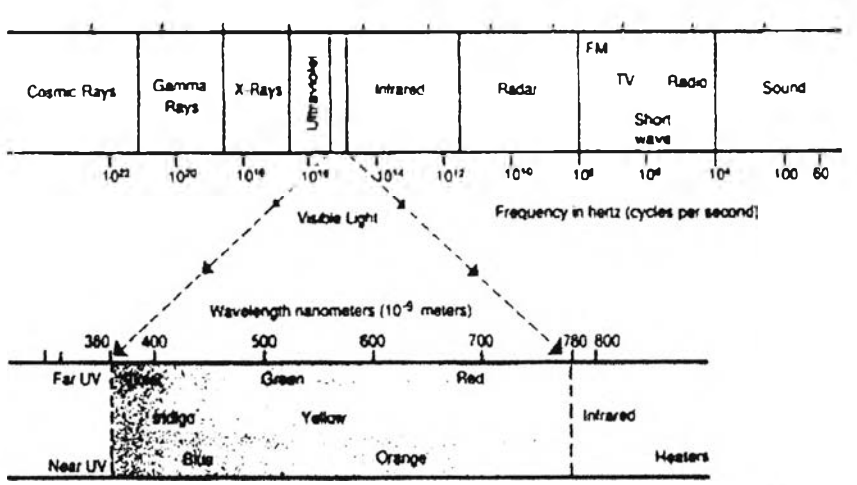
# บทที่ 2

## ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

แสงเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่มีความสำคัญต่อการมองเห็น ซึ่งจะทำให้เรามองเห็นรูปร่าง (Shape) สี (Color) รูปทรง (Form) พื้นผิว (Texture) และระยะของสิ่งที่เรามอง ความสามารถในการรับรู้หรือการมองเห็นได้ ขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของแสง

### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือความถี่หรือความยาว คลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม , 2521) หากเราพิจารณา แสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) ในคุณสมบัติของคลื่น แสงจะมีคุณสมบัติของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (micron) หรือ 380–760 นาโนเมตร (nanomaters) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าวเมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา จะมีการกระตุ้นของพลังงานกับประสาทตาปกติ ทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา

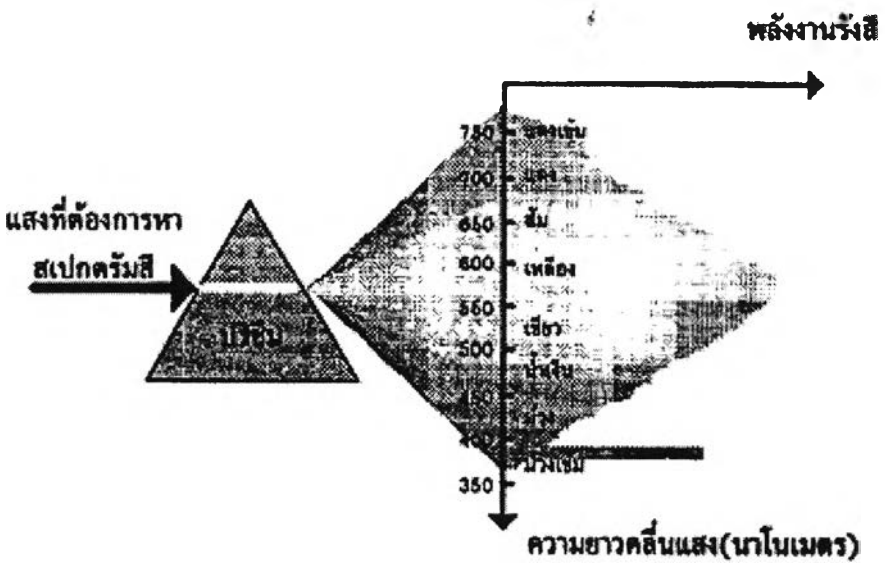



*Electromagnetic spectrum. See Chapter 19 for chromaticity diagrams of various light sources.*

**รูปที่ 2.1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่าง ๆ**

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp 912

แสงที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380 - 760 นาโนเมตร (Manometers) ประกอบด้วยสเปกตรัม (Spectrum) ของสีหลาย ๆ สีจากความถี่ และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน พลังงานในช่วงดังกล่าวนี้ช่วยในการมองเห็น หรือเรียกว่า Visible Light ซึ่งความเข้มแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป จะหาได้จากการผ่านแสงในช่วงที่ต้องการทดสอบผ่านปริซึม เพื่อให้เกิดการหักเหแสงของความยาวคลื่นต่าง ๆ ก็จะทราบว่าแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ประกอบคลื่นความยาวแสงอะไรบ้าง และแต่ละความยาวคลื่นของแสงมีความเข้ม ที่แตกต่างกันอย่างไร ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีการหักเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสง จะเป็นตัวแสดงว่าแสงสีไหนมีมากกว่ากัน เช่น ถ้าแสงมีสีน้ำเงินมาก เมื่อส่องไปกระทบวัตถุที่มีสีน้ำเงินก็จะทำให้วัตถุสีน้ำเงินนั้นไม่เด่น แต่ถ้าวัตถุนั้นมีสีแดง และแสงที่ตกกระทบวัตถุเป็นสีแดงเข้ม วัตถุสีแดงก็จะเด่นขึ้นมาทันที เนื่องจากสีแดงมีความเข้มของแสงมาก ดังนั้นถ้าต้องการให้แสงทีส่องถูกวัตถุทุกสีเด่นก็ต้องมีสเปกตรัม ของสีที่มีความเข้มมาก แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มหมด เมื่อนำไปส่องวัตถุใดวัตถุนั้นก็จะเด่นทั้งหมด สีม่วงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด และสีแดงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด ดังที่เห็นได้จากการทดลองส่องแสงผ่านปริซึมเป็นสีรุ้ง ช่วงความยาวคลื่นที่ยาวกว่าสีแดง คือรังสีอินฟราเรด (Infrared) และคลื่นที่สั้นกว่าสีม่วงคือ รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์ (X-ray)




**รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น เกิดการหักเหไม่เท่ากัน ของความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน**

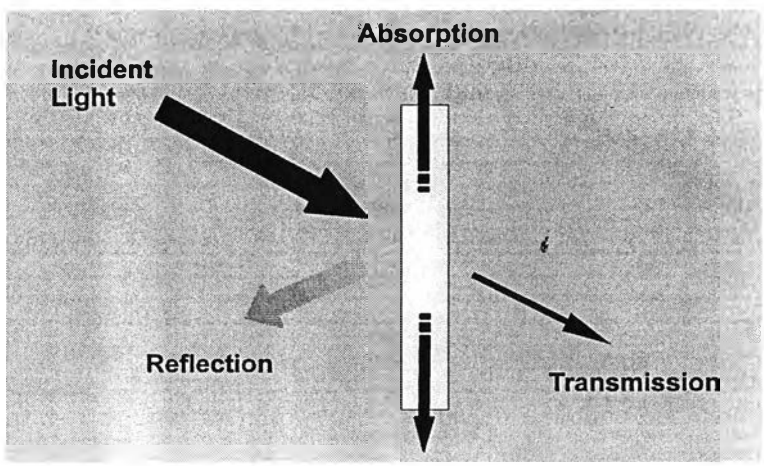
ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , pp 1-20

แสงมีแหล่งกำเนิดที่ใหญ่ที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงทางตรง ได้แก่ แสงแดดหรือ Sunlight และแสงที่เกิดจากการส่องกระทบอนุภาคในชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้สะท้อน หักเห และให้แสงในลักษณะกระจายทั่วพื้นที่หรือ Diffuse Light และเมื่อแสงส่องกระทบวัตถุใดๆ จะสะท้อนแสงทำให้วัตถุนั้นเกิดความส่องสว่าง ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (Secondary source) ซึ่งอาจให้แสงในลักษณะที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการสะท้อนหรือการยอมให้แสงส่องผ่าน ตลอดจนลักษณะของพื้นผิวของวัตถุที่แสงตกกระทบ

## 2.2 **พฤติกรรมแสง** (Physical of Light)

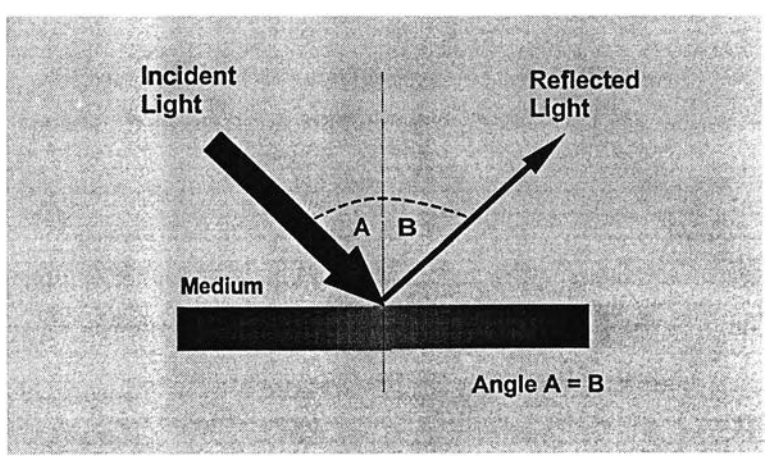
เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดสู่ตัวกลางชนิดต่าง ๆ นับตั้งแต่อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบ จะมีพฤติกรรมต่าง ๆ กันออกไป กล่าวคือ การเดินของแสงจะถูกเปลี่ยนไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น โดยจะทำให้เกิดพฤติกรรมต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 **การสะท้อน** (Reflection) เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงกระทบตัวกลางและสะท้อนออก โดยที่ความถี่ของคลื่นแสงไม่มีเปลี่ยนแปลง การสะท้อนของแสงที่ตกกระทบลงบนตัวกลางที่มีพื้นผิวที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้เกิดการสะท้อนในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้




**รูปที่** 2.3 **พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ**

- การสะท้อนแบบกระจกเงา (Specula Reflection) เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงกระทบตัวกลางและสะท้อนตัวออก ถ้าแผ่นตัวกลางเป็นผิวเรียบขัดมัน(Specula) มุมตกกระทบ (Incident Angle) จะเท่ากับมุมสะท้อน (Reflected Angle)

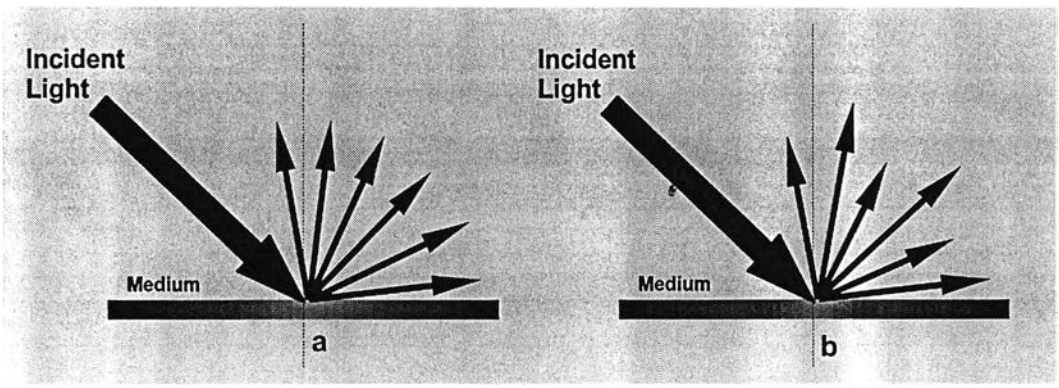



**รูปที่** 2.4 **การสะท้อนของแสงแบบ** Specula Reflection

- การสะท้อนแบบกระจาย (Diffusion Reflection) เป็นรูปแบบของปรากฏการณ์คล้ายกับการสะท้อน แต่แผ่นตัวกลางมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ เช่น ผิวหยาบ เป็นต้น ทำให้มุมตกกระทบ (Incident Angle) จะไม่เท่ากับมุมสะท้อน (Reflected Angle) แสงที่สะท้อนออกมาจะเกิดการกระจายตัวไปในหลายทิศทาง ใน 3 ลักษณะ ดังนี้

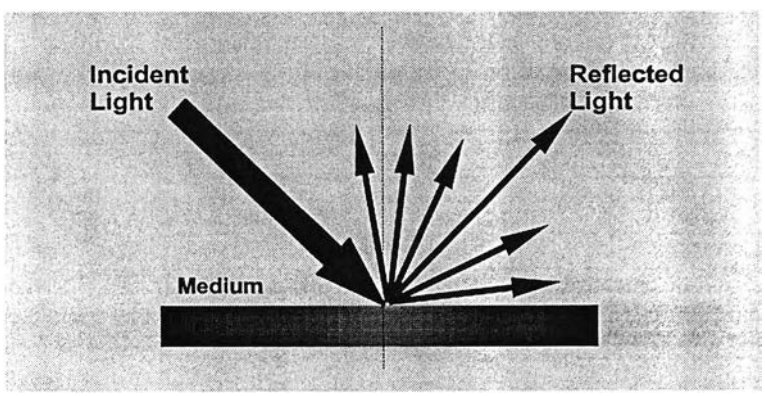
Perfectly Diffuse Reflection คือ การที่แสงสะท้อนออกจากวัตถุมีการกระจายแสงที่ให้ความสว่างเท่าๆ กันในทุกมุมสะท้อน เมื่อผิววัตถุมีลักษณะไม่เรียบสม่ำเสมออย่างสมบรูณ์

