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือค่าการสะท้อนแสงของพื้นที่ทำงานหรือ R4 เป็นค่าการสะท้อนแสงของระนาบในแนวระดับที่ความสูงเท่ากับพื้นที่ทำงาน ดังนั้นในการกำหนดค่า R4 จะต้องกำหนดเป็นการสะท้อนแสงของพื้นห้องเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ คนที่อยู่ในห้องและสิ่งอื่น ๆ โดยทั่วไปจะใช้ R4=0.1 ซึ่งเป็นค่าที่สมจริงและใช้ได้สำหรับห้องที่มีความสะอาดปรกติ ในกรณีที่ห้องมีความสะอาดเป็นพิเศษอาจจะใช้ค่า R4 = 0.3 ได้

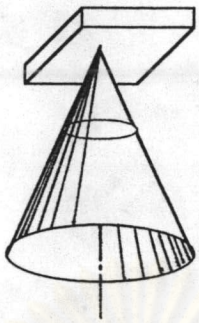
<u>หลักการของวิธีคำนวณแบบประยุกต์ของ CIE</u>

1. ข้อมูลทางแสงของโคมไฟ (Photometric Data of a Luminaire)

ลักษณะของการกระจายของฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟสามารถแสดงได้ในรูปของ Zonal Luminous Flux Diagram ดังในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นการแสดงฟลักซ์ส่องสว่างที่ถูกเปล่งออกมาจากโคมไฟในลักษณะกรวยกลมที่มีแกนในแนวดิ่งในฟังก์ชันของมุมเชิงของแข็ง (Solid Angle) ดังในรูปที่ 2.3

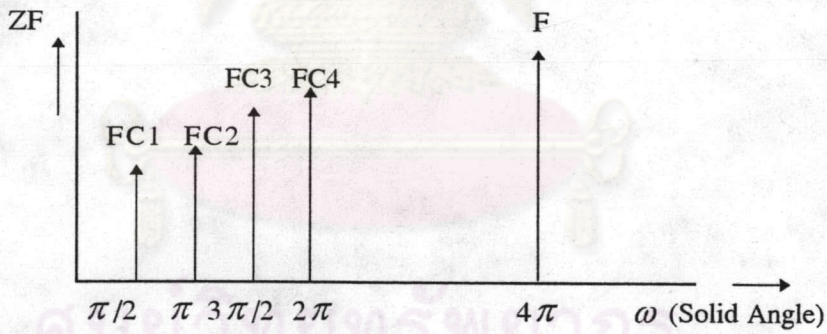


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ Zonal Flux Diagram



รูปที่ 2.3 ลักษณะกรวยกลมที่มีแกนในแนวดิ่งซึ่งมีมุมเชิงของแข็งเป็น ω

เมื่อนำค่า Luminous Zonal Flux, ZF ที่แพร่ออกมาจากโคม จากรูปที่ 2.2 มาพลอตเป็นกราฟที่มุมเชิงของแข็ง ω ต่าง ๆ โดยเริ่มที่ ω=0, ZF=0 การกำหนดลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟในช่วงครึ่งทรงกลมล่างจะได้ค่าของ Luminous Flux 4 ค่าคือ FC1, FC2, FC3 และ FC4 ที่มุมเชิงของแข็ง $\pi/2$, π , $3\pi/2$ และ 2π ตามลำดับดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะคุณสมบัติของค่า Zonal Flux

ส่วนสาเหตุที่ไม่พิจารณาฟลักซ์ส่องสว่างที่แพร่ออกมาจากโคมไฟในช่วงครึ่งทรงกลมบน เพราะฟลักซ์ส่องสว่างในส่วนนี้ไม่ได้ส่องลงไปบนพื้นที่ทำงานโดยตรง

นอกจากค่า ZF จำนวน 4 ค่าที่พิจารณาแล้ว จะต้องพิจารณาฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดที่ออกมาจากโคมไฟ ซึ่งเป็นค่า ZF ที่มุมเชิงของแข็ง $\omega = 4\pi$ ขณะนี้จะได้ค่าทั้งหมดมา 5 จุด คือ FC1 = ZF($\pi/2$); FC2 = ZF(π); FC3 = ZF($3\pi/2$) ; FC4 = ZF(2π) และ F = ZF(4π) ซึ่งค่าทั้ง 5 นี้จะเป็นที่มาของค่า Flux Code ดังนี้คือ

$$.N1 = \frac{FC1}{FC4}, \qquad .N2 = \frac{FC2}{FC4}$$

$$.N3 = \frac{FC3}{FC4}, \qquad .N4 = \frac{FC4}{F}$$

และ $$.N5 = \frac{F}{PHIS} \qquad (2.1)$$

เมื่อ PHIS คือ ผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างซึ่งได้จากหลอดไฟที่ติดตั้งอยู่ในโคมไฟในแต่ละโคม

F คือ ฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดที่ได้จากโคมไฟ (Total Luminous Flux Output of the Luminaire)

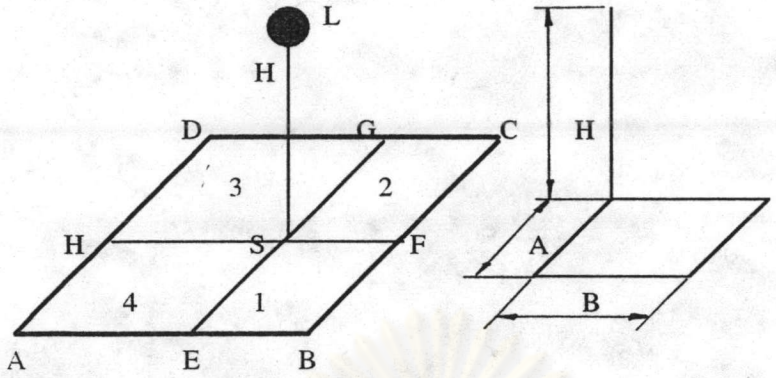
FC1, FC2, FC3, FC4 & F คือ Zonal Flux ที่มุมเชิงของแข็ง $\pi/2$, π, $3\pi/2$, 2π และ 4π ตามลำดับ

.N1, .N2, .N3, .N4 และ .N5 คือค่า Flux Code ของโคมไฟตามวิธี ของCIE

เราสามารถแปลงค่า Flux Code ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์คือ N1, N2, N3, N4 และ N5 ซึ่ง Flux Code เหล่านี้เป็นการแสดงคุณสมบัติทั้งหมดของโคมไฟ เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความสว่างที่พื้นผิวต่าง ๆ ของห้องได้

2. ฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟที่ตกกระทบพื้นที่ทำงานโดยตรง (The Direct Flux From a Luminaire to the Working Plane)

ในการหาฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกลงบนพื้นที่ทำงานโดยตรง สามารถที่จะทำได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.5 เมื่อโคมไฟอยู่สูงขึ้นมาจากพื้นที่ทำงาน ABCD เป็นระยะ LS ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงาน ABCD สามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนคือฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกบนพื้นที่สี่เหลี่ยม AESH, EBFS, SFCG และ HSGD ตามลำดับ ซึ่งฟลักซ์ส่องสว่างในแต่ละส่วนสามารถหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของโคมไฟ L อยู่เหนือพื้นที่ทำงาน ABCD เป็น ระยะ LS

$$P_1 = GM1_1 *.N1 + GM2_1 *.N2 + GM3_1 *.N3 + GM4_1$$
$$P_2 = GM1_2 *.N1 + GM2_2 *.N2 + GM3_2 *.N3 + GM4_2$$
$$P_3 = GM1_3 *.N1 + GM2_3 *.N2 + GM3_3 *.N3 + GM4_3$$
$$P_4 = GM1_4 *.N1 + GM2_4 *.N2 + GM3_4 *.N3 + GM4_4 \qquad (2.2)$$

เมื่อ P1, P2, P3 และ P4 คือ ส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ AESH, EBFS, SFCG และ HSGD ตามลำดับ

GM คือ Geometric Multiplier โดยดูจากตาราง I : Geometric Multipliers for a Single Luminaire Vertical above a Corner of a Rectangle with Sides A/H and B/H จากเอกสาร Plub. CIE No. 52 โดยจะใช้ A/H และ B/H ในตาราง I เป็น ES/LS และ HS/LS จากรูปที่ 2.5 ตามลำดับ

.N1, .N2, .N3 คือ Flux Code ของโคมไฟ

และผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงไปบนพื้นที่ทำงานคือ P จะมีค่าเป็น

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$
$$= \left(\sum GM1\right)*.N1 + \left(\sum GM2\right)*.N2 + \left(\sum GM3\right)*.N3 + \left(\sum GM4\right) \qquad (2.3)$$

ดังนั้นค่าสัมบูรณ์ (Absolute Value) F4 ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกลงบนพื้นที่ทำงานจะได้

$$F4 = P * .N4 * .N5 * PHIS \qquad (2.4)$$

3. ฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงจากโคมไฟที่ติดตั้งทั้งหมดลงสู่พื้นที่ทำงาน (The Direct Flux from an Installation to the Working Plane)

ฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงจากโคมไฟที่ติดตั้งทั้งหมดในห้องลงสู่พื้นที่ทำงานจะเป็นผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงจากโคมไฟแต่ละดวงในห้องนั้นทั้งหมด ซึ่งตามวิธีของ CIE จะให้โคมไฟในห้องเป็นโคมไฟชนิดเดียวกันทั้งหมดเมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้สามารถ รวม Geometric Multiplier ของโคมไฟทั้งหมดได้ก่อนที่จะนำไปคูณกับ Flux Code N1, N2 และ N3 เนื่องจากเป็นโคมไฟชนิดเดียวกันค่า Flux Code จะเหมือนกันทุกโคมซึ่งผลรวมของ Geometric Multiplier จะเรียกเป็น Composite Geometric Multiplier ของการจัดเรียง (Arrangement)

อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงจากโคมไฟทุกโคมลงสู่พื้นที่ทำงานต่อฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องออกจากโคมไฟทุกโคม เรียกว่า อัตราส่วนโดยตรง (Direct Ratio, DR) สามารถหาได้ดังนี้

$$DR = \frac{.N1*\sum GM1 + .N2*\sum GM2 + .N3*\sum GM3 + \sum GM4}{NM} \qquad (2.5)$$

เมื่อ DR คือ อัตราส่วนโดยตรง (Direct Ratio)

NM คือ จำนวนโคมทั้งหมดที่ติดตั้ง

M คือ จำนวนโคมตามด้านยาวของห้อง

N คือ จำนวนโคมตามด้านกว้างของห้อง

จากสมการ (2.5) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$DR = \frac{\sum GM1}{NM}*.N1 + \frac{\sum GM2}{NM}*.N2 + \frac{\sum GM3}{NM}*.N3 + \frac{\sum GM4}{NM} \qquad (2.6)$$

จากสมการ (2.6) เขียนเทอม $\sum GM1/NM$, $\sum GM2/NM$, $\sum GM3/NM$ และ $\sum GM4/NM$ ได้เป็น Geometric Multiplier ของการติดตั้ง (Installation) ซึ่งจะเขียนแทนด้วย GM1, GM2, GM3 และ GM4 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (2.6) ได้เป็น

$$DR = GM1^*.N1 + GM2^*.N2 + GM3^*.N3 + GM4 \qquad (2.7)$$

ค่า Geometric Multiplier ของการจัดเรียง สำหรับดัชนีห้องค่าต่าง ๆ ของห้องที่มีขนาด A * B สัมพันธ์กันตาม Golden Rule ซึ่งเรียกว่าการจัดเรียงอ้างอิง คือ ด้าน A และ B ของห้องมีความสัมพันธ์ตามสมการ $B=A*\varphi$ เมื่อ φ เป็นรากบวกของสมการ $\varphi - 1/\varphi = 1$ จะได้ $\varphi = 1.6$ โดยประมาณ ซึ่งค่า Geometric Multiplier นี้จะแสดงในตารางที่ IV : Geometric Multiplier for Reference Arrangement for Standard Roomindices ในเอกสาร Plub.CIE No. 52

สำหรับกรณีของห้องที่ใช้ไม่สามารถจะทำเป็นไปตามจัดเรียงอ้างอิงได้ อาจจะเนื่องมาจากจำนวนโคมไฟตามแนวยาวหรือแนวกว้างไม่เท่ากับในตารางที่ IV : Reference Arrangement for Standard Roomindices, Number of Luminaire ก็จะสามารถหาอัตราส่วนโดยตรงได้โดยใช้ตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor, CORR) ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ V : Direct Ratio Correction Factors for Non Reference Arrangement ร่วมกับอัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงอ้างอิง (Direct Ratio of Reference Arrangement, DRR) ซึ่งเราจะได้อัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงในห้องเป็น

$$DR = CORR * DRR \qquad (2.8)$$

เราสามารถหาค่าสัมบูรณ์ของฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงไปที่พื้นที่ทำงาน (Working Plane) F4 โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$F4 = DR^*.N4 * FD * A4 \qquad (2.9)$$

ฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงจากโคมไฟสู่ฝาผนัง (Wall) F3 ได้โดย

$$F3 = (1 - DR)^*.N4 * FD * A4 \qquad (2.10)$$

และฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงที่เพดานและระยะฝาผนังระหว่างระนาบของโคมไฟถึงเพดาน (Ceiling & Fieze) F12 เป็น

$$F12 = (1-.N4) * FD * A4 \qquad (2.11)$$

เมื่อ F12 คือ Direct Flux ที่เพดานและ Fieze

F3 คือ Direct Flux ที่ฝาผนัง

F4 คือ Direct Flux ที่พื้นที่ทำงาน

DR คือ อัตราส่วนโดยตรง

.N4 คือ ค่า Flux Code ของโคมไฟ

FD คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ของพื้นที่ทำงาน (Installation Flux Density)

A4 คือ พื้นที่ของพื้นที่ทำงาน

4. ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงกับความสว่าง (The Relation between Direct Flux and Illuminance)

ความสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายในห้องจะเป็นผลเนื่องจากฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงจากโคมไฟ (Direct Flux) และฟลักซ์ส่องสว่างที่สะท้อนไปมา (Reflected Flux) โดยที่ฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงกับความสว่างบนพื้นผิวภายในห้องจะมีความสัมพันธ์ตามสมการเป็น

$$\begin{aligned} E1 = E2 &= RM11*FD + RM12*DFD + RM13*FD4 \\ E3 &= RM31*FD + RM32*DFD + RM33*FD4 \\ E4 &= RM41*FD + RM42*DFD + RM43*FD4 \end{aligned} \qquad (2.12)$$

และสามารถอินเวอร์สสมการ (2.12) ได้เป็น

$$\begin{aligned} FD &= MR11*E1 + MR13*E3 + MR14*E4 \\ DFD &= MR21*E1 + MR23*E3 + MR24*E4 \\ FD4 &= MR31*E1 + MR33*E3 + MR34*E4 \end{aligned} \qquad (2.13)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ E1 คือ ความสว่างบนเพดาน

E2 คือ ความสว่างบน Frieze ซึ่ง E2 มีค่าเท่ากับ E1

E3 คือ ความสว่างที่ฝาผนัง

E4 คือ ความสว่างบนพื้นที่ทำงาน

FD คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ของพื้นที่ทำงาน (Installation Flux Density)

DFD คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องจากโคมไฟในช่วงครึ่งทรงกลมล่างต่อพื้นที่ของพื้นที่ทำงาน (Downward Flux Density)

FD4 คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องโดยตรงจากโคมไฟลงสู่พื้นที่ทำงานต่อพื้นที่ของพื้นที่ทำงาน (Flux Density at the Working Plane)

RM คือ ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ได้จากตาราง II:Coefficients for The Computation of Reduced Utilances ในเอกสาร Plub.CIE No. 52 โดยพิจารณาจากดัชนีห้อง, K และ Reflectance Combination สำหรับเพดาน , Frieze, ฝาผนังและพื้นที่ทำงาน

MR คือ ค่าสัมประสัทธิ์คงที่ซึ่งได้จากการอินเวอร์สเมตริก RM จะได้

$$\begin{bmatrix} MR11 & MR13 & MR14 \\ MR21 & MR23 & MR24 \\ MR31 & MR33 & MR34 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RM11 & RM12 & RM13 \\ RM31 & RM32 & RM33 \\ RM41 & RM42 & RM43 \end{bmatrix}^{-1} \qquad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.12) สามารถใช้คำนวณหาค่าความสว่างที่ปรากฏบนแต่ละพื้นผิวภายในห้องเมื่อเจาะจงค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้ง และในสมการที่ (2.13) สามารถหาค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่จะต้องติดตั้งเมื่อเจาะจงค่าความสว่างที่ต้องการบนแต่ละพื้นผิวภายในห้อง อัตราส่วนโดยตรง DR มีค่าเป็น DR = FD4/DFD และ DFD จะมีค่าเป็น DFD = .N4*FD ดังนั้นจากสมการ (2.12) สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} E1 &= [RM11 + (RM12 + RM13 * DR) * .N4] * FD \\ E3 &= [RM31 + (RM32 + RM33 * DR) * .N4] * FD \\ E4 &= [RM41 + (RM42 + RM43 * DR) * .N4] * FD \end{aligned} \qquad (2.15)$$

5. แฟคเตอร์การใช้แสง (Utilization Factor)

โดยทั่วไปวิธีการคำนวณแสงสว่างภายในห้องจะเป็นการคำนวณหาความสว่างบนพื้นที่ทำงาน โดยจะหาแฟคเตอร์ตัวหนึ่งมาคูณกับค่าคุณสมบัติทางแสงซึ่งค่าคุณสมบัติทางแสง อาจเป็นค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากหลอดไฟที่ติดตั้งต่อพื้นที่ทำงาน หรือค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟที่ติดตั้งต่อพื้นที่ทำงานซึ่งแฟคเตอร์ที่นำมาคูณนี้จะเรียกว่าแฟคเตอร์การใช้แสง (Utilization Factor, UF) แฟคเตอร์การใช้แสงจะแสดงในลักษณะของตาราง โดยเจาะจงที่ประเภทของโคมไฟและประเภทของการจัดเรียง (Arrangment) โคมไฟหนึ่ง ๆ โดยแฟคเตอร์การใช้แสงจะเป็นตารางสำหรับกลุ่มของโคมไฟที่มีการกระจายของฟลักซ์ส่องสว่างที่เหมือนกันของการจัดเรียงแบบใดๆ ดังนั้นการทำแฟคเตอร์การใช้แสงตามวิธีประยุกต์ของ CIE จะเป็นตัวกำหนดว่าการใช้โคมไฟภายในห้องควรจะเป็นโคมไฟชนิดเดียวกัน

ดังนั้นการทำแฟคเตอร์การใช้แสงจะใช้วิธีจำแนกตามประเภท ซึ่งอาจเป็นการจำแนกตามประเภทของการติดตั้ง (Classification of Installation) หรือการจำแนกตามประเภทของโคมไฟ (Classification of Luminaire) ก็ได้ เมื่อได้พิจารณาสมการที่ (2.15) สามารถแยกแฟคเตอร์การใช้แสงได้โดย

$$U = U4 = RM41 + (RM42 + RM43 * DR)*.N4 \qquad (2.16)$$

เมื่อ U คือ Utilance ของโคมไฟบนพื้นที่ทำงาน

สำหรับการคำนวณความสว่างบนเพดาน E1 และความสว่างบนฝาผนัง E3 สามารถใช้แฟคเตอร์การใช้แสงในลักษณะเดียวกับของพื้นที่ทำงานได้เป็น

$$U1 = RM11 + (RM12 + RM13 * DR)*.N4$$
$$U3 = RM31 + (RM32 + RM33 * DR)*.N4 \qquad (2.17)$$

