# บทที่ 2

# ทฤษฎี และแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

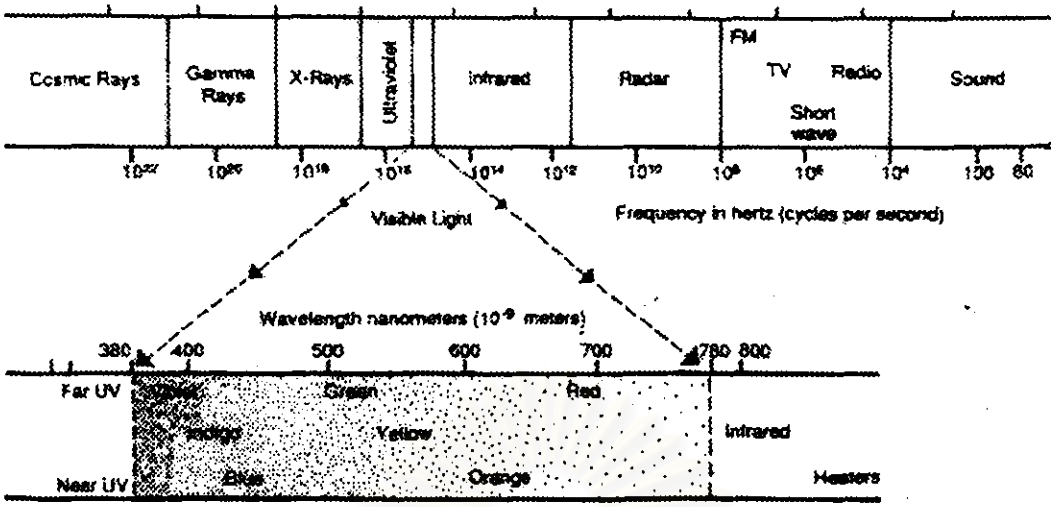
## 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้จะมีความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัวต่างๆกันออกไป กล่าวคือ ความถี่หรือความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดชนิดของพลังงาน (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม , 2521) หากเราพิจารณาพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดตั้งแต่พลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดจนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นที่ยาวสุด จะพบว่า แสงเป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (micron) หรือ 380 ถึง 780 นาโนเมตร (nanometers) ประกอบไปด้วย spectrum ของสีหลายๆสีอันเกิดจากความถี่ และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานช่วงดังกล่าวนี้เท่านั้นที่จะช่วยให้เกิดการมองเห็น แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่สำคัญที่สุดก็คือ ดวงอาทิตย์

เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านอนุภาคของชั้นบรรยากาศของโลก จะเกิดการหักเหและสะท้อนก่อนที่จะส่องลงมายังผิวโลก และเมื่อกระทบกับพื้นผิวหรือวัตถุใดๆจะก่อให้เกิดลักษณะ 3 ประการคือ การดูดซึม (Absorbtion) การสะท้อน (Reflection) และการส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและพื้นผิวแต่ละชนิด ดังนั้นหากพิจารณาในแง่แหล่งกำเนิดของแสงอาจพิจารณาได้เป็น 2 กรณี คือ แหล่งกำเนิดแสงทางตรง (Direct) และแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (Indirect)

แหล่งกำเนิดแสงทางตรง ได้แก่ แสงแดด หรือ Sunlight และ แสงซึ่งเกิดจากการส่องกระทบอนุภาคในชั้นบรรยากาศของโลกทำให้สะท้อน หักเห และให้แสงในลักษณะกระจายทั่วพื้นที่ หรือ Diffuse Skylight

แหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม ได้แก่ แสงที่เกิดจากการสะท้อน หรือการส่องผ่านวัตถุใดๆ และทำให้วัตถุนั้นๆเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง (Secondary source) ซึ่งก็อาจให้แสงในลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นกับคุณสมบัติในการสะท้อน หรือ การยอมให้แสงส่องผ่าน ตลอดจนลักษณะของพื้นผิวของวัตถุที่แสงตกกระทบว่าเป็นเช่นใด



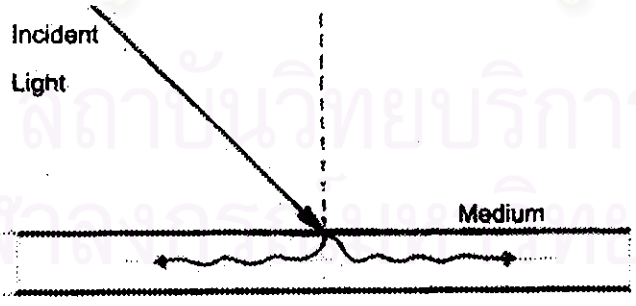

**รูปที่ 2.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ**

ที่มา : Machanical and Electrical Equipment for Building , pp 912

## 2.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านตัวกลาง (medium) ชนิดต่างๆ เช่น อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง ฯลฯ ทางเดิน หรือ พฤติกรรมของแสงจะเปลี่ยนไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น พฤติกรรมของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆมีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.2.1 <u>การดูดกลืน (Absorption)</u> เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง (medium) และเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน (heat)

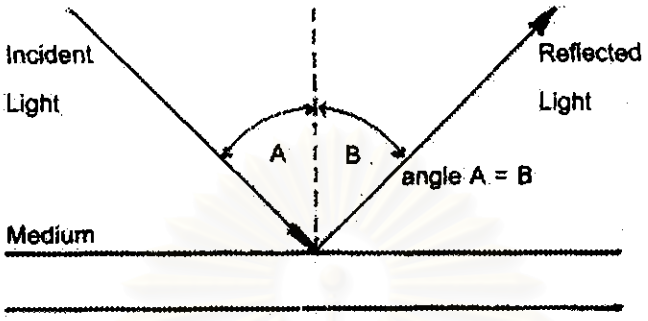



**รูปที่ 2.2 รูปแสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง**

ที่มา :คัมกฤช ชูเกียรติมั่น

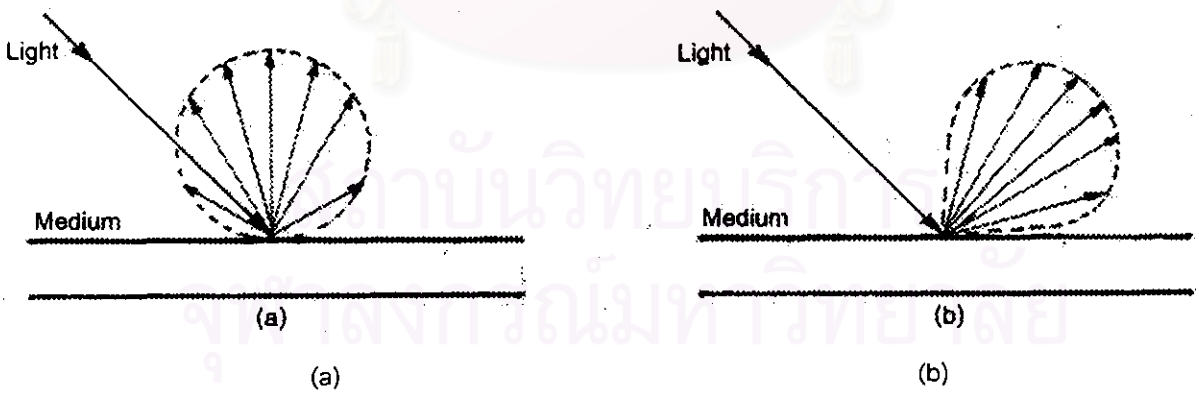
2.2.2 <u>การสะท้อน (Reflection)</u> เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนไป ลักษณะของการสะท้อนสามารถพิจารณาออกได้เป็น

การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (polish surface) การสะท้อนจะมีลักษณะของมุมของแสงที่ตกกระทบ (angle of incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน (angle of reflection)




**รูปที่ 2.3 แสดงรูป** specular reflection
**ที่มา :คมกฤช ฐเกียรติมั่น**

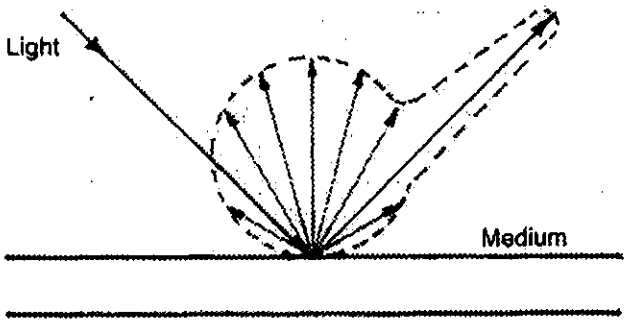
การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบวัตถุทึบแสงที่มีผิวหยาบไม่เรียบสม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะถูกสะท้อนออกไปในหลายๆทิศทาง ซึ่งส่วนมากมุมของแสงที่สะท้อนที่กระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบ หากผิววัตถุที่ไม่เรียบนั้นมีลักษณะไม่เรียบสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (perfectly diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการกระจายแสงแบบสมบูรณ์ (perfect diffuse reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่าๆกันในทุกมุมสะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอ (semi diffuse surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (semi diffuse reflection)




(a) (b)

**รูปที่ 2.4 รูปแสดง** (a) perfect diffuse reflection & (b) semi diffuse reflection
**ที่มา :คมกฤช ฐเกียรติมั่น**

แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) และการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)




**รูปที่ 2.5 รูปแสดง**combined specular & diffuse reflection

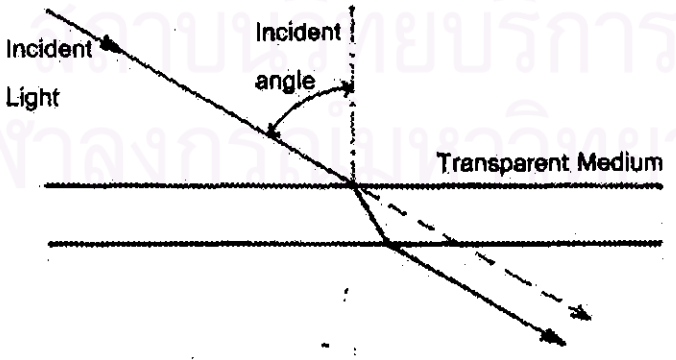
**ที่มา :คมกฤช ฐเกียรติมั่น**

2.2.3 **การส่องผ่าน** (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลาง (medium) แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติหรือลักษณะของตัวกลางที่แสงผ่านแล้ว มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่าน และแสงที่ทะลุผ่านจะมีปริมาณของแสงคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่แสงสามารถส่องผ่านได้ใดๆ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ และส่วนที่เหลือจะทะลุผ่าน หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับรวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Absorptance} + \text{Reflectance} + \text{Transmittance} = 1 \qquad (2.1)$$

ลักษณะการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของตัวกลางดังนี้

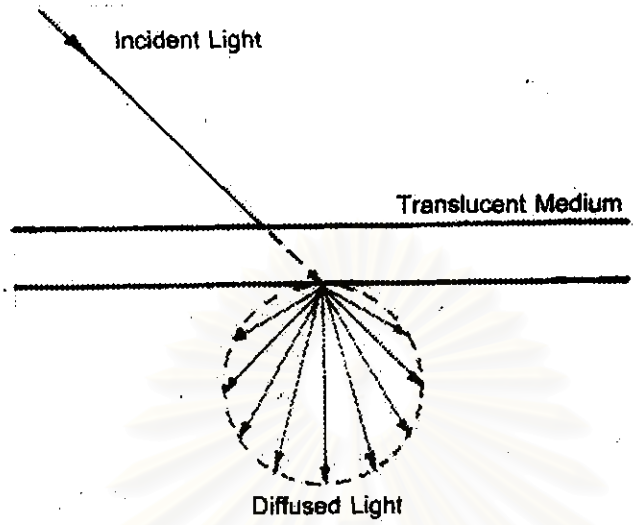
ตัวกลางโปร่งใส (Transparant Medium) การส่องผ่านลักษณะนี้แสงจะเกิดการหักเห (refracted) หรือเปลี่ยนทิศทาง (bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน ตัวกลางจำพวกนี้ เช่น กระจกใส เป็นต้น




