บทที่ 2

ทฤษฎีการคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟ

2.1 แบบของโคมไฟแสงสว่าง

โคมไฟแสงสว่าง คือ อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการกระจายแสงของหลอดไฟแสงสว่าง และป้องกันการเกิดแสงจ้าเข้าตาผู้ใช้ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยชิ้นส่วนจับยึดหลอดไฟแสงสว่าง ชิ้นส่วนที่ใช้ในการติดตั้ง ปกปิดหรือครอบหลอดไฟแสงสว่าง เพื่อป้องกันสิ่งต่าง ๆ เข้าไป นอกจากนี้โคมไฟแสงสว่างยังอาจใช้เป็นส่วนประกอบในการตบแต่งภายนอกหรือภายในอาคารได้อีกด้วย

โคมไฟแสงสว่างที่ผลิตขึ้นใช้ให้แสงสว่างภายในอาคารมีหลายชนิดด้วยกัน ถ้าแบ่งตามลักษณะการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างและของฟลักซ์การส่องสว่าง จะแบ่งออกได้เป็น 5 แบบด้วยกัน คือ

1. แบบให้แสงโดยตรง (direct) แสงจากโคมไฟแสงสว่างจะส่องลง 100 ถึง 90 เปอร์เซนต์ และส่องขึ้น 0 ถึง 10 เปอร์เซนต์ เป็นแบบที่ให้แสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เพราะแสงส่องตรงลงบนพื้นที่ทำงานมาก แสงส่วนที่ตกบนฝาผนังหรือเพดานมีน้อยมาก ดวงโคมแบบนี้จะมีแผ่นสะท้อนแสงติดอยู่ภายใน เพื่อทำหน้าที่สะท้อนแสงลงบนพื้นที่ทำงาน

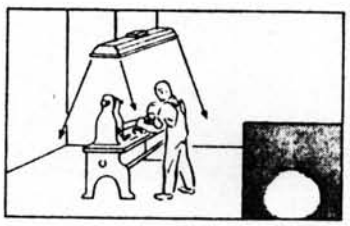
2. แบบให้แสงกึ่งโดยตรง (semi-direct) แสงจากโคมไฟแสงสว่างจะส่องลง 90 ถึง 60 เปอร์เซนต์ และส่องขึ้น 10 ถึง 40 เปอร์เซนต์ เป็นแบบที่ให้แสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงรองลงมา เนื่องจากมีแสงสว่างบางส่วนส่องขึ้นข้างบนและบริเวณโดยรอบ ทำให้ความส่องสว่างบริเวณโดยรอบดีขึ้น

3. แบบให้แสงอย่างสม่ำเสมอหรือกระจายทั่วไป (uniform or direct-indirect) แสงจากโคมไฟแสงสว่างจะส่องลง 60 ถึง 40 เปอร์เซนต์ และส่องขึ้น 40 ถึง 60 เปอร์เซนต์ เป็นแบบที่ให้แสงโดยรอบทั้งส่องขึ้นและส่องลง

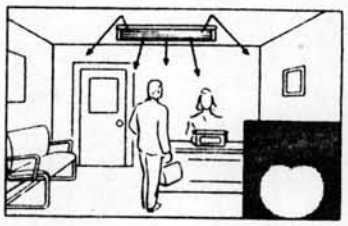
4. แบบให้แสงกึ่งทางอ้อม (semi-indirect) แสงจากโคมไฟแสงสว่างจะส่องลง 40 ถึง 10 เปอร์เซนต์ และส่องขึ้น 60 ถึง 90 เปอร์เซนต์ เป็นแบบที่ให้แสงสว่างที่มีประสิทธิภาพน้อย เนื่องจากมีแสงสว่างส่องขึ้นมาก และสะท้อนลงทำให้ความสว่างบนพื้นที่ทำงานสม่ำเสมอดี

5. แบบให้แสงทางอ้อม (indirect) แสงจากโคมไฟแสงสว่างจะส่องลง 10 ถึง 0 เปอร์เซนต์ และส่องขึ้น 90 ถึง 100 เปอร์เซนต์ เป็นแบบที่ให้แสงบนพื้นที่ทำงานมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด แต่เนื่องจากแสงที่ตกบนพื้นที่ทำงานเกิดจากการสะท้อนจาก เพดานและฝาผนังโดยรอบทำให้เกิดความสว่างสม่ำเสมอมาก

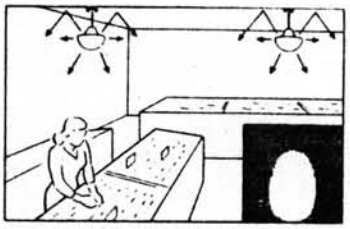
LUMINAIRE CLASSIFICATIONS		
Type	Upward Component	Downward Component
Indirect	90–100 %	0– 10 %
Semi-Indirect	60– 90 %	10– 40 %
General Diffuse / Direct-Indirect	40– 60 %	40– 60 %
Semi-Direct	10– 40 %	60– 90 %
Direct	0– 10 %	90–100 %