Semi Diffuse Reflection **หรือ** Spread Reflection คือ การที่แสงสะท้อนออกจากวัตถุมีการกระจายแสงที่ให้ความสว่างแบบกระจัดกระจาย เมื่อผิววัตถุมีลักษณะไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอกัน




**รูปที่** 2.5 **การสะท้อนของแสงแบบกระจาย** (Diffuse Reflection)
(a) **การสะท้อนแบบกระจกเงา** Perfect diffuse reflection
(b) **การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย** Semi diffuse reflection

Combined Specula and Diffuse Reflection คือ การที่แสงสะท้อนออกจากวัตถุมีการกระจายแสงที่ผสมกันระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงา (Specula Reflection) และ การสะท้อนแบบกระจาย (Diffusion Reflection) ซึ่งเป็นลักษณะการสะท้อนของแสงส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจริง




**รูปที่** 2.6 **การสะท้อนของแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงา และแบบสะท้อนกระจาย**

2.2.2 **การส่องผ่าน** (Transmission) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงพุ่งชนตัวกลางแล้วทะลุผ่านออกไปอีกด้านหนึ่ง เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่แสงสามารถส่องผ่านได้ใด ๆ แสงส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับไป ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน และส่วนที่เหลือจะทะลุผ่าน โดยที่ปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับไปรวมกับปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่านตัวกลาง สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

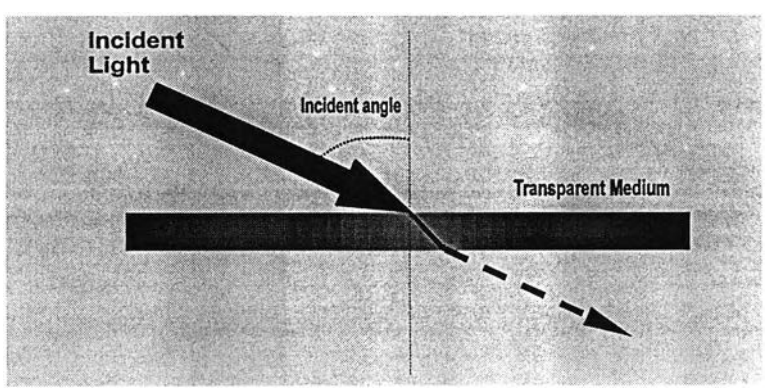
**ปริมาณแสงทั้งหมด = ปริมาณแสงที่ถูกดูดซึม + ปริมาณแสงสะท้อน + ปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่าน**
(Absorption) (Reflection) (Transmission)

เมื่อ ปริมาณแสงทั้งหมด = 1

การที่แสงส่องผ่านตัวกลางผิวเรียบจะทำให้เกิดการหักเห (Refraction) หรือเปลี่ยนทิศทางของแสงในขณะที่เดินทางผ่านทะลุตัวกลาง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง ซึ่งเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน แสงในแต่ละตัวกลางจะมีความยาวคลื่น และความเร็ว (v) แตกต่างกัน โดยความถี่ของคลื่นแสงจะมีค่าคงที่เสมอ และจะเกิดการหักเห

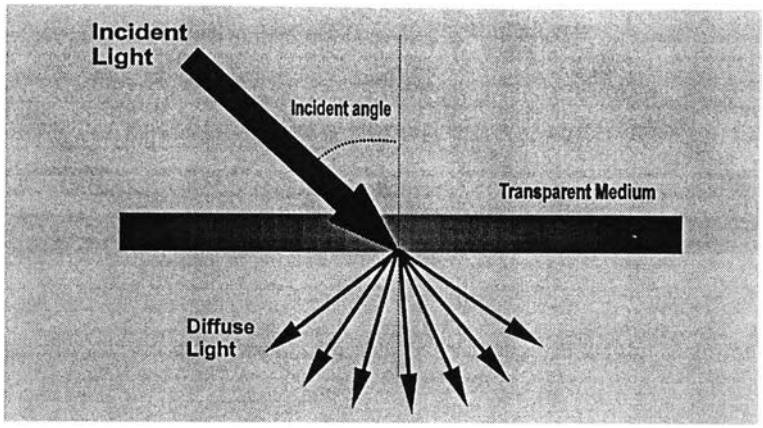
ความแตกต่างของคุณสมบัติของตัวกลางที่แสงส่องผ่านจะทำให้พฤติกรรมการหักเหของแสงแตกต่างกันออกไป เนื่องจากค่าดัชนีการหักเหของวัตถุแตกต่างกัน ดังนี้

Transparent Medium ตัวกลางโปร่งใส เช่น กระจกใส เป็นต้น การส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางนี้จะเกิดการหักเหของแสง (Refracted) หรือเกิดการเปลี่ยนทิศทาง (Bend) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านตัวกลางในมุมเดิมของแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงอีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน




**รูปที่ 2.7 แสงตกกระทบตัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน**

Translucent Medium ตัวกลางโปร่งแสง การส่องผ่านของแสงผ่านตัวกลางนี้ แสงที่ทะลุผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจาย (Diffuse Transmission) โดยจะไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงอีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน




**รูปที่ 2.8 แสงทะลุผ่านตัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย**

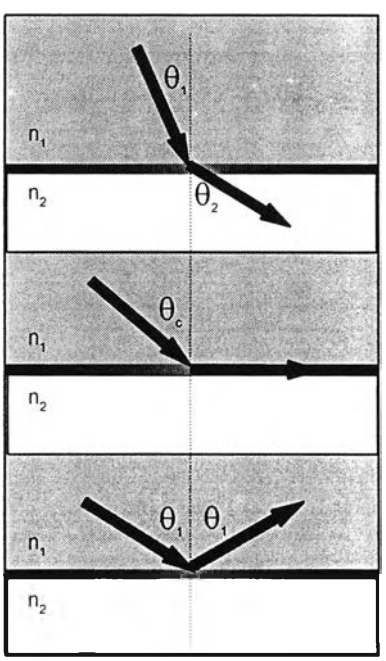
เมื่อแสงหักเหผ่านตัวกลาง 2 ชนิด ถ้ามุมตกกระทบน้อย แสงก็จะทะลุผ่านตัวกลาง (a) ถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากขึ้นถึงค่าหนึ่ง แสงก็จะไม่ผ่านตัวกลาง และไม่มีการสะท้อนกลับ ซึ่งมุมที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า มุมวิกฤต (Critical angle) (b) และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต แสงที่ตกกระทบจะสะท้อนกลับโดยไม่มีการผ่านตัวกลาง (c) โดยความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อน สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ $n_1 . n_2$ = ดัชนีการหักเหของแสง ของวัสดุ 1 และ 2 ตามลำดับ

$\theta_1$ = มุมตกกระทบของแสง

$\theta_2$ = มุมสะท้อนของแสง




(a) $n_1 > n_2$ มุม $\theta_1$ มีค่าน้อย
แสงจะผ่านตัวกลางที่น้อยและหักเห

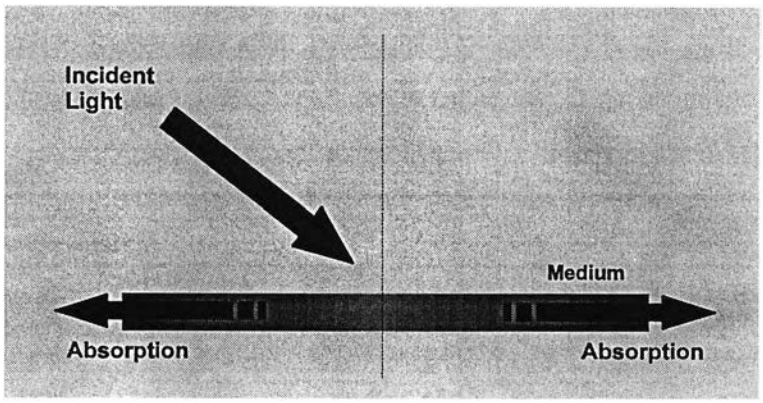
(b) $\theta_c$ เป็นมุมวิกฤต
แสงจะไม่หักเหหรือสะท้อน

(c) $\theta_1 > \theta_c$ มุม $\theta_1$ มากเกินไป
แสงสะท้อนกลับ

**รูปที่ 2.9 การหักเหหรือการสะท้อนแสงผ่านตัวกลาง ที่มุมตกกระทบต่าง ๆ**

ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติ ,2540:1-19.

2.2.3 **การดูดกลืน** (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง เช่น การฉายแสงสีขาวลงบนวัตถุสีเขียว แสงสีอื่นจะถูกกลืน ยกเว้นแสงสีเขียวเท่านั้น ที่สะท้อนออกมาสู่ตาเรา โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกกลืน มันจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

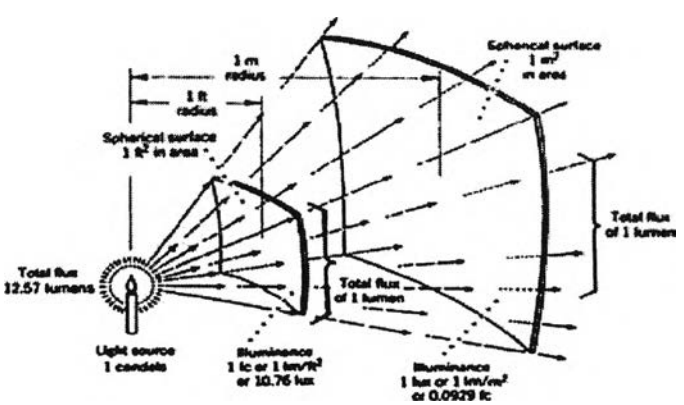



**รูปที่** 2.10 **การดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง**

## 2.3 **ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง** (Illuminance Theory)

แหล่งกำเนิดแสงส่องแสงออกมา และตกกระทบกับวัตถุหรือพื้นที่ใด ๆ จะส่งผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา จะทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นที่แสงสะท้อนออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่มีการสะท้อนของแสง ก็จะไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้น ๆ ได้ ซึ่งปริมาณแสงที่ตกกระทบกับวัตถุ หรือตกกระทบพื้นที่นั้น ๆ เรียกว่า การส่องสว่าง หรือความสว่าง (Illuminance) ของแสง

2.3.1 **ปริมาณแสง** (Luminous Flux) เป็นการบอกค่า พลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่าง หรือกำลังการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Power of Light Source) ในรูปของเส้นแรงปริมาณแสงที่เปล่งแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen)




**รูปที่** 2.11 **ปริมาณการส่องสว่าง** (Luminous flux)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , page 915

2.3.2 Solid angle ($\omega$) เป็นการวัดพื้นที่ผิวของทรงกลม ที่ถูกครอบคลุมด้วยพื้นที่หนึ่งหน่วยที่สมมติเป็นทรงกรวย โดยมีส่วนแหลมสุด หรือโคนของกรวยที่จุดกำเนิดแสงหรือศูนย์กลางของวงกลมนั้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้น ๆ ยกกำลังสอง 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

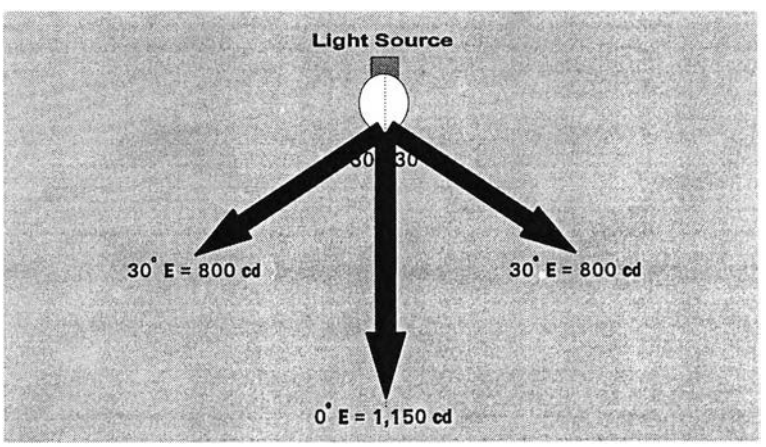
$$\text{Solid angle } (\omega) = A / R^2 \text{ steradian} \quad \ldots\ldots (2.2)$$