เมื่อ U1 คือ Utilance ของโคมไฟบนเพดาน

U3 คือ Utilance ของโคมไฟบนฝาผนัง

เราสามารถกำหนดเทอมของแฟคเตอร์การใช้แสงใหม่ได้เป็น Reduce Utilance, RU โดยเป็น

RU1 = Reduce Utilance ของเพดาน

RU3 = Reduce Utilance ของฝาผนัง

RU4 = Reduce Utilance ของพื้นที่ทำงาน

ดังนั้นสามารถหาค่าความสว่างของพื้นผิวต่าง ๆ ในห้องได้เป็น

$$E1 = RU1 * FD$$

$$E3 = RU3 * FD$$

$$E4 = RU4 * FD \qquad (2.18)$$

โดยที่

$$RU1 = RM11 + (RM12 + RM13 * DR) *. N4$$

$$RU3 = RM31 + (RM32 + RM33 * DR) *. N4$$

$$RU4 = RM41 + (RM42 + RM43 * DR) *. N4 \qquad (2.19)$$

สำหรับโคมไฟที่มีเฉพาะแสงส่องลงเท่านั้นจะได้ .N4 = 1 ซึ่งกรณีนี้ค่าของ Reduce Utilance สามารถแทนได้ด้วย Reduced Downward Utilance : RDU1, RDU3 และ RDU4 จากสมการที่ (2.19) เขียนใหม่ได้โดย

$$RDU1 = RM11 + RM12 + RM13 * DR$$

$$RDU3 = RM31 + RM32 + RM33 * DR$$

$$RDU4 = RM41 + RM42 + RM43 * DR \qquad (2.20)$$

สำหรับโคมไฟที่มีทั้งแสงส่องขึ้นและแสงส่องลงอาจคิดเหมือนกับว่ามีโคมไฟอยู่ 2 ชุด ชุดแรกเป็นโคมไฟที่มีแสงส่องลงส่วนอีกชุดหนึ่งเป็นชุดโคมไฟที่มีเฉพาะแสงส่องขึ้น โดยชุดที่มีแสงส่องลงจะมีฟลักซ์จากโคมที่ติดตั้งเป็น .N4*FD และสำหรับชุดที่มีแสงส่องขึ้นจะมีฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมที่ติดตั้งเป็น (1-.N4)*FD

ดังนั้น Reduce Utilance ของชุดที่มีเฉพาะแสงส่องลงจะเป็น

$$RU1 = RDU1 *. N4$$

$$RU3 = RDU3 *. N4$$

$$RU4 = RDU4 *. N4 \qquad (2.21)$$

และ Reduce Utilance ของชุดที่มีเฉพาะแสงส่องขึ้นจะเป็น

$$RU1 = RUU1^{*}.N4$$
$$RU3 = RUU3^{*}.N4$$
$$RU4 = RUU4^{*}.N4 \qquad (2.22)$$

เมื่อ RUU = Reduce Upward Utilance

ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าของ Reduce Utilance ในสมการที่ (2.19) จะต้องเท่ากับสมการที่ (2.21) รวมกับสมการที่ (2.22) และสมการที่ (2.21) จะเขียนแทนได้ด้วยสมการที่ (2.19) ดังนั้นจะได้ค่า Reduce Upward Utilance เป็น

$$RUU1 = RM11$$
$$RUU3 = RM31$$
$$RUU4 = RM41 \qquad (2.23)$$

จากสมการที่ (2.23) จะเห็นได้ว่า Reduce Upward Utilance จะไม่ขึ้นกับชนิดของโคมไฟที่ใช้แต่จะขึ้นกับลักษณะของการติดตั้งโคมไฟ

6. การจำแนกตามประเภทของการติดตั้ง (Classification of Installation)

จากสมการที่ (2.20) จะเห็นได้ว่า Reduced Utilance ของการจัดเรียงสัมพันธ์กับอัตราส่วนโดยตรงในลักษณะสมการเชิงเส้น ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยตรงนี้เป็นตัวพิจารณาว่าการจัดเรียงนั้นอยู่ในประเภท (Class) ใด โดยการจัดเรียงที่มีอัตราส่วนโดยตรงอยู่ในช่วงเดียวกันจะถูกจัดให้อยู่ในประเภท (Class) เดียวกัน

พารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราส่วนโดยตรงคือ ดัชนีห้อง, การกระจายแสงของโคมไฟในช่วงครึ่งทรงกลมล่าง และการจัดเรียงโคมไฟ แต่ในทางปฏิบัติแล้วการจำแนกประเภทของการจัดเรียงจะกระทำเฉพาะช่วงของอัตราส่วนโดยตรงที่ใช้งานจริง ๆ เท่านั้น กล่าวคือ ที่ดัชนีห้องค่าหนึ่งจะมีอัตราส่วนโดยตรงที่นำมาใช้ในการจำแนกการจัดเรียงเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น และในช่วงดังกล่าวนี้จะแบ่งออกเป็น 10 ส่วนซึ่งแต่ละส่วนคือหนึ่งประเภทของการจัดเรียง ดังนั้นที่ดัชนีห้อง

แต่ละค่าจะแบ่งการจัดเรียงออกเป็น 10 ประเภท จากประเภทที่ 1 ถึง 10 ดังแสดงไว้ในตารางที่ VI : CIE Installation Classification ในเอกสาร Plub. CIE No. 52

6.1 ขั้นตอนในการจำแนกประเภทของการจัดเรียง ในการจำแนกประเภทของการจัดเรียงซึ่งทราบข้อมูลของโคมไฟแล้ว สามารถกระทำได้โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.) คำนวณดัชนีห้อง K โดยใช้ความสัมพันธ์ K = (A*B)/(H3*(A+B)) โดยที่ A และ B เป็นด้านกว้างและด้านยาวของห้องตามลำดับ และ H3 เป็นระยะจากโคมไฟถึงพื้นที่ทำงาน

2.) นำดัชนีห้องที่หาได้ไปหา Geometric Multiplier GM1, GM2, GM3 และ GM4 โดยดูจากตารางที่ IV : Geometric Multiplier for Reference Arrangement for Standard Roomindices

3.) อ่านค่า Flux Code ของโคมไฟ N1, N2 และ N3 โดยดูจากข้อมูลของโคมไฟ

4.) คำนวณอัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงอ้างอิง (Direct Ratio of Reference Arrangement, DRR) โดยใช้สมการ

$$DRR = GM1^{*}.N1 + GM2^{*}.N2 + GM3^{*}.N3 + GM4 \qquad (2.24)$$

5.) หาตัวประกอบแก้ไข (CORR) ของการจัดเรียงที่กำหนดให้มาจากตารางที่ V: Direct Ratio Correction Factors for Non Reference Arrangement ในเอกสาร Plub. CIE No. 52