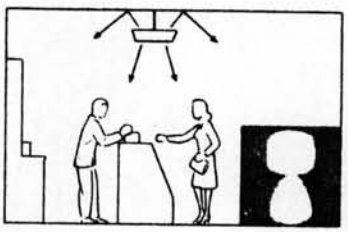


ก. แบบให้แสงโดยตรง

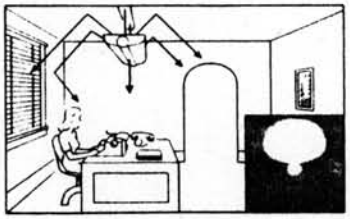


ข. แบบให้แสงกึ่งโดยตรง

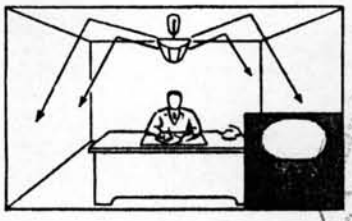




ค. แบบให้แสงสว่างอย่างสม่ำเสมอหรือกระจายทั่วไป



ง. แบบให้แสงกึ่งทางอ้อม

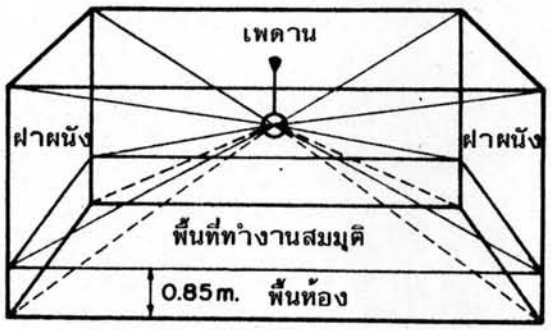


จ. แบบให้แสงทางอ้อม

รูป 2.1 แสดงลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟแสงสว่าง

2.2 สัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟ

สัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟ คือ อัตราส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติต่อฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่แผ่กระจายออกจากหลอดไฟแสงสว่างที่ติดตั้งอยู่ในโคมไฟ



รูป 2.2 แสดงการกระจายของฟลักซ์การส่องสว่างของโคมไฟที่ติดตั้งอยู่ภายในห้อง

ในรูป 2.2 แสดงถึงการให้แสงสว่างโดยโคมไฟแสงสว่างซึ่งแขวนอยู่ในห้อง ๆ หนึ่ง การกระจายแสงของโคมไฟแสงสว่างทำให้ฟลักซ์การส่องสว่างถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหนึ่ง จะตกลงบนเพดานห้องโดยตรง (ϕ_c) ส่วนที่สอง ตกลงบนฝาผนังทั้ง 4 ด้านโดยตรง (ϕ_w) และส่วนที่เหลือตกลงบนพื้นห้องโดยตรง (ϕ_f)

ให้ฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่ได้จากโคมไฟแสงสว่างมีค่า ϕ_1

$$\phi_1 = \phi_c + \phi_w + \phi_f$$

ถ้าฟลักซ์การส่องสว่างจากหลอดไฟแสงสว่างที่ติดตั้งอยู่ภายในโคมไฟแสงสว่าง มีค่าเท่ากับ ϕ_o จะได้ประสิทธิภาพทางแสงของโคมไฟแสงสว่าง เท่ากับ η_1

$$\eta_1 = \frac{\phi_1}{\phi_o} \qquad (2.1)$$

ถ้าฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติประกอบด้วย ส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างจากโคมไฟแสงสว่างโดยตรงและส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างที่สะท้อนไปมาระหว่างเพดาน ฝาผนังและพื้นห้อง แล้วจึงตกลงบนพื้นที่ทำงาน เท่ากับ ϕ_u จะได้

$$CU = \frac{\phi_u}{\phi_o} \qquad (2.2)$$

2.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างจากการวัดค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ทำงานสมมุติ

จากกฎทางแสง กล่าวว่า ค่าความสว่าง ณ จุดใดจุดหนึ่งบนพื้นผิวแห่งหนึ่ง หมายถึง ค่าฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบบนส่วนย่อยของพื้นผิวนั้น หารด้วย พื้นที่ของส่วนย่อยนั้น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

$$d\phi = E \cdot dA$$

$$\phi = \int E \cdot dA = E_m \cdot A$$

จะได้

$$CU = \frac{\phi_u}{\phi_o} = \frac{E_m \cdot A_w}{\phi_o} \qquad (2.3)$$

เมื่อ E คือ ความสว่างบนพื้นที่ย่อย dA ใด ๆ

E_m คือ ความสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ทำงานสมมุติ A_w

ดังนั้น เมื่อทำการวัดค่าความสว่างบนพื้นที่ทำงานสมมุติหลาย ๆ จุด นำมาคิดหาค่าเฉลี่ย คูณด้วย พื้นที่ทำงานสมมุติแล้ว หารด้วย ฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่ได้จากหลอดไฟแสงสว่าง จะได้ค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่าง การหาค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างวิธีนี้เป็นการหาค่าโดยการเลียนแบบของจริง