**รูปที่ 2.6 รูปแสดงแสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน**

**ที่มา :คมกฤช ฐเกียรติมั่น**

ตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) การส่องผ่านของแสงลักษณะนี้แสงที่ส่องผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจาย (diffuse transmission) และในกรณีนี้จะไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน



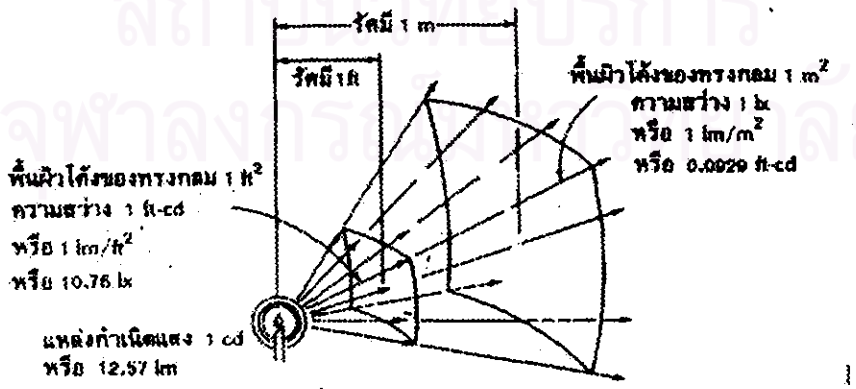

**รูปที่ 2.7 รูปแสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย**

ที่มา :คมกฤช ฐเกียรติมั่น

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง (Illumination)

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่ใดๆเป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตาทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่นั้นๆเราเรียกว่า การส่องสว่าง หรือ ความสว่าง (illumination) ซึ่งมีนิยามที่เกี่ยวข้องกับการส่องสว่างดังนี้

2.3.1 **ปริมาณแสง (Luminous Flux)** คือปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง (light output) ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงาน หรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสง (Power of Light Source) ใดๆในรูปของเส้นแรงปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen)




**รูปที่ 2.8 แสดงรูป** luminous flux

2.3.2 Solid angle ($\omega$) เป็นการวัดส่วนหนึ่งของพื้นผิวทรงกลมที่ถูกครอบคลุมด้วยพื้นที่สมมติรูปทรงกรวยที่มีส่วนแหลมสุดของกรวยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้นๆ หรือ คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian)

"Solid angle is a measure of that portion of space about a point bounded by a conic surface whose vertex is at the point. It can be measured by the ratio of intercepted surface area of a sphere centered on that point to the square of the sphere's radius." (IES Lighting handbook , 1981) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Solid Angle } (\omega) = A / R^2 \text{ steradian} \qquad (2.2)$$

โดย A คือ พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

R คือ รัศมีของทรงกลม

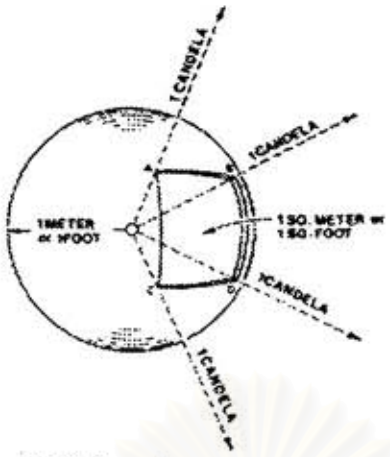
2.3.3 ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) คือปริมาณแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงใน solid angle ใดๆในทิศทางหนึ่งทิศทางใด

"Luminous Intensity is the luminous flux leaving a point source of light per unit solid angle in the given direction"(IES Lighting handbook , 1981)

เป็นการบอกค่าความมากน้อยของพลังงาน หรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง (luminous intensity) หรือบางทีเรียกว่า กำลังส่องสว่าง (candlepower) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (candela) หรือ ลูเมนต่อสเตอเรเดียน (lumen per steradian) ซึ่งในการพิจารณาลักษณะนี้ใช้สำหรับการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมาก จนถือว่าแหล่งกำเนิดแสงนั้นเป็นจุด (point source)

หากพิจารณาโดยการนำแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมากจนเสมือนจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆหนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (lumen) และเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 เคนเดลาจะสามารถแปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ เท่ากับ 12.57 ลูเมน

2.3.4 ความส่องสว่าง (Illuminace) เมื่อมีปริมาณแสงตกกระทบลงบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆผลที่ได้ คือ ความสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit of area) เช่นเดียวกับการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในทรงกลม หากทรงกลมนั้นมีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งไปตกลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (footcandle) ในทำนองเดียวกัน ถ้ารัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ 1 ลักซ์ (lux)




**รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง** candelas, lumens, lux and footcandles

ที่มา : IES hand book ,1981,Ref.Volume, pp 1-6

*คำอธิบายประกอบรูปที่ 2.9*

*กำหนดให้จุดแหล่งกำเนิดแสงที่กำลังส่องสว่างสม่ำเสมอ 1 แคนเดลา อยู่ ณ. จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 เมตร หรือ 1 ฟุต โดยถือว่าค่าการสะท้อนแสงที่ผิวของทรงกลมมีค่าเป็นศูนย์ (zero)*

*ความสว่างที่เกิดบนจุดใดๆของทรงกลมมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ (lux) หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร และ ความสว่างที่เกิดบนจุดใดๆของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 ฟุต*

*Solid angle ที่ตรงข้ามกับพื้นที่รอบจุด A,B,C,D มีค่าเท่ากับ 1 สเตอเรเดียน (steradian) และมีฟลักซ์ (flux) ของแสงเท่ากับ 1 ลูเมนต่อสเตอเรเดียน*

*พื้นที่ผิวของทรงกลมทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 12.57 (4 $\pi$) ตารางเมตร หรือตารางฟุต และมีปริมาณแสง (luminous flux) ของทุกๆ 1 ลูเมนที่ตกลงบนพื้นที่ทุก 1 ตารางเมตร หรือ 1 ตารางฟุตนั้นๆ เท่ากับ 12.57 ลูเมน*

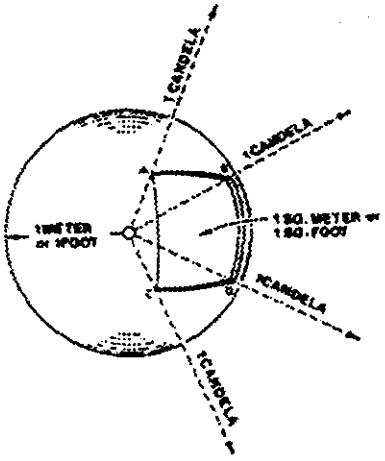
2.3.5 **การส่องสว่าง** (Illumination) ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนพื้นที่ผิวใดๆจะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผันผกผันกับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) มีหน่วยเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล เขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$E = I / d^2 \qquad (2.3)$$

โดย E คือ ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc)

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็น แคนเดลา (cd)

d คือ ระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร หรือ ฟุต




**รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง** candelas, lumens, lux and footcandles

ที่มา : IES hand book ,1981,Ref.Volume, pp 1-6

*คำอธิบายประกอบรูปที่ 2.9*

*กำหนดให้จุดแหล่งกำเนิดแสงที่กำลังส่องสว่างสม่ำเสมอ 1 แคนเดลา อยู่ ณ. จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 เมตร หรือ 1 ฟุต โดยถือว่าค่าการสะท้อนแสงที่ผิวของทรงกลมมีค่าเป็นศูนย์ (zero)*

*ความสว่างที่เกิดบนจุดใดๆของทรงกลมมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ (lux) หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร และ ความสว่างที่เกิดบนจุดใดๆของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 ฟุต*

*Solid angle ที่ตรงข้ามกับพื้นที่รอบจุด A,B,C,D มีค่าเท่ากับ 1 สเตอเรเดียน (steradian) และมีฟลักซ์ (flux) ของแสงเท่ากับ 1 ลูเมนต่อสเตอเรเดียน*

*พื้นที่ผิวของทรงกลมทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 12.57 (4 $\pi$) ตารางเมตร หรือตารางฟุต และมีปริมาณแสง (luminous flux) ของทุกๆ 1 ลูเมนที่ตกลงบนพื้นที่ทุก 1 ตารางเมตร หรือ 1 ตารางฟุตนั้นๆ เท่ากับ 12.57 ลูเมน*

2.3.5 <u>การส่องสว่าง (Illumination)</u> ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนพื้นที่ผิวใดๆจะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผันผกผันกับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) มีหน่วยเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล เขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$E = I / d^2 \qquad (2.3)$$

โดย E คือ ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc)

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็น แคนเดลา (cd)

d คือ ระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร หรือ ฟุต

## 2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศเขตร้อน แบบร้อนชื้น โดยทั่วไปอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 28-29 °c เฉพาะในเวลากลางวันมีค่า ประมาณ 30-31 °c สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก มีแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี (ดูตารางที่ 1.2) จะเห็นว่าดัชนีเมฆของประเทศไทยมีค่าตั้งแต่ 5.9 ถึง 9.0 (ค่าสูงสุดคือ 10) และค่าระดับความสว่างสำหรับกรุงเทพมีค่าความสว่างในระดับ 10,000 lux ขึ้นไปมีความถี่ถึงกว่า 99% ของเวลากลางวัน

ในการมองเห็นสิ่งต่างๆนั้นความชัดเจนของการมองเห็นเกิดจากปริมาณแสงที่ตกกระทบบนวัตถุในระดับที่แตกต่างกัน ทำให้เกิด Contrast และเกิดจากคุณสมบัติของวัตถุที่มีผลให้เกิดความสว่างบนผิว (Brightness)ในระดับที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นสีต่างๆที่เกิดขึ้นของวัตถุก็เป็นผลเนื่องมาจากช่วงคลื่นของแสงที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดกระทบวัตถุแล้วเกิดการหักเห,ดูดซับหรือสะท้อนคลื่นสีต่างๆออกมา เช่น ในวัตถุที่บแสงที่สะท้อนคลื่นแสงสีแดง และดูดซับคลื่นแสงสีอื่นๆไว้ ก็จะเห็นวัตถุนั้นๆเป็นสีแดง ซึ่งแสงสว่างธรรมชาติจะให้ช่วงคลื่นกว้างที่สุด (มีทุกคลื่นสี) นั้นหมายความว่าวัตถุต่างๆภายใต้แสงสว่างธรรมชาติจะให้สีที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด (เมื่อเทียบกับแสงที่เกิดจากแสงประดิษฐ์)

## 2.6 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

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

2.6.1 <u>สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง หรือ ดวงอาทิตย์ได้ (Overcast Sky หรือเรียกว่า CIE Sky)</u> ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่ามีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องด้วยค่าความสว่างของท้องฟ้าที่จุดใดๆจะพิจารณาจากมุม altitude ของดวงอาทิตย์เหนือระดับแนวระนาบซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$L_A = L_Z (1 + 2 \sin A) / 3 \qquad (2.7)$$

โดย $L_A$ คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือแนวระนาบในทุกทิศทาง

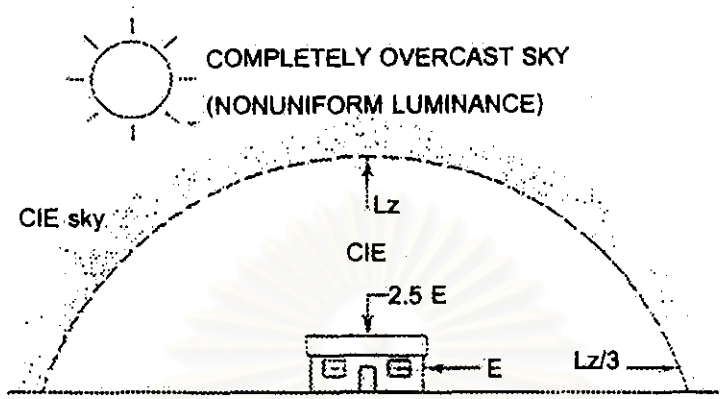
$L_Z$ คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่จุดสูงสุด (Zenith)