6.) คำนวณอัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงที่กำหนดไว้ (DR) โดยใช้สมการ

$$DR = DRR * CORR$$

7.) จากค่าของดัชนีห้องและอัตราส่วนโดยตรง นำไปหาว่าการจัดเรียงที่กำหนดให้อยู่ในประเภทใดโดยใช้ตารางที่ VI : CIE Installation Classification

6.2 ขั้นตอนการจำแนกประเภทของการจัดเรียงที่เป็นการจัดเรียงอ้างอิงในกรณีที่ต้องการจะจำแนกการจัดเรียงอ้างอิงซึ่งทราบข้อมูลของโคมไฟสามารถทำได้ดังนี้

1.) อ่านค่า Flux Code ของโคมไฟ N1, N2 และ N3 จากข้อมูลของโคมไฟ

2.) ที่ดัชนีห้องค่าหนึ่ง ค่า Geometric Multiplier GM1, GM2, GM3 และ GM4 อ่านได้จากตารางที่ IV : Geometric Multiplier for Reference Arrangement for Standard Roomindices

3.) คำนวณอัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงอ้างอิงนี้ (DRR) โดยใช้สมการ

$$DRR = GM1^{*}.N1 + GM2^{*}.N2 + GM3^{*}.N3 + GM4$$

4.) จากดัชนีห้องและ DRR นำไปใช้ตารางที่ IV : Geometric Multiplier for Reference Arrangement for Standard Roomindices เพื่อหาประเภทของการจัดเรียงอ้างอิง

การหาประเภทของการจัดเรียงนี้ จะเริ่มหาจากค่าดัชนีห้องจาก 0.6, 0.8, 1.0, 1.25, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 4.00, 5.00, 10.00 และ 20.00 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ประเภทของการจัดเรียงที่ดัชนีห้องค่าต่าง ๆ มาทั้งหมด 12 ค่า ซึ่งประเภทของการจัดเรียงชุดนี้เรียกว่าชุดของประเภทการจัดเรียงอ้างอิงของโคมไฟ (Luminaire Reference Class Set)

7. การจำแนกประเภทของโคมไฟ (Luminaire Classification)

จากหัวข้อย่อย 6. ถ้าประเภทของการจัดเรียงในชุดของประเภทการจัดเรียงอ้างอิงของโคมไฟที่หาได้เป็นค่าเดียวกันตลอดไม่ว่าดัชนีห้องจะเป็นเท่าใด ในกรณีเช่นนี้เราอาจแทนชุดของประเภทการจัดเรียงอ้างอิงของโคมไฟด้วยประเภทของโคมไฟ (Luminaire Class) ได้

เราสามารถตรวจสอบได้ว่าโคมไฟใดสามารถจะนำมาจัด หรือจำแนกออกเป็นประเภทได้หรือไม่ โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ VII: Cumulated Zonal Fluxes for CIE Luminaire Classes ในเอกสาร Plub.CIE No. 52 ซึ่งจะให้ข้อมูลของการกระจายสัมพัทธ์ของฟลักซ์ส่องสว่างในช่วงครึ่งทรงกลมล่างของโคมไฟ (Relative Downward Zonal Flux Distribution of the Luminaire) เมื่อนำไปจัดเรียงแบบการจัดเรียงอ้างอิง โดยจะได้อัตราส่วนโดยตรงสอดคล้องกับข้อมูลที่แสดงในตารางที่ VI : CIE Installation Classification ตลอดช่วงของดัชนีห้องนั่นหมายความว่าโคมไฟที่มีการกระจายแสงเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ VII: Cumulated Zonal Fluxes for CIE Luminaire Class (โดยพิจารณาจาก Flux Triplets คือ FC1, FC2 และ FC3) จะมีประเภทของโคมไฟอ้างอิง (Luminaire Reference Class) คงที่ตลอดช่วงค่าดัชนีห้องซึ่งสามารถแทนได้ด้วยประเภทของโคมไฟ (Luminaire Class) ได้ ดังนั้นจึงสามารถตรวจสอบได้ว่าโคมไฟใดสามารถจำแนกประเภท (Classified) ได้หรือไม่ แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไปที่ว่าถ้า Flux Triplets ของโคมไฟเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ VII: Cumulated Zonal Fluxes for CIE Luminaire Classes แล้วประเภทของโคมไฟอ้างอิงจะคงที่ตลอดช่วงค่าดัชนีห้องเพราะอาจจะเป็นไปได้ว่าประเภทโคมไฟอ้างอิงอาจเบี่ยงเบนไปได้โดยเฉพาะกรณีที่ดัชนีห้องมีค่าต่ำหรือสูงมาก ๆ และค่า Flux Triplets มีค่าอยู่ใกล้ ๆ กับลิมิตที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ VII: Cumulated Zonal Fluxes for CIE Luminaire Class

ขั้นตอนการจำแนกประเภทโคมไฟ

1.) อ่าน Flux Code N1, N2, และ N3 ของโคมไฟ จากข้อมูลของผู้ผลิต

2.) นำ N1, N2 และ N3 ไปตรวจสอบว่าสอดคล้องกับ Flux Triplets ที่กำหนดไว้ในตารางที่ VII: Cumulated Zonal Fluxes for CIE Luminaire Classes หรือไม่

- ถ้าไม่สอดคล้องกัน ข้ามไปข้อที่ 5.)
- ถ้าสอดคล้องกัน ให้กระทำตามข้อที่ 3.) ต่อไป

3.) ตรวจสอบว่า N1, N2 และ N3 ในข้อ 1.) นั้นอยู่ใกล้กับลิมิตที่กล่าวในข้อ 2.) หรือไม่

- ถ้าอยู่ใกล้ ข้ามไปข้อที่ 6.)
- ถ้าไม่อยู่ใกล้ ให้กระทำต่อข้อที่ 4.)

4.) คำนวณประเภทของโคมไฟอ้างอิง (Luminaire Reference Class) ที่ดัชนีห้องเท่ากับ 0.6, 1.5 และ 5.0 และดูว่าประเภทของโคมไฟอ้างอิงที่ดัชนีห้อง 0.6, 1.5 และ 5.0 มี ค่าเท่ากับที่กำหนดไว้ในตาราง VII: Cumulated Zonal Fluxes for CIE Luminaire Classes หรือไม่

- ถ้าไม่เท่ากัน ให้ทำต่อข้อที่ 5.)
- ถ้าเท่ากัน ให้ข้ามไปทำข้อที่ 6.)