2.4 การคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างโดยวิธี BZ

การคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่าง โดยวิธี BZ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในประเทศอังกฤษนี้ จะพิจารณาฟลักซ์การส่องสว่างที่ใช้ประโยชน์บนพื้นที่ทำงานสมมุติที่เกิดจากฟลักซ์การส่องสว่างจากโคมไฟแสงสว่างในส่วนที่ส่องลงและส่วนที่ส่องขึ้น แยกจากกันโดยอิสระ ค่าอัตราส่วนโดยตรง (Direct Ratio) จะเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะการกระจายแสงส่วนที่ส่องลงของระบบการติดตั้งโคมไฟแสงสว่าง

2.4.1 หลักการคำนวณของวิธี BZ [5]

การคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่าง โดยวิธี BZ สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$CU = DC + UC$$

$$CU = LFU \times DLOR + UFU \times ULOR \qquad (2.4)$$

เมื่อสัญญลักษณ์ต่าง ๆ มีความหมายตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.6

ค่า DLOR และ ULOR หาได้จากข้อมูลทางแสงของโคมไฟแสงสว่าง

ค่า LFU อ่านจากตารางผนวก ก.1 ถึง ตารางผนวก ก.4 โดยขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนโดยตรง ดัชนีห้องและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวห้อง

ค่า UFU อ่านจากตารางผนวก ก.5 โดยขึ้นอยู่กับค่าดัชนีห้อง และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวห้อง

007199

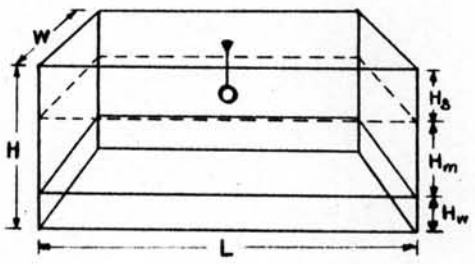
2.4.2 การคำนวณค่าอัตราส่วนโดยตรง

ค่าอัตราส่วนโดยตรงของโคมไฟแสงสว่างแต่ละแบบและค่าอัตราส่วน S/H_m ใด ๆ ที่กำหนดให้ จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟแสงสว่างส่วนที่ส่องลงและค่าดัชนีห้องเท่านั้น

ค่าอัตราส่วนโดยตรงที่ค่าดัชนีห้องหนึ่ง ๆ หาได้จากการคำนวณโดยใช้ตัวคูณประจำโซน (Zonal Multipliers,ZM) โดยที่ตัวคูณประจำโซนมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างที่พื้นที่ทำงานสมมุติได้รับโดยตรงจากโคมในโซนนั้น ต่อฟลักซ์การส่องสว่างที่ส่องออกจากโคมทั้งหมดในโซนนั้น ๆ ตัวคูณประจำโซนนี้ดูได้จากตารางผนวก ก.6 สำหรับรายละเอียดในการหาค่าตัวคูณประจำโซน แสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก ค

การคำนวณค่าอัตราส่วนโดยตรงจะใช้แบบฟอร์มตามรูปผนวก ก.1 โดยในแต่ละโซนขนาด 10 องศา ในส่วนที่แสงส่องลง ผลคูณของฟลักซ์การส่องสว่างจากโคมไฟแสงสว่างและค่าตัวคูณประจำโซนนั้น ๆ จะถูกคำนวณออกมา เมื่อรวมผลคูณของทุกโซนเข้าด้วยกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นฟลักซ์การส่องสว่างจากโคมทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติโดยตรง ฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติโดยตรงนี้ เมื่อถูกหารด้วยฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดจากโคมไฟแสงสว่างในส่วนที่ส่องลงจะเป็นค่าอัตราส่วนโดยตรงของแต่ละค่าดัชนีห้องและค่าอัตราส่วน S/H_m

2.4.3 การคำนวณค่าดัชนีห้อง



รูป 2.3 แสดงห้องที่มีความกว้าง W ความยาว L ความสูง H และมีความสูงจากระดับพื้นที่ทำงานสมมุติถึงระดับโคมไฟแสงสว่าง H_m

ดัชนีห้อง เป็นตัว เลขบอกถึงลักษณะและรูปร่างของห้องทาง เรขาคณิต ซึ่งกำหนดได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีห้อง} = \frac{\text{พื้นที่ เพดาน} + \text{พื้นที่พื้นห้อง}}{\text{พื้นที่ผนังโดยรอบระหว่างระดับโคมไฟแสงสว่างและระดับพื้นที่ทำงานสมมุติ}}$$

ถ้า เป็นห้องสี่ เหลี่ยมจะได้

$$k_r = \frac{L \times W}{H_m (L + W)} \qquad (2.5)$$

2.4.4 ค่า LFU และ UFU ของโคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งติดกับ เพดาน