เมื่อ A = พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

R = รัศมีของทรงกลม

2.3.3 **ความเข้มแห่งการส่องสว่าง** (Luminous Intensity) การที่แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยแสง (Luminous Flux) ออกมาทุกทิศทาง ปริมาณของแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดวัดใน Solid Angle ใด ๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง นั่นคือความเข้มแห่งการส่องสว่าง หรือกำลังส่องสว่าง (candlepower) มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อสเตอเรเดียน (lumen per steradian) หรือแคนเดลา (Candela, cd) ค่านี้เป็นการบอกความมากน้อยของปริมาณแสงในทิศทางต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ

เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมากจนถือว่าเป็นเสมือนจุด (Point source) และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งออกมาและตกกระทบบนทุก ๆ หนึ่งตารางหน่วยของพื้นที่ทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน พื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งแสงออกมาได้เป็นปริมาณเท่ากับ 12.57 ลูเมน




**รูปที่ 2.12 ความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง**

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แคนเดลา (Candela) ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้ม ของการส่องสว่างบนพื้นผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลตินั่ม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุม ที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

2.3.4 **ความส่องสว่าง** (Illuminanace) หมายถึง ความสว่างของปริมาณแสง 1 หน่วย ที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใดๆ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit of area) หรือ ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร (หรือ ต่อ 1 ลักซ์) ซึ่งเป็นการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงภายในวงกลม เมื่อทรงกลมนั้นมีรัศมี 1 ฟุตหรือ 1 เมตร ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งตกกระทบลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่ได้จะเท่ากับหนึ่งลูเมนต่อตารางฟุต (1 foot-candle) หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (foot-candle) ในทำนองเดียวกัน หากทรงกลมนั้น มีขนาดรัศมีจะเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตรหรือ 1 ลักซ์ โดยที่

1 Lux = 10.76 footcandle (**หรือประมาณ 10 ฟุตแคนเดิล**)

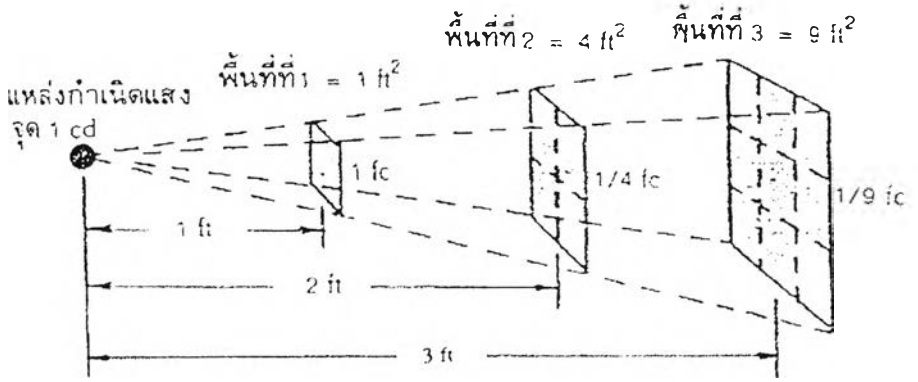
2.3.5 **การส่องสว่าง** (Illumination) เป็นค่าการส่องสว่างของแสง บนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงและจะแปรผกผันกับระยะห่างกำลังสอง ที่เกิดจากระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า *กฎกำลังสองผกผัน* (Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (foot-candle) มีสมการดังนี้

$$E = I / d^2 \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ E = ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc)

I = ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)

d = เป็นระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณา กับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร หรือฟุต



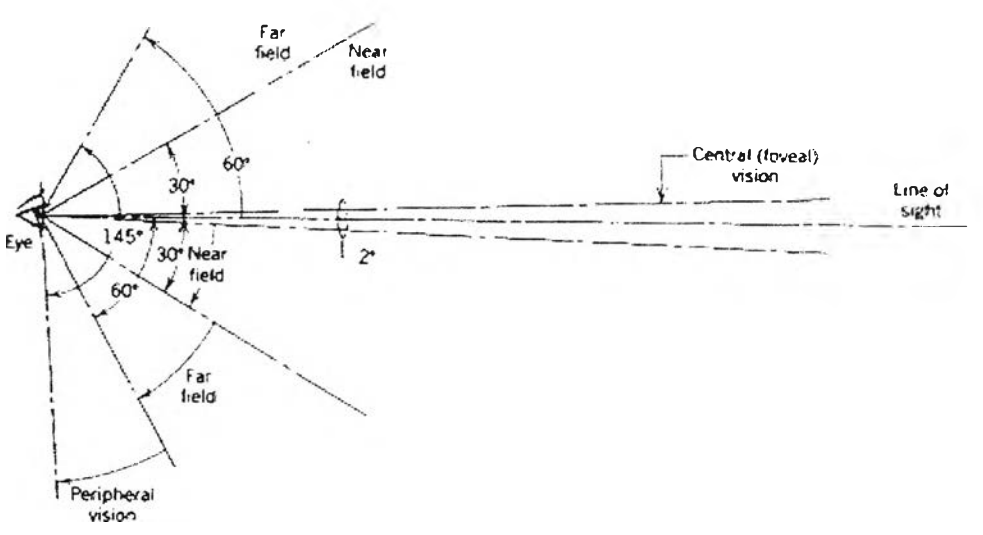

**รูปที่** 2.13 **แสดงปริมาณการส่องสว่าง** 1 cd **ที่ระยะทางต่างๆ จากแหล่งกำเนิดแสง**

2.3.6 **ความสว่าง** (Luminance) ความสว่างของที่สะท้อนจากวัตถุเข้าสู่ตา ทำให้มองเห็นวัตถุนั้น ความส่องสว่างที่สะท้อนหรือทะลุผ่านออกมาจากวัตถุ เรียกว่า ความสว่าง มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร ($cd/m^2$) หรือ ฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert)

## 2.4 คุณสมบัติอื่น ๆ ของแสงและการมองเห็น

เมื่อแสงตกกระทบที่วัตถุใด ๆ ก็จะสะท้อนเข้าสู่กระบอกตา ผ่านแก้วตา (Comea) ลูกตา (lens) เรตินา (retina) ประสาทตา (nerve) และสมอง ตามลำดับ กล้ามเนื้อตาจะขยาย หรือหดตัว เมื่อมีแสงผ่านเข้ามา เพื่อโฟกัสให้คลื่นแสงที่มากระทบแก้วตา ผ่านลูกตาไปตกลงบริเวณเรตินา และยังมีม่านตา (iris) ช่วยปิดเปิดกระบอกตา เพื่อควบคุมปริมาณแสงให้ผ่านเข้ามาได้ตามความเหมาะสม ในบริเวณเรตินาประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมาก โดยแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ส่วนหนึ่งเรียกว่าโคน (cones) อยู่กลางเรตินา มีจำนวนประมาณ 7 ล้านเซลล์ในกระบอกตาข้างหนึ่ง ทำหน้าที่รับความรู้สึกทางด้านสี และช่วยแยกรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ที่เรามองเห็น โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน เซลล์อีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่าร็อด (rods) มีอยู่ประมาณ 130 ล้านเซลล์ในกระบอกตาข้างหนึ่ง ช่วยทำให้เห็นภาพต่าง ๆ ได้อย่างหยาบ ๆ ในช่วงเวลากลางคืน แต่ร็อดไม่สามารถตอบสนองทางด้านสีได้ ด้วยเหตุนี้เราจึงไม่สามารถแยกแยะสีได้อย่างชัดเจนในที่ที่มีแสงสลัวหรือค่อนข้างมืด ดังนั้นในการมองเห็นของคน จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแวดล้อมต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 Human Field of View โดยปกติดวงตาของมนุษย์มีขอบเขตการมองเห็นได้ถึง $90^{\circ}$ จากจุดโฟกัสของสายตา ขยายออกไปในทิศทางเป็นรูปทรงกรวย แต่โครงสร้างบางส่วนบนใบหน้า เช่น จมูก ขอบตา หรือแก้ม จะเป็นส่วนที่บังมุมการมองเห็นบางส่วน




**รูปที่ 2.14 แสดงขอบเขตการมองเห็นของสายตา**

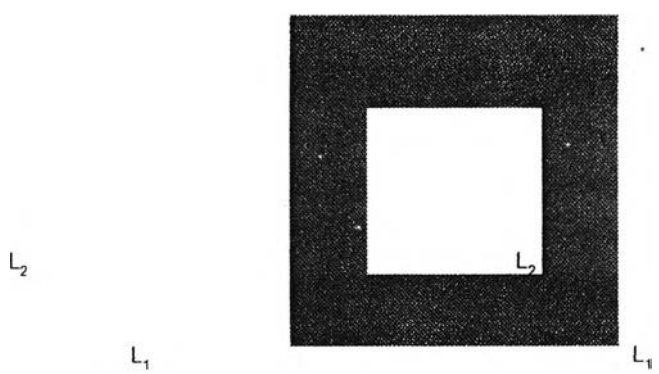
ที่มา : Stein Benjamin and Reynolds John S., pp 929.

2.4.2 Eye Adaptation การปรับของสายตาต่อการรับรู้ความจ้าของแสงที่เกิดขึ้น โดยการปรับลดหรือขยายม่านตา ซึ่งความสามารถในการปรับสายตาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของผู้มอง ดังนั้นในการออกแบบผู้ออกแบบควรจะหลีกเลี่ยงสิ่งที่จะทำให้เกิด Eye Adaptation ที่เร็ว หรือมากจนเกินไปในการมองเห็น เพื่อช่วยลดการทำงานของดวงตา ดังนั้น การออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ มากมาย เช่น ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน (Task) กับผู้ปฏิบัติงาน ขนาดของชิ้นงาน ความแตกต่างของความสามารในการสะท้อนแสงระหว่างชิ้นงานกับสิ่งแวดล้อม ความเปรียบต่างของชิ้นงานกับสิ่งแวดล้อม ความเร็วในการออกแบบแสงสว่าง เราจึงต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ ที่มีผลต่อการมองเห็น

2.4.3 **ขนาดของชิ้นงาน** (Task size) ปกติตามนุษย์จะเห็นวัตถุที่มีขนาดใหญ่ง่ายกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็ก และจะเห็นวัตถุชิ้นเดียวกันมีขนาดเล็กลงในเวลากลางคืน วัตถุยิ่งมีขนาดเล็กและมีรายละเอียดมากย่อมต้องการปริมาณแสงมากเป็นพิเศษ เช่น งานเขียนแบบ งานประกอบวงจรอิเล็กทรอนิคส์ เป็นต้น

2.4.4 **เวลา** (Time) ปกติตาของมนุษย์ต้องการเวลาช่วงหนึ่งในการปรับกล้ามเนื้อตาให้ขยายหรือหดตัวเพื่อตอบรับกับปริมาณแสง (Eye adaptation) ในการเห็นวัตถุปริมาณแสงยิ่งน้อยยิ่งต้องใช้เวลามากขึ้น ในขณะที่หากปริมาณแสงมากก็จะใช้เวลาน้อยลงจนถึงค่าหนึ่ง เวลาที่ใช้ในการมองเห็นจะคงที่ เนื่องจากขีดจำกัดของกล้ามเนื้อตานั่นเอง

ค่าความเปรียบต่างยิ่งมาก การมองเห็นวัตถุก็จะง่ายขึ้น แต่หากค่าความเปรียบต่าง มีค่ามากเกินไปก็จะเกิดเป็นแสงจ้า (Glare)




**รูปที่** 2.15 **ความเปรียบต่างความส่องสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียงในการมองเห็นวัตถุ**

ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , pp 1-11

2.4.5 **แสงจ้า หรือ แสงบาดตา** (Glare) หมายถึง แสงที่เข้าตาทำให้มองเห็นวัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็นเลย ซึ่งเกิดมาจากระดับความแตกต่างของความส่องสว่าง จนเป็นแสงที่ไม่ต้องการให้อยู่ในมุมมอง เนื่องมาจากความจ้าที่มากจนเกินไปของแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งจุดหรือมากกว่า เทียบกับความจ้าของสภาพแวดล้อมทั่วไปที่อยู่ในขอบเขตของมุมมอง ก่อให้เกิดความไม่สบายตา เนื่องจากสายตาปรับตัวอย่างรวดเร็ว เกิดความพร่าตาจากปริมาณ

ความส่องสว่างที่มีมากเกินไป จนไปถึงการสูญเสียการมองเห็นของสายตาชั่วขณะได้ การเกิดแสงจ้าขึ้นอยู่กับ Relationship of brightness , Size of source , Position of the object in the view of field , และ The eyes adaptation of the viewer