ดังนั้นความสว่างที่ตำแหน่งแนวระนาบหรือ ที่มุม A = 0 องศาจะมีค่า = $L_Z / 3$

ส่วนค่าความสว่างที่ระดับสูงสุด Zenith Luminance จากการศึกษา (Krochman and Sidel) พบว่า

$$L_z = 123 + 8600 \sin A \ (cd/sqm) \qquad (2.8)$$

โดย A คือ Solar altitude




**รูปที่ 2.10 แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky**

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp 974

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณีคือมีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอกัน (Uniform Brightness) ความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง แต่ก็มีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง จากการวิจัย (Krochman,1963) พบว่า ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky จะแปรผันตาม Solar altitude สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21{,}000 \sin A \ (lux) \qquad (2.9)$$

โดย $E_H$ คือ ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้า Overcast Sky มีหน่วยเป็น ลักซ์

A คือ Solar altitude

2.6.2 <u>สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม (Clear Sky)</u> ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบคือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Illumination ) และ แสงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar altitude) เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง ประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความส่องสว่างของพื้นผิวแนวระนาบจากเนื่องแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนท้องฟ้า (Half Sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล และมีค่าเฉลี่ย 1,000 ฟุตแคนเดิล

จากการวิจัย (Moon,R.C. Hopkinson,1968) พบว่าค่าความสว่างของสภาพท้องฟ้าแบบโปร่งสามารถเขียนเป็นสมการแยกออกได้ 2 กรณีคือ

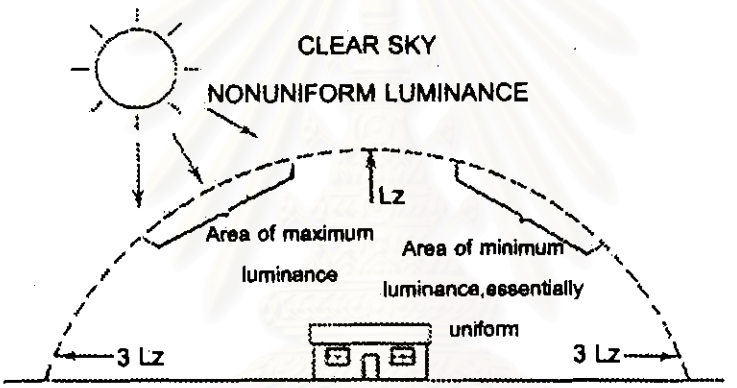
กรณีเกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว สมการได้แก่

$$E_H = 1345 + 14{,}795 \sin A \text{ (lux)} \qquad (2.10)$$

กรณีเกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว สมการได้แก่

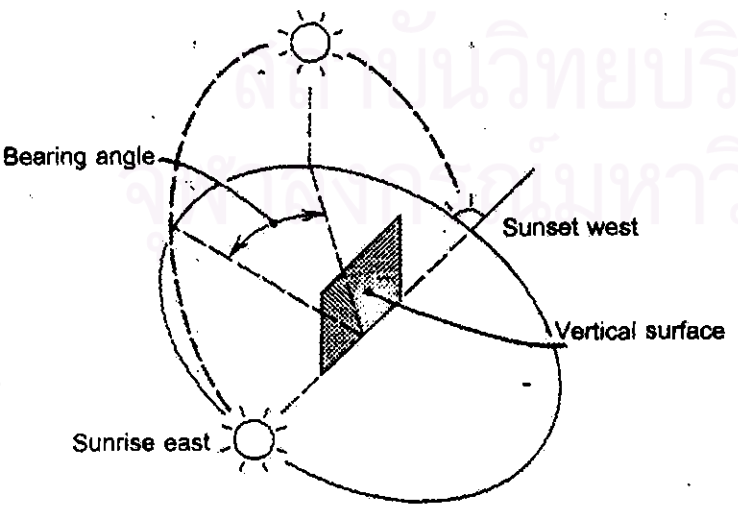
$$\log E_H = 4.466 + 0.31 \log A \text{ (lux)} \qquad (2.11)$$

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับมุม azimuth และ altitude หรือ มุม bearing ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่าง หรือด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุม bearing มีค่ามากกว่า 90 องศา (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุ หรือ พื้นผิวใดๆที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย




**รูปที่ 2.11 แสดงท้องฟ้าแบบClear Sky**

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp 974




**รูปที่ 2.12 รูปแสดง bearing angle**

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp 977

2.6.3 **สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)** การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆตลอดเวลา โดยทั่วไปการพิจารณาค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนนี้ หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบาง ไม่หนาทึบ (น้อย) ค่าความสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่ามากกว่าค่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10 ถึง 15 เปอร์เซนต์ เนื่องจากการสะท้อนแสงของเมฆ (Nadamura and Oki,1983) ในขณะที่การวิจัย (Krochman,1968) พบว่าค่าความสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{Hp} = 570\ A \qquad (2.12)$$

โดย $E_{HP}$ คือ ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบภายใต้ท้องฟ้า Partly Cloudy Skyมีหน่วยเป็น ลักซ์

A คือ Solar altitude

อย่างไรก็ตามหากเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามีลักษณะเป็นกลุ่มหนาทึบ หรือมีสีดำ เช่นเมฆฝน ก็อาจทำให้แสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้า และปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ถูกกั้น นั่นคือแสงจะถูกดูดกลืนมากกว่าสะท้อน อันเป็นผลให้ค่าความสว่างจากท้องฟ้ามีค่าลดลง หากพิจารณาค่าความส่องสว่างในระดับระนาบแนวนอนและระนาบแนวตั้ง ซึ่งมีอิทธิพลในการพิจารณาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ จากการศึกษา (the Gillete prediction model,1985) อาศัย**ดรรชนีเมฆ หรือ** Cloud Ratio หาความสัมพันธ์ของความส่องสว่างของท้องฟ้าอันเกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Elvegard and Sjostedt;1940) พบความสัมพันธ์เพื่อหาค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบแนวนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$E_H = 0.35\ E_S + 0.89\ E_C \qquad (2.13)$$

โดย $E_S$ คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงตรงของดวงอาทิตย์

$E_C$ คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงกระจายภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง

การพิจารณาสภาพของท้องฟ้า สามารถพิจารณาโดยอาศัยข้อมูลที่เก็บเป็นรายชั่วโมง ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 - 10 (กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา) โดยที่

ค่าระหว่าง 0 -3 จัดเป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear Sky)

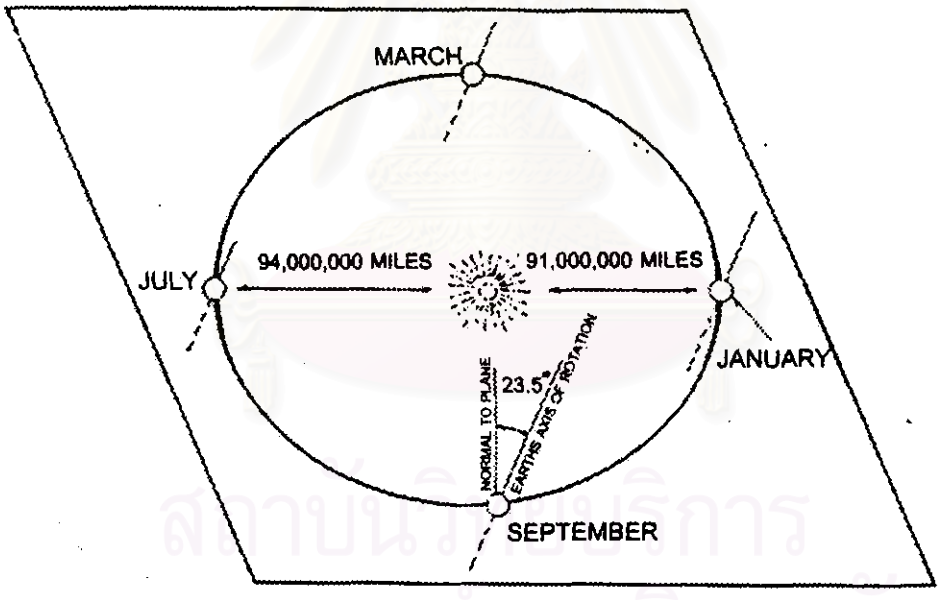
ค่าระหว่าง 3 -7 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

ค่าระหว่าง 7 -10 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)

## 2.7 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnatic Wave)แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.7.1 <u>การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation)</u> เกิดจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์แผ่รังสีในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแลกเปลี่ยนกับผิวโลกที่มีระยะห่างจากกัน 93 ล้านไมล์ เป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short-Wave Radiation) ในช่วงคลื่นรังสีอุลตร้าไวโอเลต (Ultraviolet region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.29 - 0.40 นาโนเมตร ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.4 - 0.7 นาโนเมตร และช่วงใกล้อินฟราเรด (The near infrared region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.7 - 3.5 นาโนเมตร โดยมีสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 7% , 39% และ 52% ตามลำดับ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่นอกบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่างอันเนื่องมาจากแกนโลกที่เอียง และวงโคจรของโลกที่มีลักษณะเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าสูงสุดประมาณ 1,418 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม (ASHRAE,1993)




**รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ที่วันเวลาต่าง ๆ**

2.7.2 <u>การแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก (Terrestrial Radiation)</u> เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกและวัตถุบนพื้นผิวโลกเป็นการแผ่รังสีคลื่นยาว(Long-wave Radiation) ในช่วงคลื่นเหนืออินฟราเรด (The far infra-red region) ในการพิจารณาการแผ่รังสีสามารถพิจารณาออกได้เป็น

**<u>รังสีตรงของดวงอาทิตย์</u>** ($I_D$ : Direct Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง

**<u>รังสีกระจายของดวงอาทิตย์</u>** ($I_d$ : Diffusse Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นรังสีดวงอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่ได้รับจากท้องฟ้าทั้งหมด

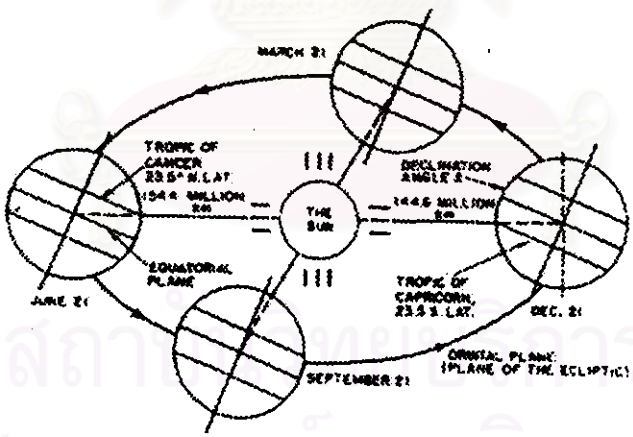
**<u>รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์</u>** ($I_r$ : Reflected Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับจากพื้นผิวที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับ

**<u>รังสีรวมของดวงอาทิตย์</u>** ($I_T$ : Total or Global Solar Radiation) คือพลังงานรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_T = I_D + I_d + I_r \qquad \text{BTU/ Hr.Sq.ft} \qquad (2.14)$$

จากการศึกษาประสิทธิภาพความสองสว่างต่อพลังงานที่ตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ (Treado and Gillete,1983) พบว่า รังสีกระจายของดวงอาทิตย์มีค่า 14 ลูเมนต่อวัตต์ รังสีตรงของดวงอาทิตย์มีค่า 105 ลูเมนต่อวัตต์ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (รังสีตรงและรังสีกระจาย) มีค่า 119 ลูเมนต่อวัตต์

2.7.3 **<u>เดคลีเนชั่น (Declination)</u>** คือมุมที่เกิดระหว่างแนวต่อศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตร โดยทางเหนือของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นบวก ทางใต้ของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ ซึ่งค่าจะอยู่ระหว่าง -23.45 ° ถึง 23.45 °




**รูปที่ 2.14 แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์และมุมเดคลีเนชั่น**

ที่มา : ASHRAE ,1993 Fundamental Handbook (SI),pp 27.10

2.7.4 **<u>ความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์</u>** (The Relationship between Daylight and Solar Radiation)

จากการวิจัย (Hopkinson,1966) พบความสัมพันธ์ว่า

1. ปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 Lumen / Watt ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25° และจะเท่ากับ 90 Lumen / Watt ที่มุมของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5° ถึง 25° ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆอีก เช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพบรรยากาศเป็นต้น

2. ความสัมพันธ์ของปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ (BTU/SQ.FT.) กับปริมาณความสว่างจากแสงสว่างของดวงอาทิตย์ (Footcandle) โดยวิธี Regression Equation เป็นสมการดังนี้

$$E = 104.8 + 31.007 * I \qquad (2.15)$$

โดยที่ E คือ ปริมาณความสว่างจากแสงสว่างของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็น Footcandle

I คือ ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ หน่วยเป็น BTU/Hr.SQ.FT.