ค่า LFU และค่า UFU ของโคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งติดกับ เพดานห้อง อ่านได้โดยตรงจากตารางผนวก ก.1-ก.4 และตารางผนวก ก.5 ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานสมมุติหรือพื้นห้อง เท่ากับ 10 เปอร์เซนต์ และ 30 เปอร์เซนต์

ตารางผนวก ก.1-ก.4 แสดงค่า LFU ที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของฝาผนังต่าง ๆ กัน 4 ค่า ตั้งแต่ 50 เปอร์เซนต์ ถึง 0 เปอร์เซนต์ และในแต่ละตารางค่า LFU จะอ่านได้จากการกำหนดค่า ดัชนีห้อง ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของ เพดานและค่าอัตราส่วนโดยตรง

เนื่องจากแสงสว่างที่ส่องขึ้นของโคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งติดกับ เพดาน ตกลงบน เพดานห้องทั้งหมด ค่า UFU จึงมีเพียงตารางเดียวโดยรวมตัวประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่า UFU ไว้ทั้งหมด

2.4.5 ค่า LFU และ UFU ของโคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งห้อยจาก เพดาน

ตามรูป 2.4 จะเห็นว่าค่าดัชนีห้องมีค่า เท่ากันทั้ง รูป 2.4 ก. และ 2.4 ข. แต่ช่องว่า เหนือโคมไฟในรูป 2.4 ข. จะดูดกลืนแสงได้มากกว่า เพดานห้องในรูป 2.4 ก. ดังนั้นในการคำนวณหาค่า LFU และ UFU ของโคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งห้อยจาก เพดานตามรูป 2.4 ข. กระทำได้โดยสมมุติ เพดานสมมูลย์ขึ้น ณ ระดับโคมไฟ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงน้อยกว่าของ เพดานในรูป 2.4 ก.

ในกรณีทั่ว ๆ ไป เมื่อความสูงของ เพดาน เหนือโคมไฟแสงสว่าง (H_s) มีค่าน้อยกว่าหนึ่งในห้าของระยะความสูงของโคมไฟ เหนือพื้นที่ทำงานสมมุติ (H_m) แล้วจะคิดว่าโคมไฟ เป็นแบบติดตั้งติดกับ เพดาน

เราจะพบว่าแสงที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดกลืนภายในช่องว่างเหนือระดับโคมไฟ แสงสว่างที่เรียกว่า ช่องว่างเพดาน มีปริมาณเท่ากับแสงที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดกลืนของเพดานสมมูลย์ที่ระดับโคมไฟแสงสว่าง เมื่อเพดานสมมูลย์มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผล R_e ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลนี้ คำนวณได้จากอัตราส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างที่ส่องออกมาจากช่องว่างเพดานต่อฟลักซ์การส่องสว่างที่ส่องเข้าไปจากโคมไฟแสงสว่าง

สำหรับช่องว่างที่มีพื้นผิวเรียบและมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสม่ำเสมอ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลสามารถคำนวณได้จากสมการ

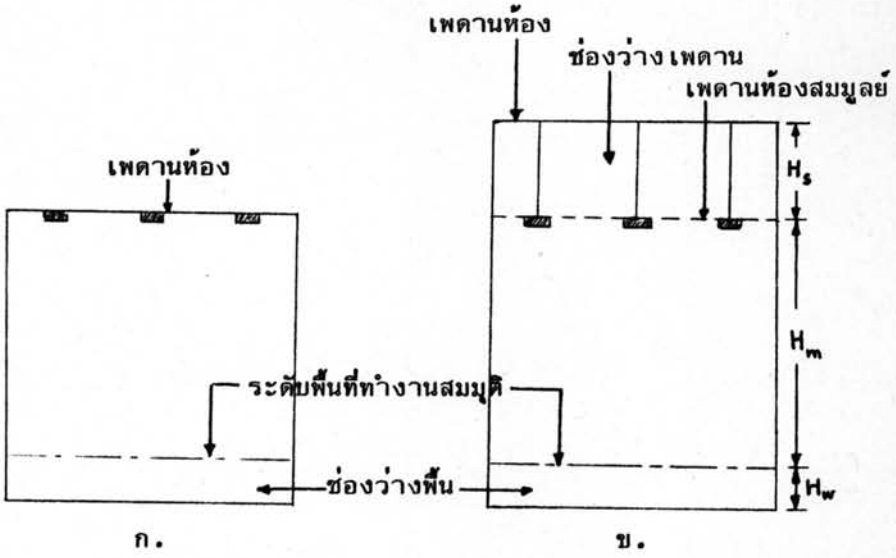
$$R_e = \frac{A_c R_a \times 100}{A_c R_a + A_t (100 - R_a)} \qquad (2.6)$$