## 2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติเป็นรูปแบบของพลังงานชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทาง และตำแหน่งต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ โดยปริมาณแสงธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปตามวันและฤดูกาลที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้น ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ แต่ยังมีลักษณะของรูปแบบที่ไม่แน่นอนของแสงธรรมชาติ ที่ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ด้วย ซึ่งจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และมลภาวะปริมาณ ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก เมื่อแสงธรรมชาติตกกระทบพื้นผิวต่าง ๆ ก็จะถูกดูดซับและแปรเปลี่ยนเป็น พลังงานความร้อนในทันที ซึ่งจะมากหรือน้อยตามความยาวและความถี่ของคลื่นแสงและสภาพบรรยากาศของโลกที่แสงส่องผ่าน เนื่องจากแสงจะเกิดการกระจายตัวและแปรเปลี่ยนเมื่อกระทบกับบรรยากาศในชั้นต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศเขตร้อน แบบร้อนชื้น โดยทั่วไปอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 28-29 °C เฉพาะในเวลากลางวันมีค่าประมาณ 30-31 °C สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก มีแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี จะเห็นว่าดัชนีเมฆของประเทศไทยมีค่าตั้งแต่ 5.9 ถึง 9.0 (ค่าสูงสุดคือ 10) และค่าระดับความสว่างสำหรับกรุงเทพมีค่าความสว่างในระดับ 10,000 lux ขึ้นไป มีความถี่ถึงกว่า 99 % ของเวลากลางวัน

2.5.1 **แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ** จากการที่องค์ประกอบของท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม มีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ดังนั้น CIE (Commission International de l'Eclairage) ได้มีการแบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติ ออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดแสงได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

- แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์

แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ (The sun) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สำคัญที่สุด ในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลกจะได้มีความแตกต่างของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยขึ้นอยู่กับมุมองศาของรังสีที่กระทำกับพื้นผิวของโลก โดยที่แกนของโลกที่เอียงทำมุม 23.50 องศานั้นทำให้ความเข้มของรังสีตกกระทบพื้นผิวโลกมีค่าเท่ากับความเข้มของรังสีปกติคูณด้วยค่า Cosine ของมุมที่รังสีตกกระทบตามกฎ Cosine Law ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มของรังสี ต่อหน่วยพื้นที่บนผิวโลกมีความเข้มมากที่สุด เมื่อทิศทางของรังสีทำมุม 90 องศากับพื้นผิวที่กระทบ และค่าจะลดลงเมื่อมุมตกกระทบเบี่ยงเบนออกจากแนวตั้งฉากกับพื้นผิว ในส่วนของชั้นบรรยากาศที่ปกคลุมโลกก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าลดลงก่อนที่จะเดินทางมาถึงพื้นผิวโลก โดยรังสีบางส่วนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะถูกดูดกลืนของชั้นโอโซน ฝุ่นละอองและไอน้ำ บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับโดยเมฆ และบางส่วนถูกกระจายออกโดยโมเลกุลในบรรยากาศรังสีที่ตกกระทบผิวโลกแล้วก็จะสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ และมีส่วนหนึ่งที่ตกลงสู่ผิวโลกแล้วถูกดูดกลืนไว้ รังสีใน

ส่วนนี้จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมบนโลกสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของชั้นบรรยากาศในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่มีปริมาณความแตกต่างของไอน้ำ หมอก ควัน และองค์ประกอบอื่น ๆ ในบรรยากาศด้วยปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้ปริมาณของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคของโลกมีความแตกต่างกันไปตามวันเวลาและฤดูกาล ซึ่งไม่เท่ากันและมีลักษณะเฉพาะในแต่ละฤดูกาล

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และการหมุนของโลกนั้น จะมีความสำคัญต่อปริมาณของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งต่าง ๆ บนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้นโลก เราจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากพื้นโลกได้จาก

1. มุมอะติจูล (Solar Altitute), $a_t$ เป็นมุมในแนวตั้ง ที่จะบอกมุมเงยของดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับระดับพื้นราบ
2. มุมอะซิมุท (Solar Azimuth), $a_s$ เป็นมุมในแนวนอน ที่จะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เมื่อวัดจากแกนในแนวทิศใต้ เป็นทิศเริ่มต้น ที่ 0 องศา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือที่ 180 องศา และ –180 องศา

- แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า

การส่องผ่านของแสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศในชั้นต่าง ๆ จะเกิดการกระจายตัว ของแสงไปทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่น ละอองไอน้ำ และสารแขวนลอยต่าง ๆ ในแต่ละชั้นบรรยากาศ การกระจายตัวของแสงในท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ทำให้เกิดเป็นลักษณะต่าง ๆ ของท้องฟ้าได้ดังนี้

1. ท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)
2. ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบาส่วน (Partly and Cloudy sky)
3. ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)

ซึ่งท้องฟ้าโปร่ง (Slear Sky) และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly and Cloudy Sky) จะมีการเปลี่ยนของปริมาณแสงสว่างในท้องฟ้าอย่างรวดเร็ว

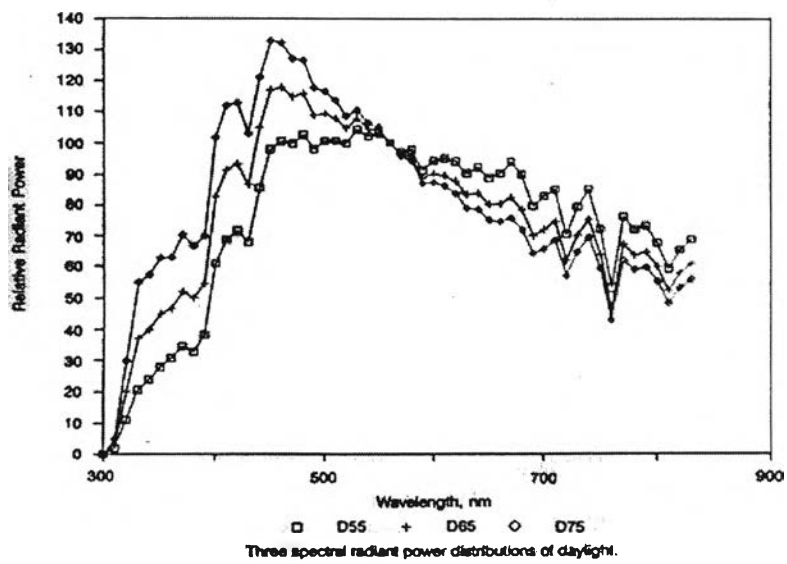
- แสงธรรมชาติจากพื้นดิน

การสะท้อนของแสงจากพื้นดินนับว่ามีความสำคัญ สำหรับการออกแบบอาคารด้วยแสงธรรมชาติ แสงที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดของอาคารนั้น จะมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10-15 ของปริมาณแสงทั้งหมด ที่ผ่านช่องเปิดของอาคาร ซึ่งปริมาณแสงสะท้อนจากพื้นดิน เข้าสู่ช่องเปิดอาคาร จะมากหรือน้อยตามลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนแสง หากพื้นผิวเป็นหิมะ หรือทราย หรือพื้นผิวที่มีสีขาวหรือสีอ่อน ปริมาณของแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคารก็จะมากขึ้นกว่าค่าเฉลี่ยปกติ

หากปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร มีมากเกินความจำเป็นต่อการใช้งานก็อาจจะควบคุมปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านเข้าสู่อาคารด้วยอุปกรณ์บังแดดชนิดต่างๆ ตามความจำเป็น

2.5.2 **การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน** การนำแสงธรรมชาติไปใช้กับอาคาร นอกจากจะต้องคำนึงถึงเรื่องปริมาณความร้อนที่จะมากับแสงธรรมชาติเป็นสำคัญแล้ว อีกประการที่ต้องคำนึงถึง คือ เรื่องของความแปรปรวนของปริมาณแสงธรรมชาติ เนื่องจากสภาพท้องฟ้าซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาตินั้น มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงยากต่อการคาดคะเนปริมาณแสงที่จะเกิดขึ้นจริง

อย่างไรก็ตาม การคาดคะเนปริมาณของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของ วัน เวลา และสภาพท้องฟ้า ในขณะนั้น ๆ ซึ่งการศึกษาทางด้านแสงธรรมชาติ ได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลอย่างจริงจังมามากกว่า 60 ปีแล้ว และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ก็สามารถนำมาพยากรณ์ และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ เพื่ออธิบายถึงความสว่างจากแสงธรรมชาติได้เป็นอย่างดี




**รูปที่ 2.16 เสปกตรัมที่มาจากของรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีความยาวคลื่นต่างกันสามลักษณะ**

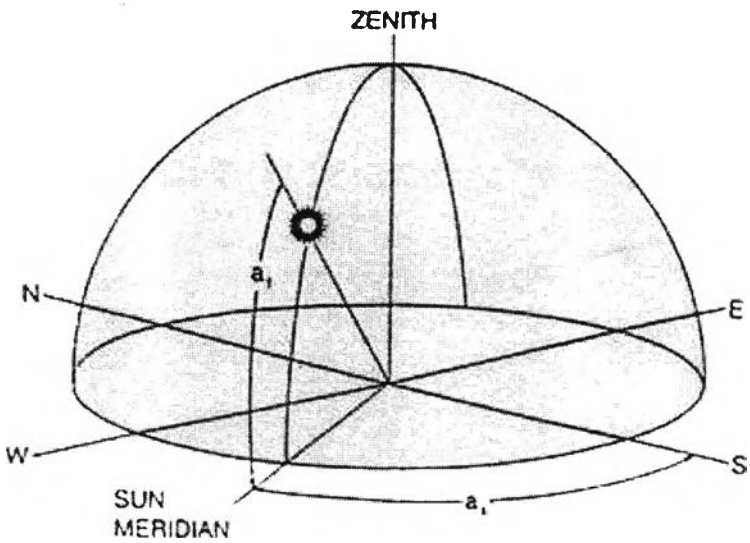
ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

## 2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

การคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งานในแต่ละบริเวณนั้น จะเริ่มต้นจาการทิศทางตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนี้

- ที่ตั้งตามตำแหน่งเส้นรุ้งและเส้นแวง (Latitude and Longitude of the site)
- วันตามปีปฏิทิน (Day of the year ,Julian date)
- เวลาท้องถิ่น (Local time)

โดยที่ เวลาท้องถิ่น (Local time) จะแปรเปลี่ยนมาจากเวลาที่แท้จริงของดวงอาทิตย์ (Solar time) และมุมต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ จะเป็นมุมเรเดียน (Radian) ที่อธิบายถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์




**รูปที่ 2.17 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อัลติจูด** ($a_l$ , altitude) **และมุมอะซิมุท** ($a_s$ , azimuth)
ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

2.6.1 **ตำแหน่งของที่ตั้ง** ตำแหน่งและที่ตั้งของบริเวณที่จะศึกษานั้น จะถูกกำหนดขึ้นจากเส้นรุ้ง (Longitude, l) และเส้นแวง (Latitude, L) ที่มีอยู่ และตำแหน่งของเส้นรุ้งและเส้นแวงของจังหวัดกรุงเทพตั้งอยู่ที่ ละติจูด 13° 44' และลองติจูด 100° 30' โดยมีหน่วยเป็น องศา-พิลิปดา

เส้นแวง หรือ เส้นละติจูด (Latitude) จะกำหนดให้ด้านเหนือของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นบวก และ ด้านใต้ของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นลบ

เส้นรุ้ง หรือเส้นลองติจูด (Longitude) จะกำหนดให้ด้านตะวันตกของเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน (Meridian , Greenwich, U.K.) เป็นลบ และ ด้านตะวันออกของเส้นแบ่งเวลา (Latitude) เป็นบวก

2.6.2 **การบอกเวลา** ในปัจจุบันนี้การบอกเวลาจะแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการบอกเวลาแบบปกติตามแต่ละท้องถิ่น แต่การบอกเวลาตามดวงอาทิตย์ (Solar time) จะสามารถคำนวณได้จากเวลามาตราฐาน โดยเริ่มจากการกำหนดจากเส้นแวง (Longitude) ของเส้นแบ่งเวลาในช่วงต่าง ๆ และจากสมการของเส้นบอกเวลา (Equation of Time) โดยเวลาเทียบเท่า (Equation of time) จะมีความแตกต่างจากเวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และเวลานาฬิกา (Clock Time) เนื่องจาก

- ตำแหน่งการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (Elliptical orbit of the earth)
- ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามแนวแกนที่พิจารณา (Solar declination of the axis)

การบอกเวลาแบบ Equation of time จะอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

$$ET = 0.170 \sin ( 4\pi (J - 80) / 373 ) - 0.129 \sin ( 2\pi (J - 8) / 355 ) \quad (2.4)$$

เมื่อ ET = เวลาเทียบเท่า (Equation of time) ในหน่วยของเวลาแบบทศนิยม (เช่นเวลา 13.30 น. จะเป็น 13.5)