ซึ่งความสัมพันธ์นี้ครอบคลุมในทุกๆสภาพของลักษณะท้องฟ้าที่ท้องฟ้าเดียวกัน มีค่าความถูกต้องในการกะประมาณ (R-Square) เท่ากับ 0.97 และค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error) เท่ากับ 9.7 footcandles

## 2.8 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

การให้ความสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงธรรมชาติ ในการพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติสามารถแยกพิจารณาได้ออกเป็น 2 แนวทาง คือ

การพิจารณาจากปริมาณค่าความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายในอาคารในตำแหน่งต่างๆพื้นที่ในความสูงที่กำหนดจากระดับพื้นห้องนั้นๆโดยวัดค่าความส่องสว่างออกมาเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล(Footcandal) หรือ ลักซ์ (Lux) ซึ่งค่าของความสว่างที่เกิดภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับเวลา ,ทิศทางการเปิดของช่องแสง ,สภาพของท้องฟ้า

การพิจารณาโดยอาศัยอัตราส่วนของระดับความส่องสว่างของภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance) ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Overcase Sky ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซนต์ (%) ซึ่งมีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาหรือทิศทางการเปิดของช่องแสง หากแยกการพิจารณาออกเป็นวิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงธรรมชาติโดยทั่วไปแยกออกเป็น 3 วิธี คือ

- Lumen Method
- Daylight Factor Method
- Flux Transfer Method

ซึ่งในการศึกษานี้จะกล่าวเพียงวิธี Lumen Method และ Daylight Factor Method เท่านั้น

2.8.1 Lumen Method เป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่งในระดับที่กำหนดภายในอาคารอันเนื่องมาจากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องเปิดหรือช่องแสงเข้ามาในขณะนั้นในบางครั้งอาจเรียกวิธีการนี้ว่า Lumen Input Method หรือ Total Flux Method การพิจารณามีความแตกต่างจากวิธีการ Daylight Factor Method ที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่หรือห้องขนาดใหญ่ เช่น โรงงาน (Biesele,1953) ซึ่งปริมาณของแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร และพื้นผิวภายในอาคารมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารน้อยมาก หมายถึงระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้วิธี Daylight factor ไม่ได้ หากห้องที่พิจารณามีพื้นที่ขนาดเล็ก ปริมาณแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร เช่นพื้นดิน และแสงสะท้อนจากพื้นผิวภายใน เช่น ผนัง ฝ้าเพดาน จะมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในห้องนั้นๆ จึงต้องพิจารณาโดยวิธี Lumen Method ซึ่งรวมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติเข้าไว้ด้วย

การพิจารณาแบบ Lumen Method ไม่จำเป็นต้องทราบค่าความส่องสว่างที่ทุกตำแหน่งภายในอาคาร โดยทั่วไปสามารถพิจารณาเพียง 3 จุด (Station Point หรือ SP.) ซึ่งอยู่กึ่งกลางห้องในแนวตั้งฉากกับช่องเปิด (*ดังรูปที่ 2.15*) และกำหนดเป็น SP.max , SP.mid และ SP.min

โดย SP.max คือตำแหน่งที่อยู่ห่างจากช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุตที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (ระดับ Working plane)

SP.mid คือตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของห้อง ที่ระดับความสูง Working plane

SP.min คือตำแหน่งที่อยู่ห่างจากผนังด้านตรงข้ามช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุตที่ระดับความสูงของ Working plane

ซึ่งค่าความส่องสว่างที่ได้กำหนดให้เป็น E max , E mid และ E min โดยที่

E max คือค่าความส่องสว่างรวม (absolute illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP.max

E mid คือค่าความส่องสว่างรวม (absolute illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP.mid

E min คือค่าความส่องสว่างรวม (absolute illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP.min

และมีการพิจารณาปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพการส่องสว่าง ดังนี้

ก.) ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดเหนือระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรของแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และท้องฟ้าที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสง ได้แก่

- ค่าความสว่าง และสภาพของท้องฟ้า
- มุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิด
- ปริมาณความเข้มของแสงแดด (Intensity of Sunlight) โดยไม่รวมแสงแดดที่ส่องเข้าสู่ภายในห้อง

ข.) ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดต่ำกว่าระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

- ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ clear หรือ overcast sky โดยที่กำหนดให้

  EGH,c คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ clear sky

  EGH,o คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky
- ค่าการสะท้อนแสงของดิน ($\rho$gr.)

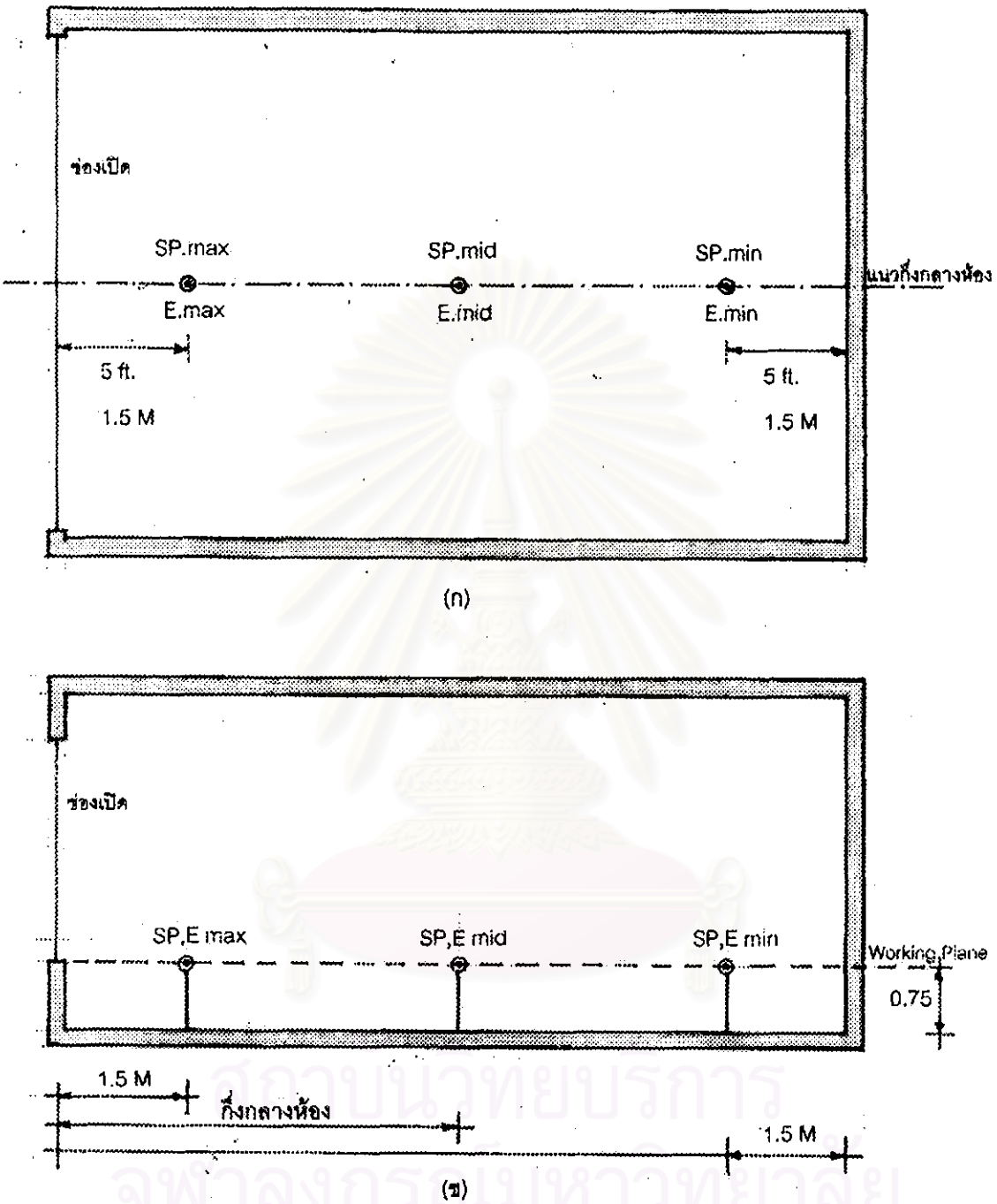
ค.) ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

- พื้นที่กระจกของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านได้ (Ag)
- ค่าการส่งผ่านแสงของวัสดุที่เป็นช่องแสง (Tg)
- อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ช่องแสงที่แสงสามารถส่องผ่านได้ต่อพื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด
- ความสกปรกของช่องแสงซึ่งมีผลต่อการส่องผ่านแสงอันเนื่องมาจากการสะสมของฝุ่น หรือ dirt collection (Dg)

ง.) ปริมาณแสงที่สามารถนำมาใช้งานและการกระจายของแสงในระดับ working plane โดยพิจารณาดังนี้

- การกระจายตัวของแสงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวของวัสดุภายในห้อง
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความสูงของช่องเปิด
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความยาว ต่อความสูงของห้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




**รูปที่ 2.15 แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี** Lumen Method

(ก) **ผังพื้นแสดงตำแหน่ง** Sp , E (ข) **รูปตัดแสดงตำแหน่ง** Sp ,E **ที่มา : คมกฤช ฐเกียรติมั่น**

การพิจารณาโดยวิธี Lumen Method ถือว่าระดับของช่องเปิดที่อยู่ในระดับเท่ากันหรือสูงกว่าระดับ working plane เท่านั้นที่จะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในระดับ working plane ส่วนช่องเปิดที่อยู่ระดับต่ำกว่าถือว่ามีผลน้อยมาก และความกว้างของช่องแสงถือว่ามีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติโดยวิธี Lumen Method มีสมการมาตรฐานในการคำนวณดังนี้

$$E_{sp} = E_{ev} * A_g * T_g * CU \quad \text{(2.16)}$$

โดย $E_{sp}$ คือ ค่าระดับความส่องสว่างภายในที่จุดใดๆที่พิจารณา

$E_{ev}$ คือค่าระดับความส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าหรือจากพื้นดินที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้ง

$A_g$ คือ พื้นที่ส่วนของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้

$T_g$ คือ ค่าการส่องผ่านของวัสดุของช่องเปิด

CU คือ Coefficient of Utilization หรือ ค่าความสามารถในการนำแสงมาใช้

อย่างไรก็ตามในการพิจารณาค่า CU สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ จุดใดๆในห้อง ต่อ ปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิด ซึ่งประกอบด้วยแสงที่เกิดจากท้องฟ้าและแสงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นดินดังนั้นค่า CU จะถูกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือ องค์ประกอบของขนาด รูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของห้องในระดับระนาบที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และองค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้อง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย K

ส่วนค่าการส่องสว่างภายนอก $E_{ev}$ จะพิจารณาเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกันคือ ค่าการส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าโดยมีทิศทางจากบนลงล่าง (downward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย $E_{gv}$ และ ค่าการส่องสว่างภายนอกอันเนื่องมาจากแสงสะท้อนจากพื้นดินมีทิศทางจากล่างขึ้นบน (upward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย $E_{gv}$

ดังนั้นค่า C และ K ก็จะถูกพิจารณาแยกตามการส่องสว่างภายนอก คือ Cs , Cg และ Ks , Kg ทำให้สมการที่ 2.16 กลายเป็น

$$E_{sp} = [E_{gv} * A_g * T_g * C_s * K_s] + [E_{gv} * A_g * T_g * C_g * K_g] \quad \text{(2.17)}$$

โดยที่ $C_s , C_g$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานตามความกว้าง , ยาว ของห้อง และค่าการสะท้อนแสงของผนัง ต่อ ปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้าและพื้นดิน ดูตารางภาคผนวก ฉ.