เมื่อ R_e เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของเพดานสมมูลย์

R_a เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดภายในช่องว่างเพดาน

A_c เป็นพื้นที่เพดาน

A_t เป็นพื้นที่ผิวทั้งหมดภายในช่องว่างเพดาน



รูป 2.4 แสดงห้องที่ติดตั้งโคมแบบติดกับเพดาน และแบบห้อยจากเพดาน

ในกรณีของห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า สมการของ R_e อาจเขียนเสียใหม่โดยใช้ค่าดัชนีช่องว่างเพดานเข้าช่วย ดังต่อไปนี้

$$R_e = \frac{R_a \times k_c \times 100}{k_c \times 100 + 2(100 - R_a)} \qquad (2.7)$$

สำหรับอาคารทั่ว ๆ ไป ในช่องว่างเพดานจะประกอบไปด้วย คานหรือโครงสร้างอาคาร และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งดูดกลืนแสงจำนวนหนึ่งด้วย และมีความจำเป็นที่จะต้องคิดแสงส่วนที่สูญเสียเพิ่มขึ้นนี้ด้วย เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของเพดานสมมูลย์ ตัวคานต่าง ๆ เราสามารถแยกคิดว่าเป็นตัวทำให้เกิดช่องว่างเพดานเล็ก ๆ ในช่องว่างเพดานใหญ่ได้ โดยการคำนวณช่องว่างเล็กภายในก่อน ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของมันออกมาได้โดยใช้สมการของ R_e ที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นก็คิดว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของเพดานสมมูลย์ของช่องว่างเล็ก ๆ เป็นส่วนหนึ่งของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดานของช่องว่างใหญ่ และใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเฉลี่ยของเพดาน ก่อนที่จะคำนวณค่า R_e ครั้งสุดท้ายต่อไป

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเฉลี่ย (R_a) ของพื้นผิวภายในช่องว่างเพดาน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_a = \frac{\rho_1 A_1 + \rho_2 A_2 + \ldots\ldots + \rho_n A_n}{A_1 + A_2 + \ldots\ldots + A_n} \qquad (2.8)$$

เมื่อ $\rho_1, \rho_2 \ldots\ldots \rho_n$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของแต่ละพื้นผิว

$A_1, A_2 \ldots\ldots A_n$ เป็นพื้นที่ของพื้นผิวต่าง ๆ

และเมื่อใช้ค่าดัชนีช่องว่างเพดานเข้าช่วย เมื่อห้องเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า สมการของ R_a จะเปลี่ยนเป็น

$$R_a = \frac{k_c R_c + 2R_w}{k_c + 2} \qquad (2.9)$$

เมื่อ R_c เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน

R_w เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของฝาผนังส่วนที่อยู่เหนือระดับโคมไฟแสงสว่าง

ค่าของ LFU และ UFU ของโคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งห้อยจากเพดาน จะอ่านได้โดยตรงจากตารางผนวก ก.1-ก.4 และตารางผนวก ก.5 ตามลำดับ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของเพดานสมมูลย์แทนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจริงของเพดาน

2.4.6 ลำดับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างตามวิธี BZ

1. คำนวณค่าดัชนีห้อง (ตามหัวข้อ 2.4.3) สำหรับห้องที่กำหนดให้

2. คำนวณค่าอัตราส่วนโดยตรง (ตามหัวข้อ 2.4.2) สำหรับค่าดัชนีห้องที่คำนวณได้ตามข้อ 1 จากข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของฟลักซ์การส่องสว่างบน polar curve ของดวงโคม โดยใช้ตัวคูณประจำโซนที่เหมาะสมกับค่าอัตราส่วน S/H_m ที่กำหนด

3. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของเพดานสมมูลย์ (R_e) สำหรับโคมไฟแสงสว่างแบบแขวนห้อยจากเพดาน (ตามหัวข้อ 2.4.5)

4. อ่านค่า LFU จากตารางผนวก ก.1-ก.4 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจริงของเพดาน เมื่อโคมไฟแสงสว่างเป็นแบบติดตั้งติดกับเพดาน และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของเพดานสมมูลย์ เมื่อโคมไฟแสงสว่างเป็นแบบติดตั้งห้อยจากเพดาน

5. คูณค่า LFU ด้วยค่า DLOR ของดวงโคม จะได้ค่า DC

6. อ่านค่า UFU จากตารางผนวก ก.5 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดานตามข้อกำหนดในข้อ 4