J = วันที่ ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี(Julian date) โดยไม่สนใจเดือนต่าง ๆ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

| Time Zone | Standard Meridian | |
|---|---|---|
| | Degrees | Radians |
| Atlantic | 60 | 1.05 |
| Eastern | 75 | 1.31 |
| Central | 90 | 1.57 |
| Mountain | 105 | 1.83 |
| Pacific | 120 | 2.09 |
| Yukon | 135 | 2.36 |
| Alaskan-Hawaiian | 150 | 2.62 |
| Bering | 165 | 2.88 |

**ตารางที่ 2.1 แสดงที่ตั้งของเส้นแบ่งเวลาที่สำคัญของโลกตามเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน**

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

ค่าที่ได้จากสมการข้างต้น จะเป็นค่าที่น้อยที่สุดของสมการกำลังสอง (Prof. Lamm, 1970) ซึ่งจะไม่มีความแม่นยำนักในการนำมาใช้ในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้นในแต่ละบริเวณจะอ้างถึง เส้นรุ้ง ที่พาดผ่าน เพื่อนำมาคำนวณเวลาของเวลาดวงอาทิตย์ (solar time) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตราฐาน (Standard time) และเวลาแสงอาทิตย์ (daylight time) จะสามารถกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$t_s = t_d - 1 \quad (2.5)$$

เมื่อ $t_s$ = เวลามาตราฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)

$t_d$ = เวลาแสงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Daylight time in decimal hours)

เวลาดวงอาทิตย์ (Solar time) จะสามารถคำนวณได้จาก เวลามาตราฐาน (standard time) ได้ดังนี้

$$t = t_s + ET + ( 12 (SM - L) ) / \pi \quad (2.9)$$

เมื่อ t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

$t_s$ = เวลามาตราฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)

ET = เวลาที่ใช้ในการคำนวณ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Time in decimal hours)

SM = ระยะจากเส้นแบ่งเวลามาตราฐานเมริเดียน (standard meridian) หน่วยเรเดียน (rad)

L = ตำแหน่งตามเส้นแวง หน่วยเรเดียน (site longitude in rad)

2.6.3 **ตำแหน่งของดวงอาทิตย์** (Solar Position) ตำแหน่งและทิศทางต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์จะถูกกำหนดโดยมุมอัลติจูล และมุมอะซิมุสของดวงอาทิตย์ (Solar altitude and Solar azimuth) ซึ่งจากลักษณะของมุมทั้งสองอิงกับ เส้นแวง ณ บริเวณนั้น , เวลาดวงอาทิตย์ (Solar time) และแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar declination) โดยแนวการเคลื่อนของดวงอาทิตย์ (Solar declination) จะประมาณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\delta = 0.4093 \sin ( 2\pi ( J - 81 ) / 368 ) \quad \text{.....(2.10)}$$

เมื่อ $\delta$ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar declination in rad)

J = วันที่ ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี (Julian date)โดยไม่สนใจเดือนต่างๆ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

สมการของมุมละติจูด อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a_l = \arcsin ( \sin l \sin\delta - \cos l \cos\delta \cos (\pi t/12) ) \quad \text{.....(2.11)}$$

เมื่อ $a_l$ = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)

l = ตำแหน่งละติจูล หน่วยเรเดียน (Site latitude in rad)

$\delta$ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad)

t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

มุมของ solar altitude จะมีค่าของมุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง $\pi/2$ ถ้าทิศทางของดวงอาทิตย์อยู่ต่ำกว่าแนวระดับหรือเกินกว่า $\pi/2$ จะให้ค่าเป็นลบ สมการของมุมอัลซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth) อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a_s = \arctan \frac{( - [ \cos\delta \sin (\pi t/12) ] )}{- [ \cos l \sin + \sin l \cos\delta \cos(\pi t/12) ]} \quad \text{..... (2.9)}$$

เมื่อ $a_s$ = ระดับมุมอัลซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in radian)

l = ตำแหน่งของมุมละติจูล หน่วยเรเดียน (Site latitude in radian)

$\delta$ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad)

t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

มุมอะซิมุท (Azimuth) จะเริ่มจากศูนย์องศา ในแนวของทิศใต้ และหมุนตามเข็มนาฬิกา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือ เป็นระยะทาง $\pi$ และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงข้าม เมื่อเริ่มจากศูนย์องศาในแนวทิศใต้หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางเหนือผ่านทิศตะวันออกเป็นระยะทาง $\pi$ จะให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่าง ๆ นั้น จะต้องมีการคำนวณถึงแสงธรรมชาติบนพื้นผิวแนวตั้งเสมอ เช่น หน้าต่าง หรือผนังอาคาร ดังนั้นมุมอะซิมุท ที่เกิดขึ้นจะเป็นมุมในแนวนอน ระหว่างมุมที่อ้างถึง (ศูนย์องศาทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดขึ้นจริงของผนังที่ตั้งฉากนั้น ๆ

มุมอะซิมุท ของดวงอาทิตย์ เมื่อตกกระทบกับผนัง หรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ จะพิจารณามุม อะซิมุท ได้จากสมการดังนี้

$$a_z = a_s - a_e \quad \text{.....(2.13)}$$

เมื่อ $a_z$ = ระดับมุมอัลซิมุทของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-elevation azimuth in rad)

$a_s$ = มุมอัลซิมุท หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in rad)

$a_e$ = ความสูงมุมอัลซิมุท หน่วยเรเดียน (Elevation azimuth in rad)

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ จะเป็นมุมที่เกิดขึ้น ระหว่าง แนวระนาบปกติ กับมุมตกกระทบ ของดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$a_i = \arccos ( \cos a_t / \cos a_z ) \quad \text{.....(2.14)}$$

เมื่อ arccos = ค่ามุมอาร์คอร์ส

$a_i$ = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident angle in rad)

$a_t$ = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude in rad)

$a_z$ = ระดับของมุมอัลติจูลดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation azimuth in rad)

มุม Profile angle เป็นมุมที่เกิดขึ้นจริงของมุมอะติจูด ในแนวตั้ง และพิจารณาได้จากสองสมการ ดังนี้

$$a_p = \arctan ( \sin a_t / \cos a_z ) \quad \text{..... (2.12)}$$

$$a_i = \arctan ( \tan a_t / \cos a_z ) \quad \text{..... (2.13)}$$

เมื่อ $a_p$ = มุมโพรไฟล์ หน่วยเรเดียน (Profile angle in rad)

$a_t$ = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)

$a_i$ = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Incident angle in rad)

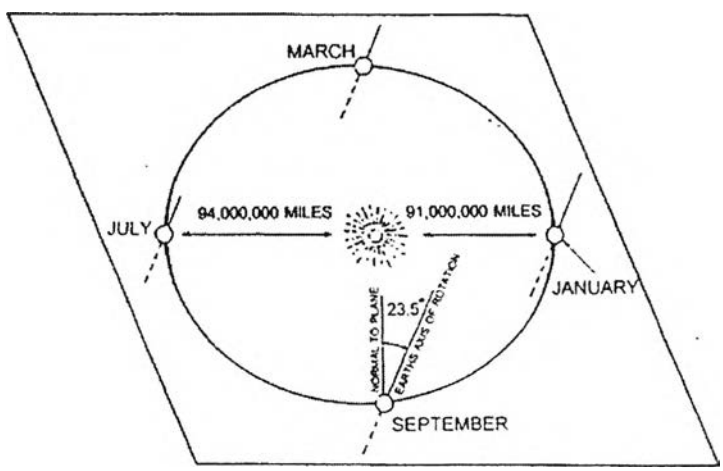
$a_z$ = ระดับของมุมอัลติจูลดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation azimuth in rad)

## 2.7 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

ลักษณะของการแผ่รังสีซึ่งก็คือ การแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่นอกบรรยากาศโลกหรือ Solar Radiation (Short-wave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ดังนี้

- รังสีอุลตร้าไวโอเลต (Ultra Violet) หรือ UV เป็นตัวการทำให้สีของวัตถุจืดจาง การไหม้เกรียมของผิวหนัง ฯลฯ มีความยาวคลื่น 290-380 นาโนเมตร ($10^{-9}$ม.)
- แสงสว่างที่มนุษย์มองเห็น (Vision Light) มีความยาวคลื่น 380-700 นาโนเมตร ($10^{-9}$ม.)
- รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Short Infra-red) มีความยาวคลื่น 700-2,300 นาโนเมตร ($10^{-9}$ม.)

2.7.1 **การแผ่รังสีจากนอกชั้นบรรยากาศ** ในหนึ่งหน่วยเวลาบนพื้นหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 93,000,000 ไมล์ และอยู่ในแนวตั้งฉากกับรังสีถือเป็นค่า Solar Constant มีค่าประมาณ 1395 $W/M^2$ เป็นการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวที่อุณหภูมิสูง โดยที่อุณหภูมิของพื้นผิวสูงมีค่าสูงสุดประมาณ 10,000 องศาฟาเรนไฮต์ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สูงสุดประมาณ 0.5 ไมโครเมตร ($10^6$) การแผ่ของรังสีจากดวงอาทิตย์จะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของอาคารอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะเป็นไปตามฤดูกาลโดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันจะทำให้ปริมาณของพลังงานที่แผ่ผ่านเข้าไปในพื้นผิวของอาคารนั้นแตกต่างกัน ซึ่งผลดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของพื้นผิวนั้น เช่น ค่าการดูดกลืนพลังงานของพื้นผิว (Absorptance) การสะท้อนของพื้นผิว (Reflection) และค่าการส่งผ่านพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (Transmits radiant energy at the wavelength) และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่นอกบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่าง อันเนื่องมาจากแกนโลกที่เอียง และวงโคจรของโลกที่มีลักษณะเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าสูงสุดประมาณ 1,418 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม (ASHRAE, 1993)




**รูปที่ 2.18 แสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ที่วันเวลาต่าง ๆ**

2.7.2 **การแผ่รังสีจากพื้นผิวโลก** (Terrain or Longwave Radiation) การแผ่ในลักษณะนี้คือ การถ่ายเทพลังงานระหว่างพื้นผิวโลก ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกับลักษณะแรก (Solar Radiation) ก็คืออุณหภูมิของพื้นผิวที่มีการแผ่รังสีจะต่ำกว่า โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 0-150 องศาฟาเรนไฮต์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีขนาดการแผ่รังสีของคลื่นที่แตกต่างกัน โดยมีความแตกต่างของความยาวคลื่นที่ความเข้มที่มากที่สุดประมาณ 10 ไมโครเมตร การแผ่รังสีบนพื้นผิวโลกจะถูกเรียกว่า Long wave Infrared Radiation ซึ่งการแผ่ลักษณะนี้จะมีความเข้มของพลังงานแสงน้อยกว่าแบบ Solar Radiation ประมาณ 1/160,000 ณ แหล่งกำเนิด ซึ่งจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากในการถ่ายเทความร้อน ลักษณะของการแผ่รังสีของคลื่นใน 2 ลักษณะนี้ เป็นการแผ่รังสีในรูปแบบของพลังงานชนิดเดียวกัน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันที่ความเข้มของพลังงาน (Intensity) และขนาดความยาวคลื่น (Wavelength)

เมื่อพิจารณาการแผ่รังสีที่ตกกระทบลงบนวัตถุที่ตั้งอยู่บนพื้นโลกตามลักษณะของทิศทางของรังสี สามารถพิจารณาออกได้เป็น

- **รังสีตรงของดวงอาทิตย์** (Direct Solar Radiation, $I_D$) คือ รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง ในทิศทางของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ ถึงพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมาถึงชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าประมาณ 429 BTU/H.SQ.FT (เป็นค่า Solar constant) เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในแนวที่รังสีตกลงมาตั้งฉากกับผิวโลก โดยผ่านชั้นบรรยากาศที่บางที่สุด และถ้าแนวรังสีเบนออกจาก 90 องศา ค่าความเข้มของพลังงานก็จะลดลง ถ้ามีมุม Altitude เท่ากับ 30 องศา ค่า Solar Radiation จะเสมือนกับผ่านชั้นบรรยากาศที่มีความหนาขึ้น 2 เท่า และที่มุม Altitude เท่ากับ 19 องศา ค่า Solar Radiation จะเสมือนผ่านชั้นบรรยากาศเท่ากับ 3 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ เช่น เมฆ หมอก ฝุ่นละออง และไอน้ำ