$K_s , K_g$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานตามความสูงฝ้าเพดาน และค่าการสะท้อนแสงของผนัง ต่อ ปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้าและพื้นดิน ดูตารางภาคผนวก ฉ.

เนื่องจากค่า C , K แปรผันตามขนาดของห้อง ดังนั้น การหาระดับความส่องสว่างที่จุดใดๆสามารถเทียบกับปริมาณแสงสว่างมาตรฐานที่ต้องการใช้งาน ทำให้ทราบว่า ณ จุดต่างๆภายในห้องมีแสงสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติเพียงพอหรือไม่ ซึ่งอาจต้องใช้แสงประดิษฐ์มาช่วยเสริมระดับความสว่างให้เพียงพอต่อการใช้งาน

ซึ่งค่า C ,K จะมีค่าคงที่ภายใต้สภาพท้องฟ้าหนึ่งๆ ดังนั้นในการพิจารณาค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจะต้องพิจารณาถึงลักษณะสภาพของท้องฟ้าแต่ละสภาพ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

ก. **สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky** ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้าและพื้นดิน หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล จากสมการที่ 2.16 จะหาได้จากสมการ

$$E_{s,o} = E_{GV,o} - [E_{GH,o} * 0.1] \quad (2.18)$$

$$E_{g,o} = E_{GH,o} * 0.1 \quad (2.19)$$

โดยที่ $E_{s,o}$ คือ ค่าความสว่างจากท้องฟ้าแบบ Overcast Sky ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

$E_{GV,o}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้า Overcast Sky

$E_{GH,o}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ

$E_{g,o}$ คือ ค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

ข. **สภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky** ไม่มีแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้าและพื้นดิน หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล จากสมการที่ 2.17 จะหาได้จากสมการ

$$E_{s,c} = E_{dv,c} \quad (2.20)$$

$$E_{g,c} = E_{GH,c} * 0.1 \quad (2.21)$$

โดยที่ $E_{dv,c}$ คือ ค่าความสว่างของแสงกระจายจากท้องฟ้าแบบ Clear Sky ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

$E_{GH,c}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ

$E_{g,c}$ คือ ค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดิน ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

ค. **สภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky** มีแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้าและพื้นดิน หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล จากสมการที่ 2.17 จะหาได้จากสมการ

$$E_{s,c} = E_{GV,c} - [E_{GH,c} * 0.1] \quad (2.22)$$

โดยที่ กรณีนี้พิจารณาโดยถือว่ามีการป้องกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

$E_{GH,c}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวระนาบ

$E_{GV,o}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้า Clear Sky

ง. **สภาพท้องฟ้าแบบ Uniform Sky** ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้าและพื้นดิน หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล จากสมการที่ 2.17 จะหาได้จากสมการ

กรณีที่พิจารณาโดยถือว่ามีการป้องกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

$$E_{s,u} = E_{gu} \quad \text{(2.23)}$$

กรณีที่พิจารณาสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky จะหาได้จากสมการ

$$E_{s,u} = 0.5 * E_{Gv} \quad \text{(2.24)}$$

2.8.2 Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นสภาพท้องฟ้าเป็นหลักซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่างและปริมาณความเข้มของแสง นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่แต่ละที่ (altitude ,azimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวัน และเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติ โดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบคือ

2.8.2.1 องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky componant)

2.8.2.2 องค์ประกอบภายนอก (Externally reflected componant)

2.8.2.3 องค์ประกอบภายใน (Internally reflected componant)

**องค์ประกอบจากท้องฟ้า** Sky componant (SC) โดยสภาพของท้องฟ้าจะเห็นได้ว่าเกิดขึ้นได้ในหลายสภาพ เช่นท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ(clear sky)หรือที่ปกคลุมด้วยเมฆจนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (completely overcast sky) เหล่านี้มีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น

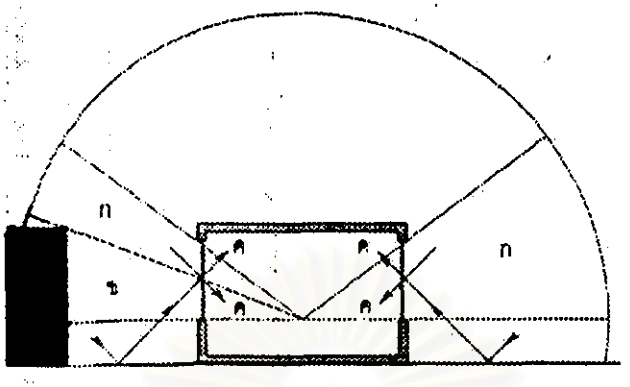
**องค์ประกอบภายนอก** Externally reflected componant (ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ(หรือ อาคาร)ที่ตั้งอยู่ภายนอกหรือบริเวณข้างเคียง แสงส่องผ่านเข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ

**องค์ประกอบภายใน** Internally reflected componant (IRC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ(หรือ อาคาร)ที่ตั้งอยู่ภายในอาคารโดยได้รับแสงจาก SC และ ERC และปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆเช่นเดียวกันกับ ERC

การกำหนดค่า DAYLIGHT FACTOR (D.F.) ก็คือค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใดๆต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพ clear sky ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (excluded direct sun) ค่าที่ได้เป็นค่าเปอร์เซนต์

$$\text{D.F. (\%)} = \frac{\text{ความสว่างภายใน}}{\text{ความสว่างภายนอก(ไม่รวมแสงแดดตรง)}} \times 100\%$$

เช่นหาก D.F. มีค่าเท่ากับ 10 % หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้นๆได้รับปริมาณแสงเท่ากับ 10% ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับ ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่โปร่ง ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ




**รูปที่ 2.16 แสดง DAYLIGHT FACTOR ก)องค์ประกอบจากท้องฟ้า( SC) ข)องค์ประกอบภายนอก เช่น อาคารข้างเคียง ( ERC) และ ค) องค์ประกอบภายใน (IRC)**

ที่มา ; Claude L.Robbins,Daylighting design & analysis,p 173

ถึงแม้ว่าค่า DAYLIGHT FACTOR (D.F.) นั้นไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของแสงที่แน่นอน แต่ก็สามารถเป็นตัวชี้ได้ว่า ค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ หรือการทำงานในชิ้นงานใดๆมีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ มีการกำหนดช่วงของค่า DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ (ดูตารางที่ 2.1 และ2.3 ประกอบ) เช่น

**ตารางที่ 2.1 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ**

| การใช้งาน | ค่า DF % |
|---|---|
| การอ่านหนังสือ การทำงานปรกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง | 1.5 - 2.5 |
| การอ่านหนังสือ หรือการที่ต้องใช้สายตาในที่ๆหนึ่งในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่อาจจะต้องมีอุปกรณ์บางอย่างเข้าช่วย ซึ่งไม่มีอันตรายมาก | 2.5 - 4.0 |
| สำหรับการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ที่อาจต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดอันตราย | 4.0 - 8.0 |

ที่มา : Millet and Bedrick (1980) อ้างถึงใน Machanical and Electrical Equipment fpr Building 8th Edition,pp 197

I18927668

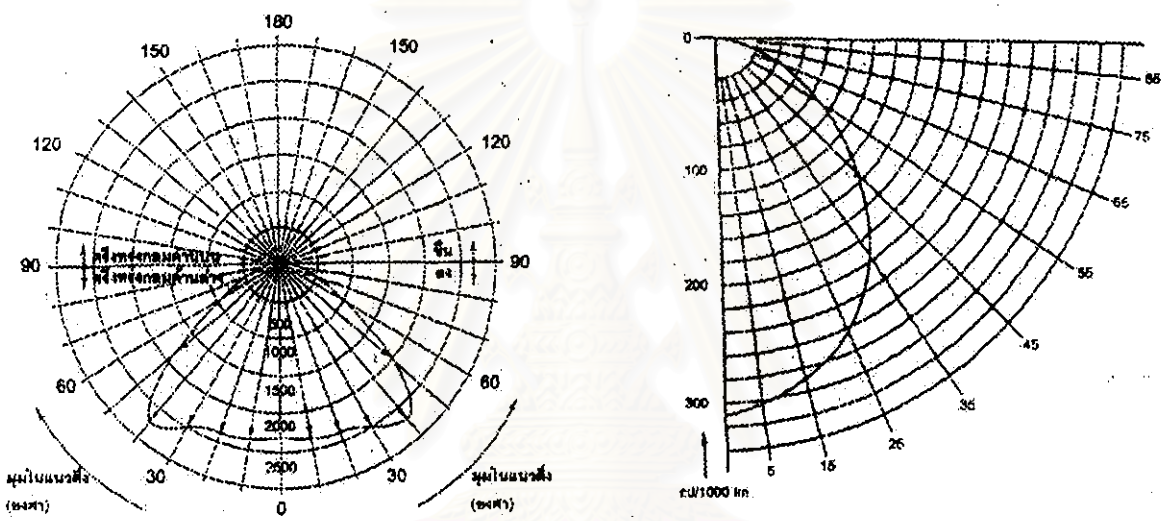
## 2.9 การให้แสงสว่างภายในอาคารโดยแสงประดิษฐ์

โดยทั่วไปมีวิธีการในการคำนวณ 2 วิธีการคือ Point by Point Method และ Zonal Cavity Method