5.) แสดงว่าโคมไฟนี้ไม่อาจจำแนกประเภทตามการจำแนกประเภทโคมไฟของ CIE ได้จะต้องหาในลักษณะชุดของประเภทการจัดเรียงอ้างอิง ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.2

6.) แสดงว่าโคมไฟนี้สามารถจำแนกประเภทตามการจำแนกประเภทโคมไฟของ CIE ได้ และหมายเลขประเภท (Class Number) ก็เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ VII: Cumulated Zonal Fluxes for CIE Luminaire Classes

8. ข้อมูลอื่น ๆ ของโคมไฟ (Optional Photometric Luminaire Data)

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าข้อมูลของโคมไฟที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณหาความสว่างของห้องนั้นได้แก่ Flux Code 5 ตัว คือ N1, N2, N3, N4 และ N5 ซึ่งจาก Flux Code เหล่านี้เราสามารถคำนวณอัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงใด ๆ ได้โดยใช้ Geometric Multipliers สำหรับการจัดเรียงอ้างอิงร่วมกับตัวประกอบแก้ไข (CORR)

ผู้ผลิตโคมไฟ อาจคำนวณอัตราส่วนโดยตรง ของการจัดเรียงแบบการจัดเรียงอ้างอิง (DRR) ซึ่งเป็นข้อมูลของโคมไฟตัวหนึ่ง โดยข้อมูลของโคมไฟตัวหนึ่งซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบทำงานได้รวดเร็วขึ้นซึ่งจะให้ DRR (ที่ดัชนีห้องค่าต่าง ๆ) มาในหน่วยเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผู้

ผลิตอาจจะให้ตารางของ Reduced Utilization Factors ของการจัดเรียงหนึ่ง ๆ มาให้ด้วยก็เป็นได้ ซึ่งล้วนช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยประหยัดเวลาในการคำนวณ

2.4 วิธีการออกแบบ (The Desing Method)

ในการออกแบบระบบแสงสว่างไม่ว่าจะใช้วิธีใด ตัวแปรตัวหนึ่งที่ใช้ตัดสินว่าระบบแสงสว่างนั้นให้แสงเพียงพอหรือไม่ คือค่าความส่องสว่าง (Luminance) หรือค่าความสว่าง (Illuminance) วิธีคำนวณเพื่อใช้หาค่าความสว่างของพื้นผิวในห้องสำหรับวิธีประยุกต์ของ CIE เรียกว่า วิธีการออกแบบ (The Design Method) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเลือกใช้โคมไฟ การจัดเรียงโคมไฟทั้งนี้เพื่อให้ได้ความสว่างบนพื้นผิวต่าง ๆ เป็นไปตามที่ต้องการ

โดยทั่วไปการออกแบบเพื่อให้ได้ความสว่างตามต้องการนั้นมักจะมีคำตอบมากกว่า 1 คำตอบ แต่ถ้าเรากำหนดข้อมูลเพิ่มเติมเช่นกำหนดตำแหน่งของโคมไฟหรือกำหนดแบบของโคมไฟมาให้คำตอบที่เป็นไปได้ก็จะลดลง ดังนั้นการออกแบบจึงขึ้นอยู่กับว่ามีการกำหนดข้อมูลใดมาบ้าง

2.4.1 การหาฟลักซ์ต่อพื้นที่ที่ต้องติดตั้ง (Determination of The Required Installation Flux Density)

เมื่อได้กำหนดข้อมูลต่าง ๆ ภายในห้อง เช่นค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง, ความสูงของพื้นที่ทำงาน, ระยะแขวนของโคมไฟก็สามารถที่จะหาค่าของ FD, DFD และ FD4 ได้ ซึ่งค่าของ FD, DFD และ FD4 นี้จะขึ้นกับระดับของความสว่างบนเพดาน, ผนัง และพื้นที่ทำงานที่ต้องการตามสมการ

$$FD = MR11*E1 + MR13*E3 + MR14*E4$$
$$DFD = MR21*E1 + MR23*E3 + MR24*E4$$
$$FD4 = MR31*E1 + MR33*E3 + MR34*E4 \qquad (2.25)$$

เมื่อ FD คือ Installation Flux Density (lux)

DFD คือ Installation Downward Flux Density (lux)

FD4 คือ Installation Utile Flux Density (lux)

MR คือ ค่าคงที่หาได้การอินเวอร์สเมตริกของค่า RM ซึ่งอ่านได้จากตาราง ชุดที่ II:Coefficients for The Computation of Reduced Utilances ที่ดัชนีห้อง (K), อัตราส่วนระยะแขวนของโคมไฟ (J) และค่าการสะท้อนแสงของผิวห้องโดย

$$K = \frac{A*B}{H3*(A+B)} \tag{2.26}$$

$$J = \frac{H2}{H2+H3} \tag{2.27}$$

เมื่อ K คือ ค่าดัชนีห้อง

J คือ อัตราส่วนของระยะแขวนของโคมไฟ

H2 คือ ระยะแขวนของโคมไฟเป็นระยะระหว่างระนาบของโคมไฟกับเพดาน

H3 คือ ระยะระหว่างพื้นที่ทำงานกับระนาบของโคมไฟ

A คือ ด้านกว้างของห้อง

B คือ ด้านยาวของห้อง

สำหรับระยะแขวนของโคมไฟในตารางจะแสดงที่ J = 0 และ J = 1/3 ในกรณีที่อัตราส่วนระยะแขวนของโคมไฟไม่เท่ากับอัตราส่วน 2 ค่านี้ จะต้องคำนวณที่อัตราส่วนระยะแขวนทั้ง 2 ค่า จากนั้นใช้วิธี Interpolation ที่ค่าอัตราระยะแขวนที่ต้องการ

2. การเลือกลักษณะการติดตั้ง (Selection of Installation)

เมื่อเราได้ค่าของ FD, DFD และ FD4 ขั้นตอนต่อไปจะเลือกลักษณะของการติดตั้งเพื่อที่จะให้ได้ค่าของ E1, E3 และ E4 ตามที่ต้องการ อัตราส่วนโดยตรงของการติดตั้งจะเท่ากับ

DR = FD4/DFD

อัตราส่วนของแสงที่ส่องออกจากโคมไฟในช่วงครึ่งทรงกลมล่าง (Downward Flux); DFF ของการติดตั้งหาได้จาก

$$DFF = \frac{DFD}{FD} \tag{2.28}$$

ในกรณีของโคมไฟจากคำนิยามของ Flux Code สามารถเขียนได้ว่า

$$.N4 = \frac{DFD}{FD} \tag{2.29}$$

และสามารถหาฟลักซ์ส่องสว่าง (Flux), F ที่ส่องออกมาจากโคมไฟทั้งหมดได้

$$F = \frac{FD * A4}{NM} \tag{2.30}$$

เมื่อ A4 คือ พื้นที่ของพื้นที่ทำงาน

NM คือ จำนวนโคมทั้งหมดที่ติดตั้ง

เพื่อที่จะได้อัตราส่วนโดยตรงของการติดตั้งโคมไฟเท่ากับที่คำนวณได้ จะต้องเลือกชนิดของโคมไฟที่มีอัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงอ้างอิง (Direct-Ratio of Installation with Luminaire in Reference arrangemant, DRR) เป็น

$$DRR = DR * CORR \tag{2.31}$$

เมื่อ CORR คือ ตัวประกอบแก้ไข(Correction Factor, CORR) สามารถดูได้จาก

ตารางที่ V : Direct Ratio Correction Factors for Non Reference Arrangement

ในการเลือกโคมไฟที่จะมาติดตั้งเพื่อให้ได้ความสว่างของพื้นผิวต่าง ๆ เป็นไปตามที่ต้องการจะต้องพิจารณา