- **รังสีกระจายของดวงอาทิตย์** (Diffuse Solar Radiation, $I_d$) คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมาถึงชั้นบรรยากาศ และถูกทำให้กระจัดกระจายโดยไอน้ำและฝุ่นละอองต่าง ๆ ในอากาศจะไม่กระจายสม่ำเสมอในท้องฟ้า แต่จะมีความเข้มสูงที่บริเวณรอบดวงอาทิตย์ และที่ใกล้กับเส้นขอบฟ้า Diffuse Radiation จะมีค่าประมาณ 10-90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณพลังงานดวงอาทิตย์โดยรวมที่เข้าสู่ในอาคาร

- **รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์** (Reflected Solar Radiation, $I_r$) คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวต่าง ๆ มีค่าขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของ Reflectance ของพื้นผิวนั้น ปริมาณของพลังงานความร้อนที่สะท้อนลงบนพื้นผิวอาคาร มีอิทธิพลมาจากลักษณะของพื้นผิวและทิศทางของวัตถุที่อยู่โดยรอบอาคาร ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย สภาพของท้องฟ้ามีปริมาณละอองไอน้ำและเมฆที่สูง ทำให้ Diffuse Solar Radiation มีอิทธิพลที่สูงแก่ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคาร แม้ว่าผนังภายนอกอาคารจะไม่ได้ถูกแสงแดดโดยตรงก็ตามอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศได้ ทั้งนี้เนื่องจาก Diffuse Radiation และ Reflected Radiation ที่สะท้อนมาจากสภาพแวดล้อมรอบอาคารซึ่งจะมีผลต่อภาระการทำความเย็นของอาคาร

- **รังสีรวมของดวงอาทิตย์** (Total or Global Solar Radiation, $I_T$) คือ พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

จากการศึกษาพบว่า ประสิทธภาพการส่องสว่างต่อพลังงานที่ตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ รังสีกระจายของดวงอาทิตย์มีค่า 14 ลูเมนต่อวัตต์ รังสีตรงของดวงอาทิตย์มีค่า 105 ลูเมนต่อวัตต์ และรังสีรวมของดวงอาทิตย์มีค่า 119 ลูเมนต่อวัตต์ (Treado and Gillete, 1983)

2.7.3 Solar Geometry ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นผิวโลกหรืออาคารเสมือนกับการโคจรขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปีในเวลาต่าง ๆ ซึ่งจะสามารถทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับทิศทางการวางแนวอาคาร เพื่อให้สามารถออกแบบอาคารที่จะลดอิทธิพลจากแสงแดดโดยการหลีกเลี่ยงทิศทางที่จะได้รับแสงแดด หรือการให้มีอุปกรณ์บังแดดในรูปแบบที่เหมาะสมกับแต่ละทิศทาง เป็นการลดอุณหภูมิพื้นผิวที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ หรือได้รับผลจากแสงแดดโดยตรง (Sol air Effect)

2.7.4 **ความสัมพันธ์ระหว่างแสงสว่างตามธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์** (The Relationship between Daylight and Solar Radiation) จากการวิจัย (Hopkinson, 1966) พบความสัมพันธ์ว่า

- ปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 Lumens/Watt ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25 และจะเท่ากับ 90 Lumens/Watt ที่มุมของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 25 ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังจะต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่น ๆ อีกเช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพของบรรยากาศ เป็นต้น
- หาความสัมพันธ์โดยวิธี Regression Equation จากปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ (RAD : BTU/sq.ft.) กับปริมาณความสว่างจากแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (ILLUM : FOOTCANDLES) ดังนี้

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

โดยความสัมพันธ์นี้ครอบคลุมในทุก ๆ สภาพของลักษณะท้องฟ้าที่ท้องฟ้าเดียวกัน โดยมี R-Square เท่ากับ 0.97 และ standard error = 9.7 Footcandles

## 2.8 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า

ปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติ นอกจากจะได้รับอิทธิพลของดวงอาทิตย์แล้ว สภาพท้องฟ้าก็ยังถือเป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาติเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของท้องฟ้าแยกตามวิธีการได้ 2 วิธีการ คือ

2.8.1 การจำแนกท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของท้องฟ้า (The sky ratio method) เป็นการแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณรังสีตกกระทบของท้องฟ้าบนพื้นราบ (Horizontal sky irradiance) ต่อปริมาณรังสีตกกระทบบนพื้นราบทั้งหมด (Global Horizontal Irradiance) ดังนั้นหากสัดส่วนของการจำแนกท้องฟ้าเท่ากับ 1.0 แสดงว่า มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์จะเท่ากับศูนย์ แต่การแบ่งประเภทของท้องฟ้า ด้วยวิธีการนี้ จะมีความคลาดเคลื่อน ถ้ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ มีค่าต่ำมาก ๆ การจำแนกประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธี Sky ratio method จะแบ่งประเภทของลักษณะท้องฟ้าออกตามอัตราส่วนต่าง ๆ ได้ 3 ลักษณะ คือ

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : Sky ratio $\leq$ 0.3

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy) : 0.3 < sky ratio < 0.8

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy) : Sky ratio $\geq$ 0.8

2.8.2 การจำแนกท้องฟ้าด้วยองค์ประกอบที่ปกคลุมท้องฟ้า (The sky cover method) เป็นวิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า โดยการประมาณปริมาณก้อนเมฆ ที่ปกคลุมท้องฟ้า มีมาตราส่วนในการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 10 (0 หมายถึง ท้องฟ้าปราศจากเมฆปกคลุม , 10 หมายถึง ท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมมาก) และจำแนกลักษณะของท้องฟ้าออกเป็นลักษณะตามปริมาณของก้อนเมฆ ได้ดังนี้

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : 0 - 3

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy) : 4 - 7

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy) : 8 - 10

ค่าความสว่างในแนวราบของท้องฟ้า และ มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ จะแสดงความสัมพันธ์ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน ในรูปแบบของสมการ ได้ดังนี้

$$E_{kh} = A + B \sin^{C} a_t \quad \text{..... (2.16)}$$

เมื่อ Ekh = ค่าความส่องสว่างในแนวราบของท้องฟ้า ที่ปราศตาสิ่งปกคลุม หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

A = ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ขณะดวงอาทิตย์ขึ้น และดวงอาทิตย์ตก หน่วยกิโลลักซ์ (klx)

B = ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

C = ค่าเอกซ์โปเนนท์เชียล ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$a_t$ = มุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

โดยรูปแบบของสมการในข้างต้นจะใช้ได้กับลักษณะของท้องฟ้าทั้งสามประเภท แต่จะมีความแตกต่างกันบ้าง ตามตัวแปรคงที่บางตัวที่จะเปลี่ยนแปลง ตามลักษณะของท้องฟ้า ซึ่งจะทำให้สมการ และค่าความส่องสว่าง ที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีข้อพิจารณา ดังนี้

- ค่าความส่องสว่างของแสงจะมีความกระจายมากหรือน้อย ตามค่าความส่องสว่างที่มุมเซนิท (Zenith Illuminance) ของท้องฟ้า
- ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท

วิธีการ ที่ใช้ในการคำนวณ ค่าความสว่างที่เซนิท จากความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ จะขึ้นกับค่าความสว่างของท้องฟ้าท้องฟ้าที่มุมเซนิท ตามสมการ

$$L_z = E_{kh} ZL \quad \text{.....(2.17)}$$

เมื่อ $L_z$ = ค่าความสว่างที่เซนิท หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / $m^2$)

$E_{hk}$ = ค่าความสว่างในแนวราบ ที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง จากสมการ $E_{kh} = A + B \sin^C a_t$

ZL = ค่าความสว่างที่เซนิท (Zenith illuminance factor) ในตำแหน่งที่ละติจูด เดียวกับ Ekh หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / $m^2$)

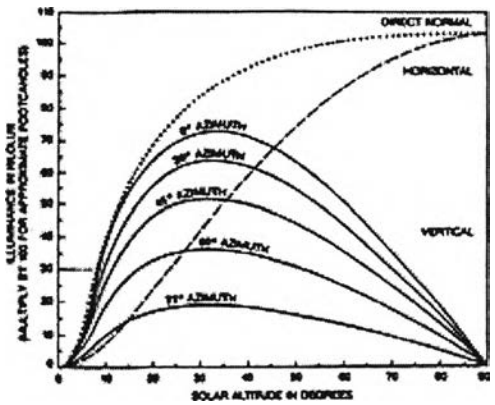
ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิทที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับลักษณะของชั้นบรรยากาศ และแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของค่าความสว่างที่เซนิท ได้จากตารางต่อไปนี้

| Solar Altitude (Degree) | Clear sky ZL | Partly Cloudy sky ZL |
|---|---|---|
| 90 | 1.034 | 0.637 |
| 85 | 0.825 | 0.567 |
| 80 | 0.664 | 0.501 |
| 75 | 0.541 | 0.457 |
| 70 | 0.445 | 0.413 |
| 65 | 0.371 | 0.375 |
| 60 | 0.314 | 0.343 |
| 55 | 0.269 | 0.315 |
| 50 | 0.234 | 0.292 |
| 45 | 0.206 | 0.272 |
| 40 | 0.185 | 0.255 |
| 35 | 0.169 | 0.241 |
| 30 | 0.156 | 0.230 |
| 25 | 0.148 | 0.221 |
| 20 | 0.142 | 0.214 |
| 15 | 0.139 | 0.209 |
| 10 | 0.139 | 0.205 |
| 5 | 0.140 | 0.202 |
| 0 | 0.144 | 0.201 |

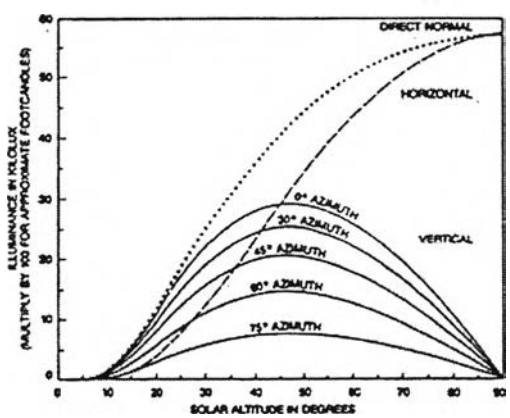
ตารางที่ 2.2 **ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท** (Sky zenith illuminance)
**สำหรับท้องฟ้าในลักษณะ** Overcast sky, ZL = 0.409
**ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์**
ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

I 1012 3067

สมการ $E_{kh}$ และ $E_{kv}$ จะเป็นการคำนวณค่าความสว่างของแสงด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนท์ (Differentials) และดีสครีส (Discrete) เพื่อหาตำแหน่งของความสว่าง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ บนระนาบพื้นราบแนวนอนและแนวตั้งที่ปราศจากสิ่งกีดขวางซึ่งค่าความสว่างของท้องฟ้าที่คำนวณได้จากสมการจะสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟในท้องฟ้าแต่ละประเภทได้ดังนี้




(a) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)




(b) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

**รูปที่ 2.19 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูด และ มุมอัลซิมุท ของดวงอาทิตย์**

ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building pp. 679

## 2.9 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

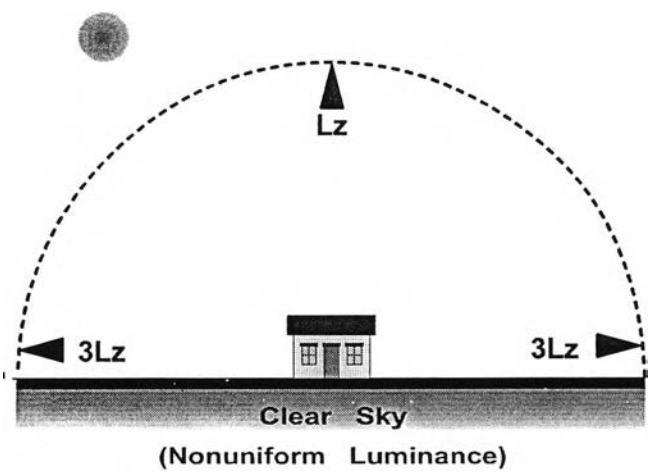
ความส่องสว่างของท้องฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ไม่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นเพียงหลักการเบื้องต้นเท่านั้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณและประเภทของเมฆบนท้องฟ้า จำนวนก้อนเมฆ ความสกปรกของอากาศ ความชื้น มีอยู่บ่อยครั้งที่ไอน้ำบนท้องฟ้าสูง อย่างไรก็ตามหลังจากที่แสงธรรมชาติผ่านสิ่งต่าง ๆ มาถึงพื้นดินระดับความสว่างบนพื้นดินจะไม่ค่อยเปลี่ยน

แปลง สิ่งนี้แหละที่จะช่วยให้นักออกแบบเข้าใจเกี่ยวกับสภาวะของท้องฟ้า โดยทั่วไปสภาวะของท้องฟ้าสามารถแบ่งลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

เมื่อพิจารณาการแบ่งประเภทของท้องฟ้า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ซึ่งมีดัชนีของปริมาณเมฆในท้องฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 10