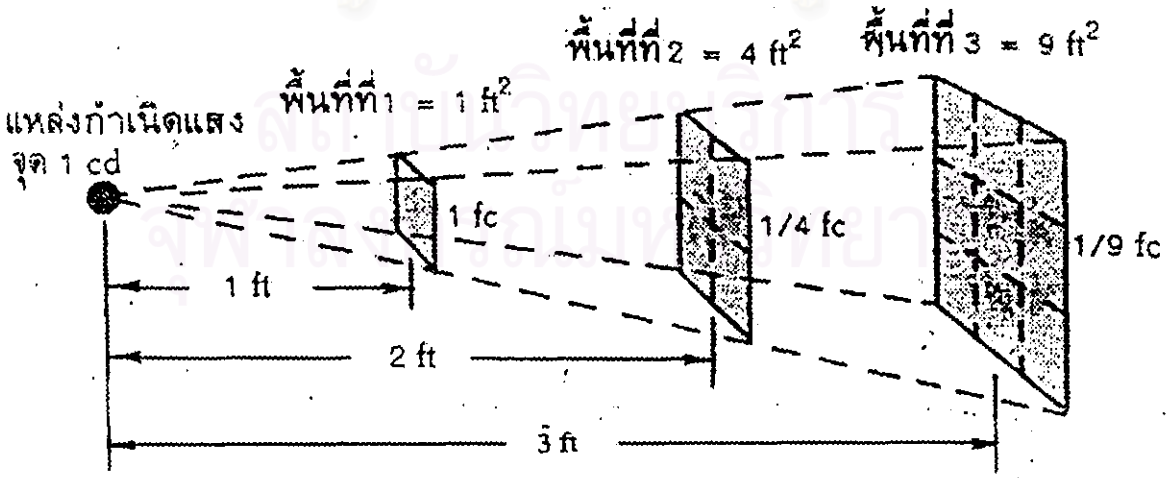
2.9.1 Point by Point Method เป็นวิธีการหาค่าระดับความสว่างที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยอาศัยกราฟแสดงการกระจายของกำลังเทียนและกฎกำลังสองผกผันหาค่าระดับความสว่างจุดที่พิจารณา จากนิยามของความส่องสว่าง สมการที่ 2.3 หากพิจารณาในรูปกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) จะเขียนเป็นสมการใหม่ดังนี้

$$E = I / D^2 * \cos \Theta \qquad (2.25)$$

โดยที่ $\cos \Theta$ คือ มุมตกกระทบของลำแสงที่เบนออกไปจากแนวตั้งฉาก




**รูปที่ 2.17กราฟแสดงการกระจายกำลังเทียนของดวงโคม**




**รูปที่ 2.18 รูปแสดงการพิจารณาค่าระดับความส่องสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน**

2.9.2 Zonal Cavity Method เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งห้องที่พิจารณา จากนิยามของความส่องสว่าง

$$E = L / A = \frac{\text{ปริมาณแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากดวงโคม (ลูเมน)}}{\text{พื้นที่ที่ต้องการพิจารณาระดับการส่องสว่าง (ตารางเมตร หรือ ตารางฟุต)}} \quad (2.26)$$

เนื่องจากเป็นการพิจารณาค่าเฉลี่ย แสงที่เปล่งออกมาจากดวงโคมกระจายทั่วห้อง บางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนถูกสะท้อน โดยฝ้าเพดาน ผนัง พื้น และวัสดุภายในห้อง ดังนั้นปริมาณแสงที่พิจารณาจะต้องพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบ 2 องค์ประกอบหลัก คือ องค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม (Light Loss Factor) และองค์ประกอบ ที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจาก ค่าการดูดกลืน การสะท้อนของวัตถุรอบๆ พื้นที่ที่พิจารณา (Coefficient of Utilization)

องค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม (LLF) มีหัวข้อที่พิจารณาดังนี้

ก) ฝุ่น หรือความสกปรกของ

- ความสกปรกของห้อง (Room Surface Dirt Depreciation) หรือ RSDD
- ความสกปรกของหลอด (Luminaire Dirt Depreciation) หรือ LDD
- ความสกปรกของโคม (Luminaire Surface Depreciation) หรือ LSD

ข) อายุการใช้งานของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation) หรือ LLD

ค) บัลลาสต์ (Luminaire Ballast factor ) หรือ LBF

ง) อุณหภูมิโดยรอบหลอด (Luminaire Ambient Temperature factor) หรือ LAT

จ) ระดับแรงดันกำลังไฟฟ้าของหลอด (Voltage to Luminaire factor) หรือ VLF

ฉ) การจุดติดของหลอด (Lamp Burnout factor) หรือ LBO

$$LLF = RSDD * LDD * LSD * LLD * LBF * LAT * VLF * LBO \quad (2.27)$$

โดย RSDD,LDD,LLD เป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตลอด หาได้จากตารางภาคผนวก

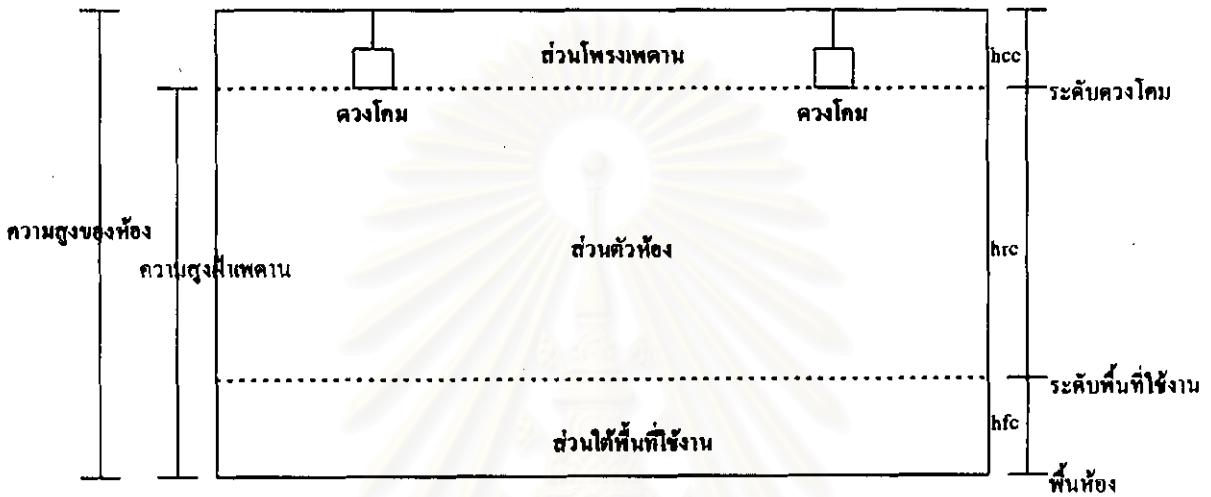
(LBF * LAT * VLF * LBO * LSD) โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1

ดังนั้นสมการที่ 2.26 จะเป็น

$$E = L / A * LLF \quad (2.28)$$

**องค์ประกอบ ที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป (CU)** เป็นค่าที่แสดงการนำแสงสว่างมาใช้งานจริง ซึ่งขึ้นอยู่กับความกว้าง ยาว สูงและคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง พื้น เป็นค่าที่หาได้จากการเปิดตารางการหาค่า CU พิจารณาโดยแบ่งห้องที่ต้องการหาค่าระดับความส่องสว่างออกเป็น สามส่วน (ZONAL CAVITY) ได้แก่

- ส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity) คือส่วนตั้งแต่เพดานจนถึงระดับดวงโคม หรือ ระดับความต่ำของดวงโคม
- ส่วนตัวห้อง (Room Cavity) คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับดวงโคมลงมาถึงระดับพื้นที่ใช้งาน หรือWorking Plane
- ส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (Floor Cavity) คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับพื้นที่ใช้งานลงมาถึงพื้นห้อง




**รูปที่ 2.19 การแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้องเพื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างตามวิธี Zonal Cavity Method**

และพิจารณาทั้งสามส่วนเป็น อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ในแนวดิ่งต่อพื้นที่ในแนวตั้ง หรืออัตราส่วนโพรง (Cavity Ration) ทั้งสามส่วนได้แก่

- อัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Ratio หรือ CCR)
- อัตราส่วนตัวห้อง (Room Cavity Ratio หรือ RCR)
- อัตราส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (Floor Cavity Ratio หรือ FCR)

โดยที่อัตราส่วนโพรงแต่ละค่าคำนวณได้จากความสูงของแต่ละส่วนที่สัมพันธ์กับความกว้าง (W) ยาว (L) ของห้อง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$CCR = 5\ hcc\ (W+L) / W * L \quad (2.29)$$

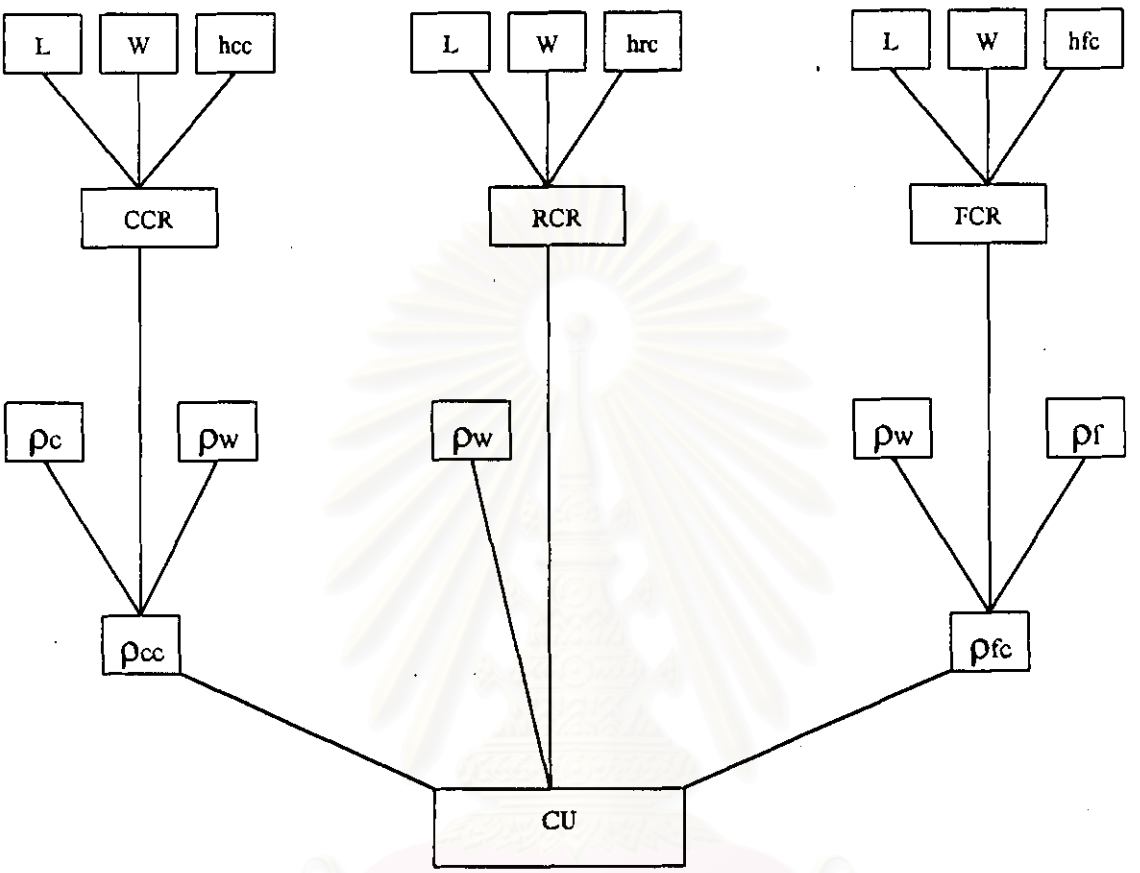
$$RCR = 5\ hrc\ (W+L) / W * L \quad (2.30)$$

$$FCR = 5\ hfc\ (W+L) / W * L \quad (2.31)$$

การคำนวณค่า CU มีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่า CCR, RCR และ FCR

2. หาค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน ( ρcc) ผนัง ( ρw) และพื้น ( ρfc)
3. หาค่า CU จากการเปิดตาราง ตามภาคผนวก หากค่าไม่ต้องใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อปรับค่า CU




**รูปที่ 2.20 ขั้นตอนการหาค่า** Coefficient of Utilization **จากแสงประดิษฐ์ตามวิธี** Zonal Cavity Method
**ที่มา : กนกวรรณ อุดันโน , วิทยานิพนธ์ 2539**

ดังนั้นสมการที่ 2.28 จะกลายเป็น

$$E = L / A * LLF * CU \qquad (2.32)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.10 ความร้อนอันเนื่องมาจากดวงไฟแสงสว่าง

จัดได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคารที่สำคัญที่สุด ส่วนหนึ่งเกิดในรูปของการพาความร้อนจากดวงโคม อีกส่วนเกิดในรูปของการแผ่รังสี ซึ่งจะกลายเป็นความร้อนภายหลังจากที่วัสดุต่างๆภายในห้องเช่น พื้น ผนัง ผ้าเพดาน เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ ได้ดูดกลืนรังสีไว้จนมีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ค่าความร้อนนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = W * \text{Use factor} * \text{Allowance factor} \quad (2.33)$$