7. คูณค่า UFU ด้วยค่า ULOR ของดวงโคม จะได้ค่า UC

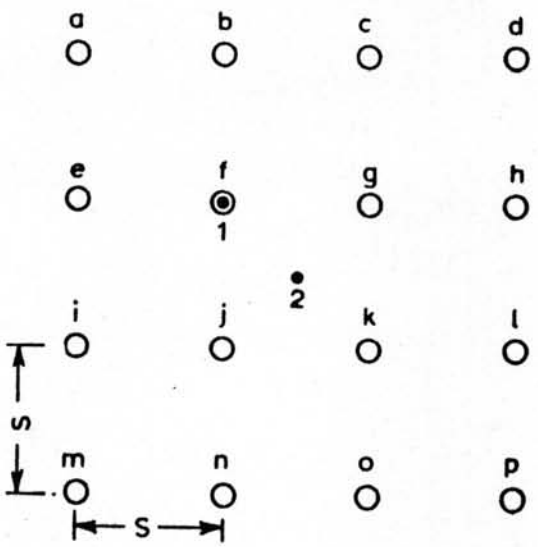
8. ค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของโคมไฟแสงสว่าง จะมีค่าเท่ากับผลรวมของค่า DC และ UC

2.5 ความสม่ำเสมอของค่าความสว่างบนพื้นที่ทำงานสมมุติ

ในการออกแบบระบบแสงสว่างโดยการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างนั้น จะต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอของความสว่างบนพื้นที่ทำงานสมมุติด้วย ในทางปฏิบัติเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้ได้ความสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ แต่ยังสามารถทำให้ความสม่ำเสมอมีค่าตามที่ต้องการได้โดยการติดตั้งโคมไฟแสงสว่างให้มีค่าอัตราส่วนของระยะห่างของการติดตั้ง

ต่อส่วนสูงของการติดตั้งที่เหมาะสม ความสม่ำเสมอของค่าความสว่างบนพื้นที่ทำงานสมมุติ คือ อัตราส่วนของค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างสูงสุดที่วัดได้บนพื้นที่ทำงานสมมุติบริเวณกลางห้อง

ในการหาค่าอัตราส่วน S/H_m ที่เหมาะสมนั้น ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติโดยตรงเท่านั้น เพราะแสงส่วนที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติหลังจากการสะท้อนจากที่อื่น ๆ แล้ว จะทำให้ค่าความสม่ำเสมอของระบบแสงสว่างดีขึ้น ระบบแสงสว่างที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความสม่ำเสมอเพื่อกำหนดอัตราส่วน S/H_m ที่เหมาะสมนั้นจะเป็นแบบสมมาตร ดังแสดงในรูป 2.5 โดยใช้โคมไฟแสงสว่างทั้งหมด 16 ดวง ค่าความสม่ำเสมอของระบบแสงสว่างนี้ คือ อัตราส่วนของความสว่าง E_2 ที่เกิดจากแสงสว่างจากโคมทั้งหมดที่ส่องไปยังตำแหน่งหมายเลข 2 โดยตรง ต่อความสว่าง E_1 ที่เกิดจากแสงสว่างจากโคมทั้งหมดที่ส่องไปยังตำแหน่งหมายเลข 1 โดยตรง เช่นเดียวกัน



รูป 2.5 แสดงระบบแสงสว่างที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความสม่ำเสมอของค่าความสว่าง

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงที่มีลักษณะยาว เช่นหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่จะให้ค่าความสม่ำเสมอของค่าความสว่างดีกว่าแหล่งกำเนิดแสง

ขนาดเล็กที่ค่าอัตราส่วน S/H_m ค่าเดียวกัน ดังนั้นการคำนวณโดยใช้กฎผกผันกำลังสองธรรมดา (inverse square law) จะได้ค่าความสม่ำเสมอต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย การที่จะกำหนดว่าโคมไฟแสงสว่างแบบใด ๆ ควรจะมีค่าอัตราส่วน S/H_m เท่าใดนั้น จะทำได้โดยคำนวณค่าความสม่ำเสมอที่ค่าอัตราส่วน S/H_m 5 ค่า คือ 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5 แล้วตรวจสอบดูว่าที่ค่าอัตราส่วน S/H_m ใดให้ค่าความสม่ำเสมอสูงกว่า 0.70

ระบบแสงสว่างตามรูป 2.5 E_{a1} คือค่าความสว่างในแนวระดับที่จุดหมายเลข 1 บนพื้นที่ทำงานสมมุติที่เกิดจากแสงของโคม a และ E_{b2} คือค่าความสว่างในแนวระดับที่จุดหมายเลข 2 บนพื้นที่ทำงานสมมุติที่เกิดจากแสงของโคม b ในทำนองเดียวกันค่าความสว่างที่จุดหมายเลข 1 และ 2 ที่เกิดจากโคมอื่น ๆ ก็สามารถเขียนได้โดยใช้สัญญลักษณ์แบบเดียวกัน เนื่องจากระบบแสงสว่างเป็นแบบสมมาตร ดังนั้น ค่าความสม่ำเสมอ E_2/E_1 จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{4(E_{a2} + 2E_{b2} + E_{f2})}{4(E_{a1} + E_{b1} + E_{d1}) + 2E_{h1} + E_{f1} + E_{p1}} \quad (2.10)$$