1.) อัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงอ้างอิง, DRR

2.) อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างในส่วนที่ส่องออกจากโคมไฟในช่วงครึ่งทรงกลมล่าง (Downward Flux Fraction), .N4

3.) ฟลักซ์ส่องสว่างรวมที่ส่องออกมาจากโคมไฟแต่ละโคม , F

วิธีการตรวจสอบ (THE VERIFICATION METHOD)

ตามวิธีการออกแบบ (Design Method) สิ่งที่เราทราบคือ E1, E3 และ E4 สิ่งที่ต้องการหาคือ FD, DFD, FD4 เมื่อทราบ FD, DFD และ FD4 แล้วเราก็สามารถเลือกโคมไฟเพื่อให้ได้ความสว่างตามต้องการ แต่ในทางปฏิบัติแล้วเราอาจจะไม่สามารถหาโคมไฟที่ต้องการจริง ๆ ได้จึงต้องใช้โคมไฟที่มีลักษณะใกล้เคียงกันแทน เมื่อเป็นดังนี้ความสว่าง E1, E3 และ E4 ที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราสามารถหาความสว่าง E1, E3 และ E4 ที่ได้จากการใช้โคมไฟที่เลือกได้โดยใช้วิธีการตรวจสอบ (Verification Method) ซึ่งมีขั้นตอน 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. คำนวณอัตราส่วนโดยตรง
2. คำนวณหาค่ายูทิแลนซ์ (Utilance)

1. การคำนวณอัตราส่วนโดยตรง

เริ่มจากการหาดัชนีห้อง K โดยใช้สมการ

$$K = (A*B)/(H3(A+B))$$

เมื่อ A, B คือ ด้านกว้างและด้านยาวของห้อง ตามลำดับ

H3 คือ ระยะระหว่างระนาบของโคมไฟกับพื้นที่ทำงาน

ในกรณีที่ค่า K ที่ได้ไม่ตรงกับที่มีไว้ในตาราง จะต้องหา DR ที่ค่าดัชนีห้อง 2 ค่าที่ใกล้กับค่าดัชนีห้องที่คำนวณได้มากที่สุด แล้วใช้วิธี Interpolation เพื่อหา DR ตามดัชนีห้องที่ต้องการ การหาอัตราส่วนโดยตรง สามารถหาได้ 4 วิธี ดังนี้

1.) คำนวณอัตราส่วนโดยตรง โดยใช้ Flux Triplet N1 N2 N3 คูณกับ GM1, GM2, GM3 และ GM4 โดยอ่านจากตารางที่ IV : Geometric Multiplier for Reference Arrangement for Standard Roomindices ที่ค่าดัชนีห้องที่คำนวณได้ แล้วคำนวณ DRR จากสมการ (2.24) ดังนี้

$$DRR = .N11*GM1 + .N2*GM2 + .N3*GM3 + GM4$$

เมื่อ DRR คือ อัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงอ้างอิง

ในกรณีการจัดเรียงไม่เป็นการจัดเรียงอ้างอิงจะต้องหาตัวประกอบแก้ไขคือ CORR จากตารางชุดที่ V: Direct Ratio Correction Factors for Non Reference Arrangement และอัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงที่ต้องการคือ DR = CORR * DRR

2.) คำนวณอัตราส่วนโดยตรงโดยใช้ DRR ที่กำหนดให้จากผู้ผลิตโคมไฟ (Published DRR Values) ในกรณีที่ผู้ผลิตโคมไฟกำหนด DRR ที่ดัชนีห้องค่าต่าง ๆ มาให้ ดังนั้นเราจะสามารถหา DR ของการจัดเรียงได้เป็น

DR = CORR * DRR

เมื่อ CORR คือ ตัวประกอบแก้ไขอ่านได้จากตารางชุดที่ V : Direct Ratio Correction Factors for Non Reference Arrangement

DRR คือ อัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงอ้างอิง

3.) คำนวณอัตราส่วนโดยตรง โดยใช้ชุดของประเภทการจัดเรียงอ้างอิงที่ผู้ผลิตโคมไฟกำหนดให้ (Published Reference Class Set) ในกรณีที่ผู้ผลิตโคมไฟกำหนดชุดของประเภทโคมไฟมาให้แสดงว่าได้ให้ค่า Reference Class ของการจัดเรียงที่ดัชนีห้องค่าต่าง ๆ มาให้ ถ้าการจัดเรียงโคมไฟในห้องไม่เป็นแบบการจัดเรียงอ้างอิงจะต้องหาตัวประกอบแก้ไข CORR จากตารางชุดที่ V : Direct Ratio Correction Factors for Non Reference Arrangement โดยถ้า |CORR-1|<0.05 แสดงว่าหมายเลขประเภท (Class Number) ที่ดัชนีห้องนั้นถูกต้องเพียงพอ แต่ถ้า |CORR-1|>=0.05 จะต้องใช้ตารางชุดที่ VI: CIE Installation Classification โดยเอาค่าตรงกลางระหว่างลิมิตของประเภท (Class) นั้น ๆ ที่ดัชนีห้องที่ต้องการค่าที่อ่านได้นี้จะเป็น DRR จากนั้นก็หาตัวประกอบแก้ไข CORR ของการจัดเรียงที่ต้องการและสุดท้ายจะได้อัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียงที่ต้องการเป็น DR=CORR * DRR แล้วนำค่า DR กับดัชนีห้องมาพิจารณาจากตารางที่ VI: CIE Installation Classification เพื่อหาหมายเลขประเภท (Class Number) ของการจัดเรียง

4.) คำนวณอัตราส่วนโดยตรงโดยใช้หมายเลขประเภทของโคมไฟที่กำหนดจากผู้ผลิตโคมไฟ (Published Luminaire Class) การคำนวณตามวิธีนี้เหมือนกับข้อ 3.) ในกรณีที่ |CORR-1| >= 0.05 จะต้องพิจารณาจากประเภทของการจัดเรียง (Installation Class)

2. การคำนวรหาค่ารีดิวซ์ยูทิแลนซ์ (Reduced Utilance, RU)