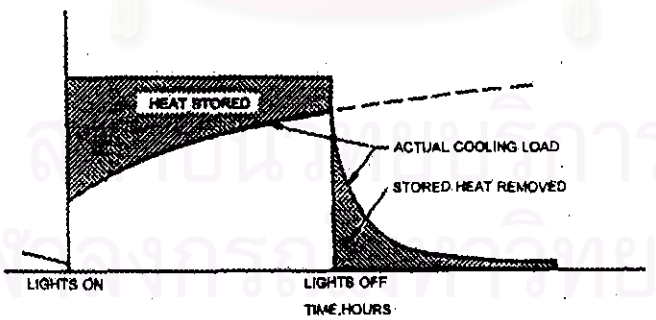
โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น Watt

W คือ จำนวนวัตต์ของดวงไฟทั้งหมด ในพื้นที่ที่พิจารณา

Use factor คือ อัตราส่วนจำนวนวัตต์ของดวงไฟที่เปิดใช้งานจริงต่อจำนวนวัตต์ของดวงไฟที่ติดตั้งทั้งหมดในพื้นที่ที่พิจารณา โดยทั่วไปมีค่า = 1.0

Allowance factor คือ ตัวคูณสำหรับความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้งานควบคู่กับดวงไฟเช่น Ballast ของหลอด Fluorescent โดยทั่วไปมีค่า = 1.20

ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงไฟส่วนที่ถูกดูดกลืนโดยวัสดุภายในห้อง หากไม่กลายเป็น ภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ในทันทีที่เปิดดวงไฟ ก็จะกลายเป็นภาระการทำความเย็นในเวลาถัดไปหลังจากปิดไฟ *(ดังรูปที่ 2.21)* ดังนั้นสำหรับอาคารปรับอากาศความร้อนที่เกิดจากดวงไฟจึงจำเป็นต้องมีตัวคูณ Cooling Load factor หรือ CLF ประกอบ ซึ่งหากอาคารมีการเปิดระบบปรับอากาศเฉพาะในช่วงที่มีการใช้งาน (เปิดแสงประดิษฐ์) ค่า CLF จะมีค่า เท่ากับ 1 (ASHRAE,1997)

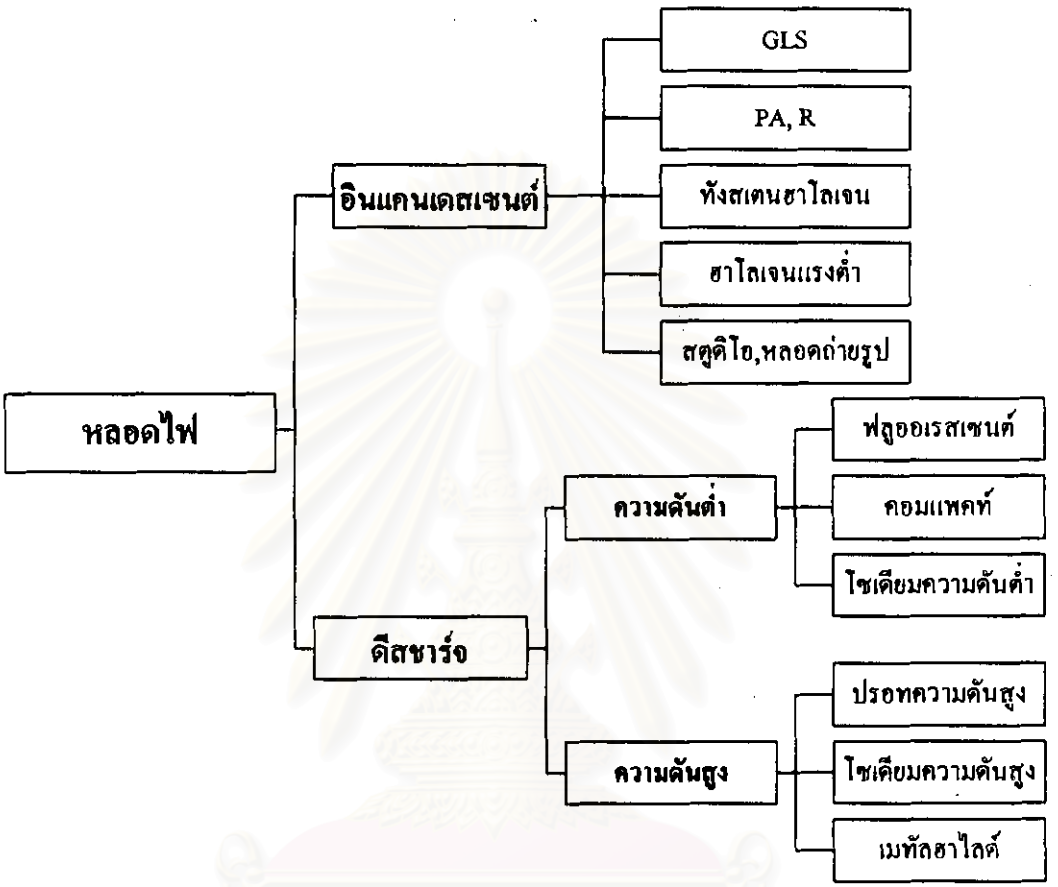



**รูปที่ 2.21 แสดงผลของ Thermal Storage ในการเกิด Cooling Load ของดวงโคมแสงสว่าง**

ที่มา : American Society of Heating, Refrigeranting and Air-Conditioning Engineering, Inc., (1997 ASHRAE Handbook Fundamentals SI Edition, 1997) pp.28.7

## 2.11 แสงประดิษฐ์ : หลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้ามีหลายประเภท แต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป และเมื่อจะนำไปใช้งานก็จะพิจารณาวัตถุประสงค์ของการใช้งานเป็นหลัก หากแบ่งประเภทของหลอดไฟฟ้าหลักๆจะแบ่งได้ดังนี้




**รูปที่ 2.22 ไดอะแกรมแสดงการแบ่งประเภทของหลอด**

ที่มา : ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ , เทคนิคการส่องสว่าง,หน้า 2-5

2.11.1 **อุณหภูมิสี** (Color Temperture) สีของแสงมักบอกกันด้วยอุณหภูมิสีทำให้สามารถเข้าใจได้ชัดเจนกว่าการบอกด้วยสีทั่วๆไปที่ทำกัน สีที่บอกด้วยอุณหภูมิสีเช่น 3500 เคลวิน หมายถึง สีที่เห็นเมื่อเผาวัตถุดำ (Black Body) ที่อุณหภูมิ 3500 เคลวิน วัตถุดำในที่นี้หมายถึงวัตถุที่มีการดูดซึมความร้อนไปได้ทั้งหมด ซึ่งเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิต่างๆก็จะให้สีต่างๆกัน เช่น (ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ , 2540)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2200 องศาเคลวิน | มีสี | เหลืองจัด | เทียบกับสีของหลอดโซเดียมความดันต่ำ |
| 2500 องศาเคลวิน | มีสี | เหลืองทอง | เทียบกับสีของหลอดโซเดียมความดันสูง |
| 2800 องศาเคลวิน | มีสี | เหลืองอ่อน | เทียบกับสีของหลอดอินแคนเดสเซนต์ |
| 3000 องศาเคลวิน | มีสี | เหลืองขาว | เทียบกับสีของหลอดฮาโลเจน |
| 3500 องศาเคลวิน | มีสี | เหลืองแดง | เทียบกับสีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดWarm White |
| 4000 องศาเคลวิน | มีสี | ขาวเย็น | เทียบกับสีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Cool White |
| 6500 องศาเคลวิน | มีสี | ขาวปนฟ้า | เทียบกับสีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Daylight |

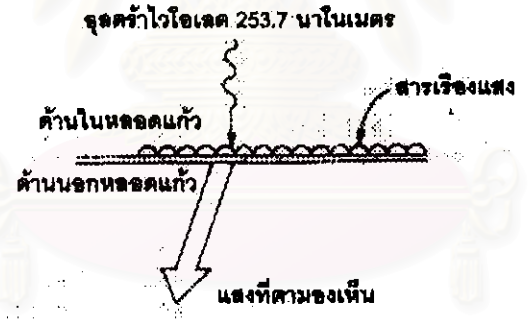
2.11.2 **ประสิทธิผล (Efficacy)** หมายถึงปริมาณแสงลูเมนต่อวัตต์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปให้หลอด หลอดที่มีประสิทธิผลมากก็หมายถึง ให้ปริมาณแสง(ลูเมน)ออกมาต่อวัตต์มาก

2.11.3 **ดัชนีความถูกต้องสี (Color Rendering Index - CRI)** เป็นตัวชี้ให้เห็นว่าสีที่เห็นเมื่อแสงส่องถูกวัตถุจะให้ความถูกต้องสีเป็นอย่างไรดัชนีดังกล่าวเรียกย่อๆตาม CIE ว่า CRI แสงที่มีค่า CRI 20 % หมายถึงเมื่อแสงนั้นส่องถูกวัตถุจะให้ความถูกต้องสีเพียง 20 % เท่านั้น หลอดที่มีค่า CRI สูง เช่น หลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดทังสเตนฮาโลเจน เป็นต้น

ในที่นี้จะกล่าวถึงหลอดไฟฟ้าเพียงหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดคอมแพคท์เท่านั้น

## 2.12 หลอดฟลูออเรสเซนต์

โดยทั่วไปการจุดติดของหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นอาศัยการปล่อยประจุไฟฟ้าระหว่างขั้วหัวและขั้วท้ายของอิเลคโทรด ภายในหลอดแก้วที่บรรจุด้วยก๊าซอาร์กอนและไอปรอทซึ่งมีความดันต่ำ ขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะเกิดการปล่อยประจุในก๊าซ หรือ gas discharge การปล่อยประจุดังกล่าวจะทำให้เกิดรังสีอุลตร้าไวโอเลตโดยการกระตุ้นอะตอมของไอปรอท เนื่องจากการกระแทกของอิเลคตรอนที่ได้รับการปล่อยออกมาจากขั้วอิเลคโทรด รังสีอุลตร้าไวโอเลตนี้จะไปกระตุ้นสารเรืองแสง หรือ phosphor ที่ฉาบไว้ด้านในของหลอดแก้วซึ่งจะเปล่งแสงสว่างในช่วงที่ตามองเห็นออกเป็นสีต่างๆขึ้นอยู่กับสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ ส่วนขั้วอิเลคโทรดที่นิยมใช้เพื่อการให้แสงสว่างจะเป็นขั้วแคโทดร้อน




**รูปที่ 2.23 แสดงรังสีอุลตร้าไวโอเลตกระตุ้นสารเรืองแสงที่ฉาบอยู่ด้านในหลอดทำให้เกิดแสงที่ตามองเห็น**

ที่มา : ธนบูรณ์ ศิริภาณุเดช , การออกแบบระบบแสงสว่าง , หน้า 72

2.12.1 **ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขั้วแคโทดร้อน** หลอดฟลูออเรสเซนต์ขั้วแคโทดร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

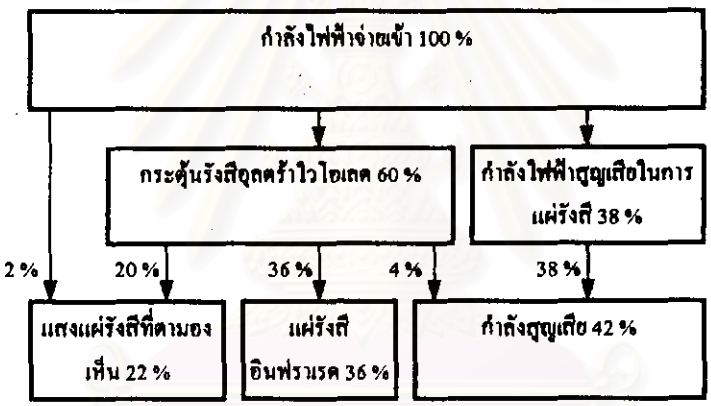
ก.) **หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดพรีฮีท (perheat)** หลอดชนิดนี้จะจุดติดได้ต้องทำการเผาไส้หลอดให้ร้อนเสียก่อนโดยจำเป็นต้องมีสตาร์ตเตอร์ การเผาไส้หลอดให้ร้อนก็เพื่อให้ความต้านทานภายในหลอดลดลงทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านขั้วหัวท้ายของหลอดได้ นอกจากนั้นยังต้องมีบัลลาสต์ทำหน้าที่สร้างไฟแรงสูงและควบคุมกำลังงานไฟฟ้าในขณะที่หลอดทำงาน ข้อเสียของหลอดชนิดนี้คือมีการกระพริบก่อนที่หลอดจะติดเนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งในการเผาไส้หลอด