ค่าความสว่างที่เกิดจากโคมต่าง ๆ จะคำนวณได้จาก

$$E = \frac{I(\theta)\cos^3\theta}{H_m^2} \quad (2.11)$$

เนื่องจากค่า H_m^2 จะปรากฏทั้งใน E_2 และ E_1 ดังนั้นการคำนวณค่าความสม่ำเสมอจึงเป็นเพียงการคำนวณค่า $I(\theta)\cos^3\theta$ เท่านั้น และเพื่อช่วยให้การคำนวณง่ายขึ้น ค่าของมุม θ และ $n\cos^3\theta$ จะถูกคำนวณออกมาที่ค่าอัตราส่วน S/H_m ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แสดงข้อมูลที่ใช้คำนวณค่าความสม่ำเสมอของค่าความสว่าง [5]

S/H_m	0.5		0.75		1.0		1.25		1.5	
Position of fitting	Angle θ	Factor $n.\cos^3\theta$	Angle θ	Factor $n.\cos^3\theta$	Angle θ	Factor $n.\cos^3\theta$	Angle θ	Factor $n.\cos^3\theta$	Angle θ	Factor $n.\cos^3\theta$
	Values for calculating E_1									
a	35.3°	2.175	46.7°	1.292	54.7°	0.772	60.5°	0.476	64.7°	0.312
b	26.6°	2.860	36.9°	2.045	45.0°	1.414	51.3°	0.976	56.3°	0.684
d	48.2°	1.184	59.2°	0.537	65.9°	0.272	70.3°	0.152	73.4°	0.094
f	0°	1.000	0°	1.000	0°	1.000	0°	1.000	0°	1.000
h	45.0°	0.708	56.3°	0.342	63.4°	0.180	68.2°	0.102	71.6°	0.062
p	54.7°	0.193	64.7°	0.078	70.5°	0.037	74.2°	0.020	76.7°	0.012
	Values for calculating E_2									
a	46.7°	1.292	57.9°	0.600	64.7°	0.312	69.3°	0.176	72.6°	0.108
b	38.3°	3.865	49.9°	2.138	57.7°	1.224	63.2°	0.736	67.2°	0.464
f	19.5°	3.350	28.0°	2.753	35.3°	2.176	41.5°	1.680	46.7°	1.292

$E = I_\theta \cos^3\theta$

$E_1 = 4\,(E_{a1} + E_{b1} + E_{d1}) + E_{f1} + 2E_{h1} + E_{p1}$

$E_2 = 4\,(E_{a2} + 2E_{b2} + E_{f2}) = (I_\theta \times 4\cos^3\theta)_{a2} + (I_\theta \times 8\cos^3\theta)_{b2} + (I_\theta \times 4\cos^3\theta)_{f2}$

For each of the nine positions in this table, find the intensity at the angle (θ) and multiply it by the factor ($n.\cos^3\theta$). Add the six products for positions a to p to give E_1. Add the three products for positions a to f to give E_2. Divide E_2 by E_1 to give the midpoint ratio, E_2/E_1.

การคำนวณค่าความสม่ำเสมอจะกระทำได้ ดังนี้

1. สมมุติค่าอัตราส่วน S/H_m ที่จะใช้

2. คำนวณค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟแสงสว่างตามมุม θ ที่กำหนดให้ในตาราง 2.1 ที่ตรงกับค่าอัตราส่วน S/H_m ที่เลือกใช้

3. คูณค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่คำนวณได้ด้วยตัวประกอบ $n\cos^3\theta$ ที่สมนัยกัน

4. คำนวณค่า E_1 และ E_2 แล้วคำนวณค่าความสม่ำเสมอ

5. ถ้าค่าความสม่ำเสมอที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่า 0.7 ให้ทำการหาค่าความสม่ำเสมอใหม่ โดยสมมุติค่าอัตราส่วน S/H_m ที่เล็กกว่าเดิม จนกว่าค่าความสม่ำเสมอที่คำนวณได้เริ่มมีค่า

มากกว่า 0.7

6. ถ้าค่าความสม่ำเสมอที่คำนวณได้ครั้งแรกมีค่าสูงกว่า 0.7 ให้คำนวณหาค่าความสม่ำเสมอใหม่ โดยสมมุติค่าอัตราส่วน S/H_m ที่ใหญ่กว่าเดิม จนกว่าค่าความสม่ำเสมอที่คำนวณได้เริ่มมีค่าต่ำกว่า 0.7

ขอบเขตของการคำนวณจะถูกจำกัดไว้ที่ค่าอัตราส่วน S/H_m ระหว่าง 0.5 ถึง 1.5 และค่าอัตราส่วน S/H_m ที่เหมาะสมกับโคมที่นำมาคำนวณ คือค่าอัตราส่วน S/H_m ที่เริ่มให้ค่าความสม่ำเสมอสูงกว่า 0.7