RU ของการจัดเรียงของพื้นผิวต่าง ๆ ได้แก่ RU1, RU3 และ RU4 คำนวณได้จาก RDU (Reduced Downward Utilance) และ RUU (Reduced Upward Utilance) และมีการถ่วงน้ำหนักตามฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงและฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องขึ้น ดังสมการ

$$RU = RUU*(1-.N4) + RDU*.N4 \qquad (2.32)$$

ในกรณีที่โคมไฟมีแสงส่องลงเท่านั้น จะได้ว่า RU = RDU และ RUU1 = RM11, RUU3 = RM31 และ RUU4 = RM41

เมื่อสามารถหา DR ได้ ค่า RDU สามารถหาได้โดย

$$\begin{aligned} RDU1 &= RM11 + RM12 + RM13*DR \\ RDU3 &= RM31 + RM32 + RM33*DR \\ RDU4 &= RM41 + RM42 + RM43*DR \end{aligned} \qquad (2.33)$$

โดยที่ค่า RM หาได้จากตารางชุดที่ II: Coefficients for The Computation of Reduced Utilances ที่ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องและดัชนีห้องที่กำหนด ในกรณีที่โคมไฟที่ใช้มีแสงส่องลงเท่านั้นจะได้ว่า RU = RDU ดังนี้

$$\begin{aligned} RU1 &= RDU1 \\ RU3 &= RDU3 \\ RU4 &= RDU4 \end{aligned} \qquad (2.34)$$

ส่วนกรณีที่โคมไฟมีแสงส่องขึ้นและส่องลงด้วย โดยมีอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างในส่วนที่ส่องออกจากโคมไฟในช่วงครึ่งทรงกลมล่าง (Downward Flux Fraction) DFF = .N4 เราจะได้ค่าของ RU ดังนี้

$$\begin{aligned} RU1 &= RM11*(1-.N4) + (RM11+RM12+RM13*DR)*.N4 \\ RU3 &= RM31*(1-.N4) + (RM31+RM32+RM33*DR)*.N4 \\ RU4 &= RM41*(1-.N4) + (RM41+RM42+RM43*DR)*.N4 \end{aligned} \qquad (2.35)$$

3. การคำนวณค่าความสว่าง

เราสามารถหาค่าความสว่างของพื้นผิวของห้องได้จากค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงและฟลักซ์ส่องสว่างต่อพื้นที่ของการจัดเรียง (Installation Flux Density) FD โดยใช้ความสัมพันธ์

$$E1 = RU1 * FD$$
$$E3 = RU3 * FD$$
$$E4 = RU4 * FD \qquad (2.36)$$

โดย FD คำนวณได้จากสมการ

$$FD = \frac{NM * n * PHI * .N5}{A4} \qquad (2.37)$$

เมื่อ NM คือ จำนวนโคมไฟทั้งหมด

n คือ จำนวนหลอดไฟต่อโคม

HI คือ ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอด 1 หลอด

.N5 คือ ประสิทธิภาพของโคมไฟ (Luminaire Efficiency)

A4 คือ พื้นที่ของพื้นที่ทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

H1 = ความสูงของห้อง (m)
H2 = ระยะของระนาบโคมไฟกับเพดาน (m)
H4 = ความสูงของพื้นที่ทำงาน (m)
A = ด้านกว้างของห้อง (m)
B = ด้านยาวของห้อง (m)

ระยะของระนาบโคมไฟกับพื้นที่ทำงาน (m)
H3 = H1-H2-H4

ค่าดัชนีห้อง

$$K = \frac{A * B}{H3 * (A + B)} \quad (2.26)$$

R1 = ค่าการสะท้อนแสงของเพดาน
R2 = ค่าการสะท้อนแสงของ Frieze
R3 = ค่าการสะท้อนแสงของฝาผนัง
R4 = ค่าการสะท้อนแสงของพื้นที่ทำงาน

ตารางที่ II : Coefficients for The Computation of Reduced Utilances ในเอกสาร Plub.CIE No. 52 โดยพิจารณาจาก K, R1, R2, R3, และ R4

RM11 RM12 RM13
RM31 RM32 RM33
RM41 RM42 RM43

RU1 = RM11*(1-N4) + (RM11+RM12+RM13*DR)*.N4
RU3 = RM31*(1-N4) + (RM31+RM32+RM33*DR)*.N4
RU4 = RM41*(1-N4) + (RM41+RM42+RM43*DR)*.N4 (2.35)

การจัดเรียงของโคมไฟจำนวน M*N ที่ ระยะ
X1, X2,....., Xm ตามด้านยาวของห้อง
Y1, Y2,....., Yn ตามด้านกว้างของห้อง

ตารางที่ I : Geometric Multipliers for a Single Luminaire Vertical above a Corner of a Rectangle with Sides A/H and B/H จากเอกสาร Plub. CIE No. 52 โดยจะใช้ A/H และ B/H จากข้อมูลการจัดเรียงของโคมไฟ

GM1
GM2
GM3
GM4

Direct Ratio (DR)

$$DR = GM1*.N1 + GM2*.N2 + GM3*.N3 + GM4 \quad (2.7)$$

E1 = RU1*FD = ความสว่างที่เพดาน
E3 = RU3*FD = ความสว่างที่ผนัง
E4 = RU4*FD = ความสว่างที่พื้นที่ทำงาน (2.36)

Luminous Intensity $I(\gamma)$ ของโคม ที่มุม
γ = 0, 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115, 125, 135, 145, 155, 165, 175

หา Zonal Flux ที่มุม
γ = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 180
$ZF(\gamma) = ZF(\gamma - 10) + I(\gamma - 5) * \Delta\omega$

Cumulative Zonal Flux
FC1 = -0.0605*ZF(30) + 0.9801*ZF(40) + 0.0804*ZF(50)
FC2 = ZF(60)
FC3 = 0.3241*ZF(70) + 0.7995*ZF(80) - 0.1236*ZF(90)
FC4 = ZF(90)
F = ZF(180)

Flux Code ของโคม
.N1 = FC1/FC4 ; .N2 = FC2/FC4
.N3 = FC3/FC4 ; .N4 = FC4/F
.N5 = F/PHIS (2.1)

M = จำนวนโคมตามด้านยาวของห้อง
N = จำนวนโคมตามด้านกว้างของห้อง
PHI = ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอด 1 หลอด (lm)
n = จำนวนหลอดของโคม

ผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างจากหลอดไฟที่ติดตั้งอยู่ในโคมไฟในแต่ละโคม
PHIS = PHI*n

ฟลักซ์ส่องสว่างต่อพื้นที่ของการจัดเรียง

$$FD = \frac{NM * n * PHI * .N5}{A4} \quad (2.37)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.6 แสดงสมการการคำนวณค่าความสว่างตามวิธีประยุกต์ของ CIE