ข.) **หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดอินสแตนสตาร์ต** (instant start) หรือเรียกอีกชื่อว่า หลอดสลิมไลน์ (slimline) พัฒนาจากหลอดชนิด ก. ให้ใช้เวลาในการจุดติดรวดเร็วและไม่มีการกระพริบ ไม่ต้องเผาไส้หลอดให้ร้อนจึงไม่จำเป็นต้องมีสตาร์ตเตอร์ แต่อาศัยบัลลาสต์ทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงระหว่างขั้วอิเลคโทรดทั้งสองข้าง

ค.) **หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแรพอิดสตาร์ต** (rapid start) เป็นหลอดที่ใช้เวลาในการจุดติดรวดเร็วและไม่มีการกระพริบ ไม่จำเป็นต้องมีสตาร์ตเตอร์ แต่อาศัยขดลวดในบัลลาสต์ทำหน้าที่เผาไส้หลอดไว้ตลอดเวลา และเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงระหว่างขั้วอิเลคโทรดทั้งสองข้างโดยแรงดันที่ช่วยให้หลอดจุดติดจะน้อยกว่าหลอดชนิด ข.

### 2.12.2 คุณลักษณะและขีดความสามารถของหลอดฟลูออเรสเซนต์

การกระจายพลังงาน จากกำลังไฟฟ้าที่ป้อน 100 เปอร์เซนต์ หลอดฟลูออเรสเซนต์จะให้แสงแผ่รังสีที่ตามองเห็น 22 เปอร์เซนต์ ดังรูปที่ 2.24

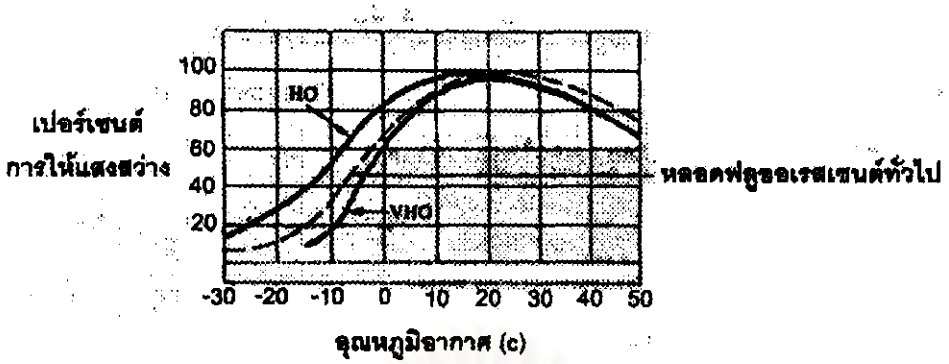



**รูปที่ 2.24 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์**

ที่มา : ธนบูรณ์ สิริภาณุเดช , การออกแบบระบบแสงสว่าง , หน้า 91

ผลของอุณหภูมิ หลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่ออุณหภูมิโดยรอบประมาณ 20 °C แต่ถ้าอุณหภูมิโดยรอบต่ำ ความดันของไอปรอทจะลดลง และกำลังงานที่ผลิตรังสีอุลตร้าไวโอเลตต่ำลงเป็นสาเหตุให้แสงสว่างลดลง *(ดังรูปที่ 2.25)* ในขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงก็จะผลิตความยาวคลื่นใกล้กับช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ทำให้ผลิตรังสีอุลตร้าไวโอเลตลดลง แสงก็ลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

ผลของความชื้น การจุดติดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ต้องอาศัยประจุไฟฟ้าสถิตรอบๆภายนอกหลอดแก้ว ความชื้นของอากาศภายนอกที่สูงกว่า 65 เปอร์เซนต์ ทำให้หลอดติดยาก




**รูปที่2.25 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป ประเภทให้แสงมาก (HO) และให้แสงมากที่สุด (VHO)** ที่มา : ธนบูรณ์ ศิริภาณุเดช , การออกแบบระบบแสงสว่าง , หน้า 91

## 2.13 หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent Lamp:CFL)

ใช้หลักการเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่เป็นหลอดที่ย่อขนาดตัวบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ให้มีขนาดกระทัดรัดลง การใช้หลอด CFL จะประหยัดมากเมื่อเทียบกับหลอดไส้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน,เอกสารเผยแพร่:หลอดฟลูออเรสเซนต์) แต่จะไม่ประหยัดไปกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ (18/36 W )ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เพราะ ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดไส้ หรือหลอดอินแคนเดสเซนต์ที่กินไฟมาก หลอด CFL มี 2 ประเภทคือชนิดที่มีบัลลาสต์สตาร์ทเตอร์ในตัวหลอด หรือหลอด SL และประเภทที่ต้องใช้บัลลาสต์ติดตั้งภายนอก เช่นหลอดตะเกียบ หรือหลอด PL

อย่างไรก็ตามหลอดดังกล่าวก็ไม่สามารถมาทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ได้ทั้งหมด เพราะ ความต้องการหลอดอินแคนเดสเซนต์ยังมีมาก เนื่องมาจากค่า CRI ที่สูงและสามารถหรี่ (dim) ได้และราคาหลอดอินแคนเดสเซนต์ก็ยังถูกอยู่มาก การหรี่หลอดคอมแพคท์ในปัจจุบันสามารถทำได้ถ้าหากใช้สวิตช์ไฟหรี่โดยเฉพาะ และหลอดที่ใช้ต้องเป็นหลอดบัลลาสต์อิเลคโทรนิกส์เท่านั้น (ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ,2540)

## 2.14 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง

ในการกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆกันนั้น มีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA) IES (BS) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอย และสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) CIE กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่าโดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ เช่น

- ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปรกติให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองอาจทำให้เกิดปัญหาร้ายแรง หรือเสียหายมากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างในตารางมากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่าง ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าผู้ที่ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

**ตารางที่ 2.2ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) ตามประเภทการใช้งาน**

| พื้นที่ใช้งาน (ก) | CIE (lx) | IES (lx) | พื้นที่ใช้งาน (ข) |
|---|---|---|---|
| ทางเดิน,พื้นที่ทำงานภายนอก | 20 - 30 - 50 | 20 - 30 - 50 (a) | Public spaces with dark Surrounding |
| ทางเดินภายในและการผ่านระยะสั้น | 50 - 75 - 100 | 50 - 75 - 100 (a) | Simple orientation for shot temporary visits |
| ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน | 100 - 150 - 200 | 100 - 150 - 200 (a) | Working space where visual tasks are only occasionally performed |
| งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่นโรงงาน งานชิ้นใหญ่ | 200 - 300 - 500 | 200 - 300 - 500 (b) | Performance of visual tasks of high contrast or Large size |
| งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน | 300 - 500 - 750 | | |
| งานที่ใช้สายตามาก เช่นการเขียนแบบ | 500 - 750 - 1000 | 500 - 750 - 1000 (b) | Performance of visual tasks of medium contrast or Small size |
| งานที่ใช้สายตามากๆเช่นการประกอบชิ้นส่วน | 750 - 1000 - 1500 | | |
| งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ | 1000 - 1500 - 2000 | 1000-1500-2000 (b) | Performance of visual tasks of low contrast or Very small size |
| งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่นการผ่าตัด | มากกว่า 2000 | 2000-3000-5000 (x) | Performance of visual tasks of low contrast and very small size ,Prolonged period |
| | | 5000-7500-10000 (x) | Performance of very prolonged and exacting visual tasks |
| | | 10000 up (x) | Performance of very special visual tasks of extremly low contrast and small size |

ที่มา: (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ,เทคนิคการส่องสว่าง,หน้า 1-8 (ข) IES. Illuminating Engineering Society : Reference Volume,1983,ppA3

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล แล้ว การกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซนต์ (%)

**ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า DAYLIGHT FACTOR ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)**

| พื้นที่ใช้งาน | ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน CIE (ก) | ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES (ข) | ค่า Daylight Factor (%),(ค) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | เฉลี่ย | ต่ำ | จุดที่วัด |
| อาคารทั่วไป | | | | | |
| ทางเดิน | 50 - 100 - 150 | 50 - 75 - 100 | 2 | 0.6 | พื้น |
| บันได - บันไดเลื่อน | 100 - 150 - 200 | 100 - 150 - 200 | 2 | 0.6 | ลูกนอน |
| ที่เก็บของ , ห้องเก็บของ | 100 - 150 - 200 | 100 - 150 - 200 | 1.5 | 0.5 | work plane |
| ห้องน้ำ | 100 - 150 - 200 | 100 - 150 - 200 | 1.5 | 0.5 | work plane |
| สำนักงาน | | | | | |
| พื้นที่ทั่วไป , พิมพ์ดีด , คอมพิวเตอร์ | 300 - 500 - 750 | 500 - 750 - 1000 | 5 | 2.5 | work plane |
| เขียนแบบ | 500 - 750 - 1000 | 500 - 750 - 1000 | 5 | 2.5 | work plane |
| ห้องประชุม | 300 - 500 - 750 | 200 - 300 - 500 | | | |
| โถงทางเข้า | | 100 - 150 - 200 | 2 | 0.6 | work plane |
| ห้องสมุด | | | | | |
| หิ้งหนังสือ | 150 - 200 - 300 | 200 - 300 - 500 | 5 | 1.5 | vertical |
| โต๊ะอ่านหนังสือ | 300 - 500 - 750 | 200 - 300 - 500 | 5 | 1.5 | work plane |
| เคาน์เตอร์ | 200 - 300 - 500 | 200 - 300 - 500 | 5 | 2 | work plane |
| ห้องประชุม | | | | | |
| เอนกประสงค์ | 150 - 200 - 300 | 200 - 300 - 500 | 5 | 2.5 | work plane |

ที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ,เทคนิคการส่องสว่าง,หน้า 1-6

(ข) IES, Illuminating Engineering Society : Reference Volume,1983

(ค) BSI Draft for Development p 73,อ้างถึงใน Applications Manual window Design หน้า31

## 2.15 การประมาณอัตราการใช้พลังงานในอาคาร

เกณฑ์ในการพิจารณาอัตราการใช้พลังงานในอาคาร จากการศึกษา (Lawrence G. spielvogel,1982) แยกการพิจารณาออกเป็น 2 แนวทางคือ การตรวจวัดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร ซึ่งเป็นการพิจารณาจากหน่วยพลังงานที่ใช้จริงในแต่ละเดือนของอาคาร (Top-down apprpach) และจากวิธีการคำนวณอัตราการใช้พลังงานโดยอาศัยการกำหนดช่วงเวลาการใช้งาน และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภท (Bottom-up approach)

การพิจารณาโดยหลักการ Top-down approach นั้นหากไม่ได้มีการกำหนดการตรวจวัดหน่วยพลังงานที่ใช้ในแต่ละส่วนจะทำให้ไม่สามารถแยกได้ว่าในแต่ละส่วนของการใช้พลังงานในอาคารมีปริมาณเท่าใด ส่วนการใช้วิธี Bottom-up approach นั้นอัตราพลังงานที่คำนวณได้จะมีอัตราที่สูงกว่าการใช้งานจริงของอาคารเนื่องจากการกำหนดช่วงเวลาการใช้งานที่แน่นอน