2.6 การคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างโดยวิธี Zonal-Cavity (6)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างโดยวิธี Zonal-Cavity ของประเทศสหรัฐอเมริกานี้ จะคล้ายกับวิธี BZ ของประเทศอังกฤษมาก มีข้อแตกต่างกันที่การกำหนดตัวแปรที่ใช้แทนขนาดและรูปร่างของห้องเท่านั้น วิธี BZ ใช้ดัชนีห้องเป็นตัวแปรแทนขนาดห้อง ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.4.3 สำหรับวิธี Zonal-Cavity จะใช้อัตราส่วนช่องว่างห้อง (Room Cavity Ratio; RCR) เป็นตัวแปรแทนขนาดห้อง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$RCR = \frac{5\ H_m (L + W)}{L \times W}$$

จะเห็นว่าอัตราส่วนช่องว่างห้องและดัชนีห้องมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$RCR = \frac{5}{k_r}$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างตามวิธี Zonal-Cavity มีลำดับการคำนวณดังต่อไปนี้

2.6.1 การคำนวณค่า DC (Downward Coefficient)

1. เลือกแบบฟอร์มที่จะใช้คำนวณค่าอัตราส่วนโดยตรงจากรูปผนวก ข.1 โดยเลือกจากค่าอัตราส่วน S/H_m

2. เติมค่าฟลักซ์การส่องสว่างจากโคมสำหรับโซนขนาด 10 องศา ลงในช่องว่าง

ที่กำหนดให้ แล้วคูณค่าฟลักซ์การส่องสว่างเหล่านี้ด้วยค่าตัวคูณประจำโซนของแต่ละค่า RCR ที่ให้ไว้แล้วในแบบฟอร์ม

3. รวมผลคูณที่ได้ในข้อ 2. ของแต่ละค่า RCR ผลลัพธ์ที่ได้นี้ คือฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดจากโคมไฟแสงสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติโดยตรง

4. หารผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 3. ด้วยค่าฟลักซ์การส่องสว่างจากโคมไฟแสงสว่างในส่วนที่ส่องลง (0-90 องศา) จะได้ค่าอัตราส่วนโดยตรง (DR) ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวห้อง

5. อ่านค่า DRC (Downward Reflected Component) จากกราฟผนวก ข.1-ข.10 ที่แต่ละค่าของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวห้อง และค่า RCR

6. รวมค่าอัตราส่วนโดยตรงจากข้อ 4. และค่า DRC จากข้อ 5. ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่า DUF (Downward Utilization Factor) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างจากดวงโคมในครึ่งทรงกลมล่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติทั้งหมด (ทั้งโดยตรงและหลังจากการสะท้อน) ต่อฟลักซ์การส่องสว่างที่ส่องออกจากโคมภายในครึ่งทรงกลมล่าง

7. คูณค่า DUF จากข้อ 6. ด้วยค่า DLOR ของโคม ผลคูณที่ได้ คือค่า DC และถ้าโคมไฟแสงสว่างเป็นแบบให้แสงโดยตรงทั้งหมด (ไม่มีแสงส่องขึ้นข้างบน) ค่า DC นี้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างนั้น

2.6.2 การคำนวณค่า UC (Upward Coefficient)

ค่า UC ของแต่ละค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องและค่า RCR นั้น จะหาได้โดยคูณค่า UUF (Upward Utilization Factor) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างจากดวงโคมในครึ่งทรงกลมบนที่ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานสมมุติหลังจากการสะท้อน ต่อฟลักซ์การส่องสว่างที่ส่องออกจากโคมภายในครึ่งทรงกลมบน ที่อ่านได้จากตารางผนวก ข.1 ด้วยค่า ULOR ของโคม สำหรับโคมไฟแสงสว่างแบบให้แสงทางอ้อมทั้งหมด (ไม่มีแสงส่องลงล่าง) ค่า UC นี้จะเป็นค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่างนั้น

2.6.3 สำหรับโคมไฟแสงสว่างที่มีแสงทั้งส่องขึ้นข้างบนและส่องลงข้างล่าง ค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟนั้นคือ ผลรวมของค่า DC และ UC

ค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟที่หาได้ตามวิธีที่กล่าวมานี้จะ เป็นค่าที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของช่องว่างฝืน มีค่า 20 เปอร์เซนต์ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของช่องว่างฝืนมีค่าแตกต่างไปจาก 20 เปอร์เซนต์ จะต้องใช้ตัวปรับค่าเข้าแก้ค่าที่หาได้ สำหรับตัวปรับค่าที่ให้ไว้ในตารางผนวก ข.2 และ ข.3 เป็นตัวปรับค่าที่ใช้แก้ค่าสัมประสิทธิการใช้แสงของโคมไฟแสงสว่าง เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของช่องว่างฝืนมีค่า 10 และ 30 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงประสิทธิผลของช่องว่างเพดาน หรือช่องว่างฝืน จะหาได้จากกราฟผนวก ข.11-ข.13 โดยที่ค่า CCR (Ceiling Cavity Ratio) และ FCR (Floor Cavity Ratio) มีค่าดังนี้

$$CCR = \frac{5H_s(L + W)}{L \times W}$$

$$FCR = \frac{5H_w(L + W)}{L \times W}$$