การแบ่งประเภทของท้องฟ้า จะมีวิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทของท้องฟ้าหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือการแบ่งประเภทของท้องฟ้าจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า

2.9.1 **สภาพท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุม** (Clear Sky) ความสว่างของท้องฟ้า จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ความสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง (Direct sun) และความสว่างของแสงจากการกระจายแสง (Diffuse Illuminance) ของท้องฟ้า โดยองค์ประกอบทั้งสองนี้ จะแปรผันตาม ตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altiude) เป็นหลัก (Prof. Kittler, 1981) ความสว่างของท้องฟ้า จะมีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งที่ระดับสูงสุดของท้องฟ้าจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าที่ระนาบล่างของท้องฟ้า โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้น เป็น 3 เท่าที่ระดับระนาบล่างสุดของท้องฟ้า และ ท้องฟ้าประเภทนี้จะมีความสว่างสูงสุด ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และ มีความสองสว่างต่ำสุด ที่ตำแหน่งตรงข้าม กับดวงอาทิตย์ (Prof. Hopkinson and Prof. Moon , 1968)




**รูปที่** 2.20 **รูปแสดงท้องฟ้าแบบ** Clear Sky

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp. 974

จากการที่ความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง มีความแปรผัน ตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์เหนือ แนวระนาบ ดังนั้นสมการที่ในการคำนวณจะหาได้จาก

$$L_A = L_z (1 + 2 \sin A) / 3 \quad \text{..... (2.18)}$$

เมื่อ $L_A$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่งมุม A องศาเหนือแนวระนาบของดวงอาทิตย์

$L_z$ = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุด

ความสว่างที่ตำแหน่งมุม A = 0 องศา จะมีค่าเท่ากับ = $L_z / 3$

จากองค์ประกอบของท้องฟ้า ที่ประกอบด้วยแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun Illuminance) และแสงอาทิตย์กระจาย (Diffuse Sun Illuminance) ซึ่งสมการจะมีลักษณะดังนี้

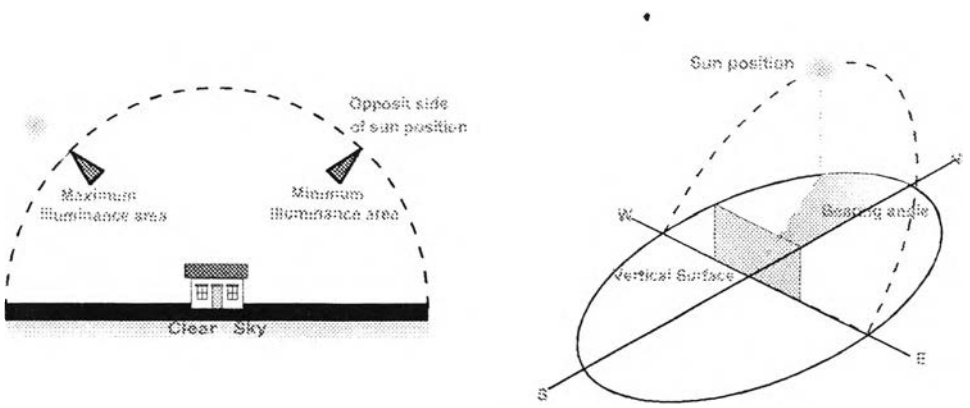
กรณีความสว่างของท้องฟ้าจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

$$Eh = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.19)}$$

กรณีความสว่างของท้องฟ้าจากแสงกระจายของท้องฟ้า

$$Eh = 1345 + 14{,}795 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.20)}$$

หากพิจารณาแสงกระจายจากท้องฟ้า เพียงครึ่งระนาบของท้องฟ้า จะมีความสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล (เฉลี่ยที่ 1,000 ฟุตแคนเดิล)




**รูปที่ 2.21 รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริ่ง** (Bearing Angle)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp. 974,977

2.9.2 **สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน** (Partly Cloudy Sky) การพิจารณาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้จะทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา(Dynamic) และจากข้อมูลสถิติที่ได้มีการรวบรวมไว้ จะพบว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly cloudy sky) จะมีความส่องสว่าง ของท้องฟ้ามากกว่าท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear sky) ประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการที่แสงจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบก้อนเมฆ และสะท้อนไปมา ระหว่างก้อนเมฆ (Prof. Nakamura and Prof. Oki , 1983) สามารถอธิบายลักษณะของท้องฟ้าที่เมฆปกคลุมบางส่วน และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ถ้าเมฆปกคลุมอย่างสม่ำเสมอเราก็อาจเลือกการกระจายความส่องสว่างแบบของท้องฟ้าที่ความส่องสว่างเป็นอัตราส่วน 1 : 3 ของความส่องสว่างในแนวราบของระดับขอบฟ้ากับความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า (Horizon to Zenith) และความส่องสว่างหาได้จากสมการดังนี้

$$E_{HP} = 570\ A \quad \text{..... (2.22)}$$

เมื่อ $E_{HP}$ = ความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบ ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ มีหน่วยเป็นกิโลลักซ์

$A$ = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) ของดวงอาทิตย์

ถึงแม้ว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนจะให้ปริมาณของแสงมากกว่าท้องฟ้าโปร่ง แต่ในบางกรณีหากกลุ่มเมฆที่เกิดขึ้นเป็นเมฆฝน หรือ มีสีดำทึบ ก็อาจทำให้แสงถูกกั้น หรือถูกดูดซึมมากกว่า ที่จะสะท้อนหรือเกิดการกระจายของแสง ทำให้ค่าความสว่าง ของท้องฟ้ามีค่าลดลง และจากการศึกษา โดยอาศัยดัชนีเมฆ หรือ Cloudy Ratio (The Gillete prediction model, 1985) มาพิจารณาหาความสัมพันธ์ของการสองสว่างของท้องฟ้า ที่เกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงกระจายจากท้องฟ้า จะมีความสัมพันธ์กัน ของความสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$E_H = 0.35\ E_S + 0.89\ E_C \quad \text{..... (2.23)}$$

เมื่อ $E_H$ = ความสองสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)

$E_S$ = ความสองสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

$E_C$ = ความสองสว่างที่ได้จากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์

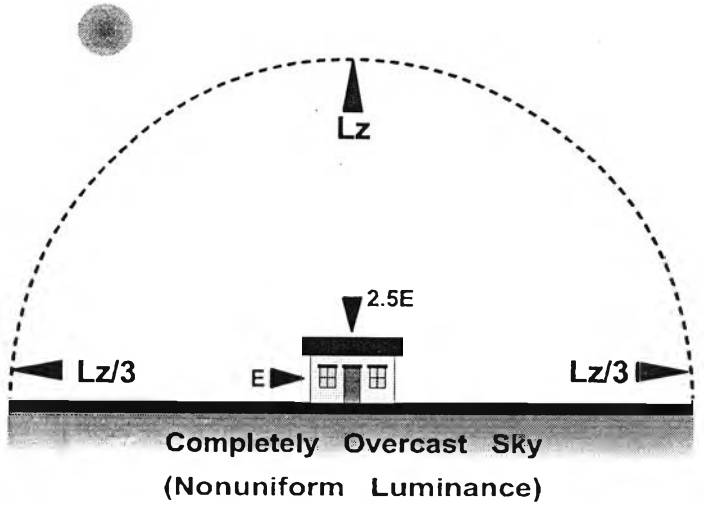
2.9.3 **สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนไม่สามารถมองเห็นแสงจากดวงอาทิตย์** (Overcast Sky **หรือ** CIE Sky) ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้า ในแถบสแกนดิเนเวียน (Scandinavia) และตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก เช่นประเทศอังกฤษ ความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก (Non-uniform Brightness Distribution) โดยความสว่าง จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากระนาบพื้น (Horizon-Brightness) ความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับสูงสุดของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith-Brightness) ที่สองกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ ซึ่งจะมีค่ามากกว่า ความสว่างที่ระนาบพื้นประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้า ที่เกิดขึ้นที่จุดใด ๆ จะพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณาจากมุมอัลซิมุทของดวงอาทิตย์ โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_A = L_Z\ (\ 1 + 2 \sin A\ )\ /\ 3 \quad \text{..... (2.24)}$$

เมื่อ $L_A$ = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือระดับในแนวระนาบ (Horizon) ในทุกๆทิศทาง

$L_Z$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ระดับสูงสุด ที่ระดับเซนิท (Zenith)

ดังนั้นความสว่าง ณ ตำแหน่งในแนวระนาบ หรือที่มุม $A = 0$ องศา จะมีความสว่าง มากกว่าเพียงหนึ่งในสามของความสว่างที่ระดับสูงสุด $L_A = L_Z / 3$




**รูปที่** 2.22 **รูปแสดงท้องฟ้าแบบ** Overcast Sky

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp. 974

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ จะแปรเปลี่ยนไปตามมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ก็ยังมีท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ ในอีกลักษณะหนึ่ง ที่มีความสว่างของท้องฟ้า ที่เท่ากันทั่วทั้งท้องฟ้าและทุกระดับความสูง (Uniform-Brightness) ซึ่งจะมีความใกล้เคียงกับ ท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่ (Uniform sky) (เป็นท้องฟ้าในอุดมคติ ที่จะมีความสว่างของท้องฟ้าเท่ากันทุกจุด) โดยความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท(Zenith) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระ นาบจะมีค่าเท่ากับความสว่าง ในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง (Prof. Krochman, 1993) จะอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{..... (2.25)}$$

เมื่อ $E_H$ = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)

A = มุมอัลติจูลดวงอาทิตย์

## 2.10 ทฤษฎีการให้แสงสว่างภายในอาคารโดยแสงธรรมชาติ

2.10.1 **การคำนวณแสงธรรมชาติสำหรับการให้แสงทางด้านบน** ในการคำนวณแสงธรรมชาติมีหลายวิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็เป็นวิธีหนึ่งที่แพร่หลายสำหรับสถาปนิกเพราะใช้เวลาไม่มากและสะดวกต่อการใช้งาน แต่ในบางครั้งหากต้องการการคำนวณที่แม่นยำและใช้เวลาไม่มากในระยะเริ่มต้นการใช้สูตรที่ง่ายยังคงเป็นสิ่งที่เหมาะสม

โดยทั่ว ๆ ไปสำหรับการเปิดช่องแสงที่มีขนาดใหญ่ย่อมที่จะให้ปริมาณแสงสว่างที่มาก ดังนั้นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Daylight Factor กับขนาดของช่องแสงรวมทั้งปริมาณพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการให้แสง เพราะ

จะทำให้ได้รับปริมาณแสงที่สม่ำเสมอคงที่ สำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ย Daylight Factor ของการให้แสงจากทางด้านบนหรือจากหลังคามีดังนี้ (R.G.Hopkinson, 1996.) คือ

$$\text{Aver.DF (\%)} = \frac{F * Cu * Ag}{\text{Flr. Area}} * 100 \quad \text{.....(2.26)}$$

โดยที่ Ave. DF = ค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor

F = Window Factor ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงสว่างผ่านช่องแสงกระทบกับสิ่งกีดขวางขึ้นภายในอาคาร

Cu = Coefficient of Utilization คือ อัตราส่วนระหว่างแสงที่ตกกระทบลงสู่บริเวณที่ได้อ้างอิงเทียบกับแสงที่เข้ามาทางช่องแสงทั้งหมด

Ag = ปริมาณเนื้อที่ของกระจกบริเวณช่องแสง (sq.ft)

Flr. Area = ปริมาณเนื้อที่ของพื้นที่อ้างอิงทั้งหมด (sq.ft)

สำหรับหลังคาที่ไม่มีสิ่งกีดขวางภายใน ค่า F จะมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนค่า U จะขึ้นอยู่กับชนิดของช่องเปิดหลังคาและค่าการสะท้อนแสงภายในของวัสดุ

2.10.2 **การคำนวณแสงธรรมชาติโดยวิธี** Daylight Factor Method หรือ sky factor หรือ split flux method เป็นวิธีการคำนวณ ระดับความส่องสว่างภายในอาคาร วิธีหนึ่ง ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากว่า 70 ปี โดยเฉพาะในประเทศอังกฤษ ได้มีการกำหนดกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ที่อ้างอิงการคำนวณ ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ และวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ ยังคงได้รับการพัฒนาวิธีการคำนวณ รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อการคำนวณ ให้มีการใช้งานที่เหมาะสม สะดวกต่อการใช้งาน อย่างต่อเนื่องตามลำดับจนถึงปัจจุบัน

หลักการของเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight factor , DF) จะเป็นวิธีการที่กำหนดขึ้นจากอัตราส่วนเปรียบเทียบ ระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคารในระนาบพื้นผิว (Ei) ต่อค่าความส่องสว่างภายนอกของอาคาร (Ee) ในระนาบเดียวกัน โดยความสว่างที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับ ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามวันเวลา โดยมีสมการมาตราฐานที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$DF_o = ( Ei / Ee ) \times 100 \quad \text{.....(2.27)}$$

$$DF(\%) = \frac{\textbf{ความสว่างภายใน}}{\textbf{ความสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดดตรง)}} * 100 \quad \text{.....(2.28)}$$

เมื่อ ลักษณะของท้องฟ้า ใกล้เคียงลักษณะท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน

หาก DF มีค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ จะหมายความว่าค่าความส่องสว่างภายใน (Ei) ณ จุดนั้น (station point) จะมีค่าความส่องสว่าง เท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความส่องสว่างจากภายนอก (Ee)

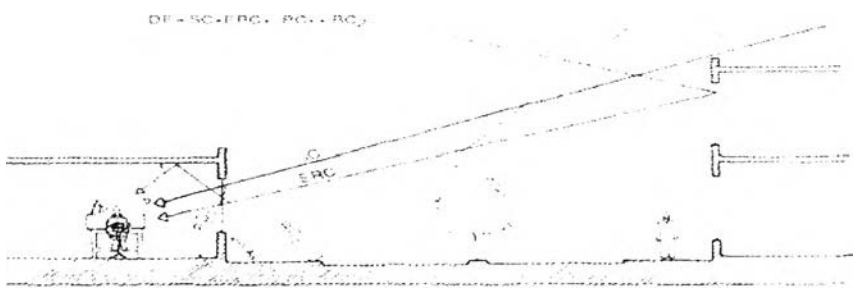
**องค์ประกอบของวิธีการคำนวณแบบ** Daylight Factor

การพิจารณาหาปริมาณความสว่างภายในอาคาร ที่ได้จากแสงธรรมชาติ ด้วยวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor , DF) จะเป็นวิธีการคำนวณที่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ โดยองค์ประกอบที่สำคัญมีดังนี้

- **องค์ประกอบจากท้องฟ้า** (Sky component, SC) จะเป็นแสงธรรมชาติภายนอก ที่เข้าสู่อาคารโดยตรง โดยแสงธรรมชาติจะมีปริมาณความส่องสว่าง ที่มาก หรือน้อย ตามสภาพของท้องฟ้าที่ต่างกัน เช่นท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear sky) หรือท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็น ดวงอาทิตย์ได้ (Completely overcast sky)

- **องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร** (Externally reflected component, ERC) เป็นการพิจารณา แสงที่เกิดจากการสะท้อน ของวัตถุ หรืออาคาร ที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียงอาคาร และสะท้อนวัตถุดังกล่าว เข้ามาสู่ตัวอาคาร เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงที่เกิดจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้น

- **องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายในอาคาร** (Internal reflected component, IRC) เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่อยู่ภายในอาคาร จากแสงที่มาจากองค์ประกอบจากท้องฟ้า และองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก ปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่สะท้อน หรือคุณสมบัติ ของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้นๆ เช่นเดียวกันกับองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร




**รูปที่** 2.23 **เดย์ไลท์แฟกเตอร์** (Daylight Factor)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp. 980

จากรูปเมื่อ SC = องค์ประกอบจากท้องฟ้า (sky component)

ERC = องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก (Exterior reflective component)

IRC = องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายใน (Interior reflective component)

สมการมาตราฐานค่าเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor) จากตัวแปรขององค์ประกอบข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

$$DF_o = SC_o + ERC_o + IRC_o \quad \text{.....(2.29)}$$

และหากผนังภายในอาคาร เป็นผนังที่มีการใช้งานมานาน หรือมีความสกปรก จะทำให้สมการเปลี่ยนไป โดยมีค่าการบำรุงรักษา (Maintenance Factor , MF) เกิดขึ้น

$$DF_o = SC_o + ERC_o + [ (MF) (IRC_o) ] \quad \text{.....(2.30)}$$

การกำหนดค่าของเดยไลท์แฟกเตอร์ ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่หนึ่ง ๆ พิจารณาได้ดังนี้

| **การใช้งาน** | **ค่า DF %** |
|---|---|
| การอ่านหนังสือ การทำงานปกติในช่วงเวลาปกติ | 1.5 – 2.5 |
| ที่ไม่ได้มีการใช้สายตาในกิจกรรมหนึ่งๆ นานเกินไป | |
| การอ่านหนังสือ หรือการใช้สายตาในการทำงาน ในช่วงเวลานานพอสมควร | 2.5 – 4.0 |
| หรือการทำงานที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย | |
| การทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง | 4.0 – 8.0 |
| หรือการใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ | |

**ตารางที่** 2.3 **แสดงค่า** Daylight Factor **ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ**

ที่มา : Millet and Bedrick (1980) อ้างอิงใน Mechanical and Electrical Equipment for Building 8th Edition. pp 197

2.10.3 **การคำนวณและคาดคะเนภาระความร้อน** การคำนวณความร้อนเพิ่ม (Heat gain) ซึ่งการคำนวณภาระความร้อนเกือบทั้งหมดเป็นความร้อนเพิ่ม แต่ในบางครั้งภาระความร้อนที่ใช้จะต้องมีการแก้ไขค่าความร้อนเพิ่ม

แบบที่ 1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างเข้ามาในห้องทำให้พื้นและวัตถุอื่น ๆ ร้อนขึ้นแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายในห้อง นั่นหมายความว่า ความร้อนเพิ่มจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มีช่วงที่ช้า ก่อนที่จะมาเป็นภาระความร้อน มีผลให้ภาระความร้อนเบื้องต้น (Primary load) น้อยลงไปกว่าค่าที่คาดหมายไว้ก่อน

แบบที่ 2 การคำนวณความร้อนเพิ่มมาตรฐานเป็นการคำนวณเมื่ออุณหภูมิภายในห้องคงที่ที่ภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่แน่นอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่จริง ๆ แล้ว ความร้อนจะถูกเก็บไว้ในพื้นและวัตถุอื่น ๆ ในระหว่างวันหยุดเมื่อเครื่องปรับอากาศไม่ทำงาน ฉะนั้นความร้อนดังกล่าว จึงควรนำไปรวมเข้ากับค่าการคำนวณความร้อนเพิ่มมาตรฐานด้วย

การคำนวณทั้ง 2 แบบ เรียกว่า การคำนวณภาระความร้อนสะสม (storage heat load calculation) ในการคำนวณ Heat load หรือ Cooling load นี้จะยึดถือตามวิธีการของ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.)

การคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) อันเกิดจากการนำความร้อน แบบการส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก เมื่อรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์กระทบพื้นผิวกระจกจะมีการส่งผ่านของความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน Space 3 ส่วน คือ

ก. ความร้อนเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอกและภายใน

ข. ความร้อนเนื่องจากรังสีที่ทะลุผ่านกระจก

ค. ความร้อนที่สะสมอยู่ในเนื้อกระจก

ความร้อนในข้อ ข. และ ค. จะเกิดเฉพาะเมื่อถูกแดด ไม่ว่าจะเป็นแสงโดยตรง (Direct sun ray) หรือเป็นแสงกระจาย (Diffuse sun ray) ส่วนความร้อนในข้อ ก. นั้นเกิดขึ้นตลอดเวลา ตราบเท่าที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงกว่าภายใน ไม่ว่ากระจกจะถูกแดดหรือไม่ก็ตาม (ASHRAE ,1997.)

การนำความร้อนผ่านกระจก การคำนวณปริมาณความร้อนเนื่องจากการนำผ่านพื้นผิวกระจก ใช้สูตรพื้นฐาน คือ $Q = U * A * \Delta T$ แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่านเทความร้อน (U) ได้คิดถึงผลการถ่ายเทความร้อน 2 ขบวนเข้าด้วยกัน คือ การนำความร้อนและการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างภายนอกและภายใน และ การนำความร้อนผ่านเนื้อกระจก ดังนั้น $\Delta T$ จึงมิใช่ผลต่างโดยตรงของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน Space แต่ต้องทำการแก้ไขโดยใช้ Transfer function method ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่า CLTD และสูตรที่ใช้ในการคำนวณจะเปลี่ยนเป็น $Q = U * A * CLTD$

ในการหาค่าความร้อนเข้ามาในอาคาร จะพิจารณาเฉพาะถึงความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งเป็นบริเวณปรับอากาศ เมื่อพิจารณาถึงรูปร่างรอบนอกของอาคาร ความร้อนจะผ่านเข้ามาได้ 2 วิธี คือ จากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร โดยการนำความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ในหัวข้อการวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะกรณีแรกเพียงประการเดียว โดยถือว่าผนังมีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกทั้งหมดเท่ากับ พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านทะลุกระจก + ความร้อนที่ระบายสู่ภายในเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน + ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างภายนอกและภายใน

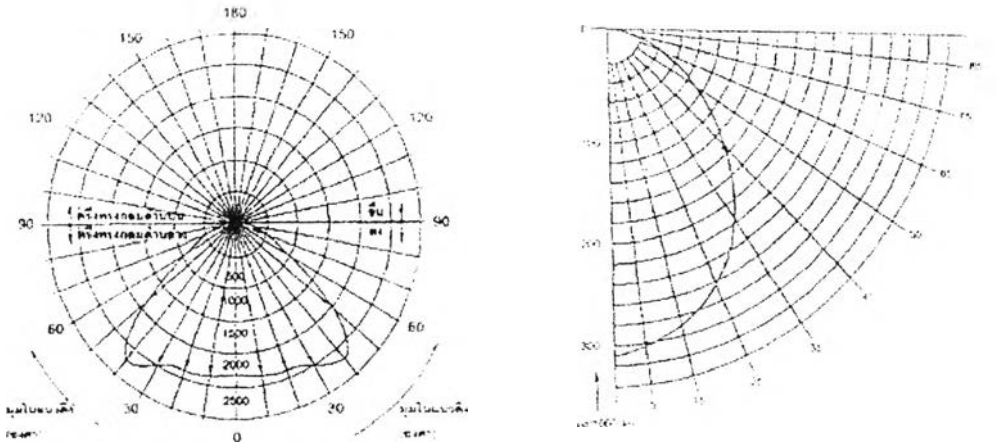
## 2.11 ทฤษฎีการให้แสงสว่างภายในอาคารโดยแสงประดิษฐ์

โดยทั่วไปมีวิธีการคำนวณ 2 วิธีการ คือ Point Method และ Zonal Cavity Method

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

$$E = I / D^2 * \cos\theta \quad \text{.....} \quad (2.31)$$

โดยที่ $\cos\theta$ = มุมตกกระทบของลำแสงที่เบนออกไปจากแนวตั้งฉาก



**รูปที่ 2.24 กราฟแสดงการกระจายกำลังเทียนของดวงโคม**

ที่มา : วิศวกรรมการส่องสว่าง, pp. 82,196

2.11.2 Zonal Cavity Method เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งห้องที่พิจารณา จากนิยามของความส่องสว่าง

$$E = L/A = \frac{\text{ปริมาณแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาชากดวงโคม (ลูเมน)}}{\text{พื้นที่ที่ต้องการพิจารณาระดับการส่องสว่าง (ตารางเมตร หรือตารางฟุต)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2.32)$$

เนื่องจากเป็นการพิจารณาค่าเฉลี่ย แสงที่เปล่งออกมาจากดวงโคมกระจายทั่วห้อง บางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนถูกสะท้อน โดยฝ้าเพดาน ผนัง พื้น และวัสดุภายในห้อง ดังนั้นปริมาณแสงที่พิจารณาจะต้องพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบ 2 องค์ประกอบหลัก คือ องค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม (Light Loss Factor) และองค์ประกอบที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากค่าการดูดกลืน การสะท้อนแสงของวัตถุรอบ ๆ พื้นที่ที่พิจารณา (Coefficient of Utilization)

องค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม (LLF) มีหัวข้อที่พิจารณาดังนี้

- ฝุ่นหรือความสกปรกของ
  - ความสกปรกของห้อง (Room Surface Dirt Depreciation) หรือ RSDD
  - ความสกปรกของหลอด (Luminaire Dirt Depreciation) หรือ LDD
  - ความสกปรกของโคม (Luminaire Surface Depreciation) หรือ LSD
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation) หรือ LLD
- บัลลาสต์ (Luminaire Ballast factor) หรือ LBF
- อุณหภูมิโดยรอบหลอด (Luminaire Ambient Temperature factor) หรือ LAT
- ระดับแรงดันกำลังไฟฟ้าของหลอด (Voltage to Luminaire factor) หรือ VLF
- การจุดติดของหลอด (Lamp Bumout factor) หรือ LBO

$$LLF = RSDD * LDD * LSD * LLD * LBF * LAT * VLF * LBO \quad \text{.....(2.33)}$$

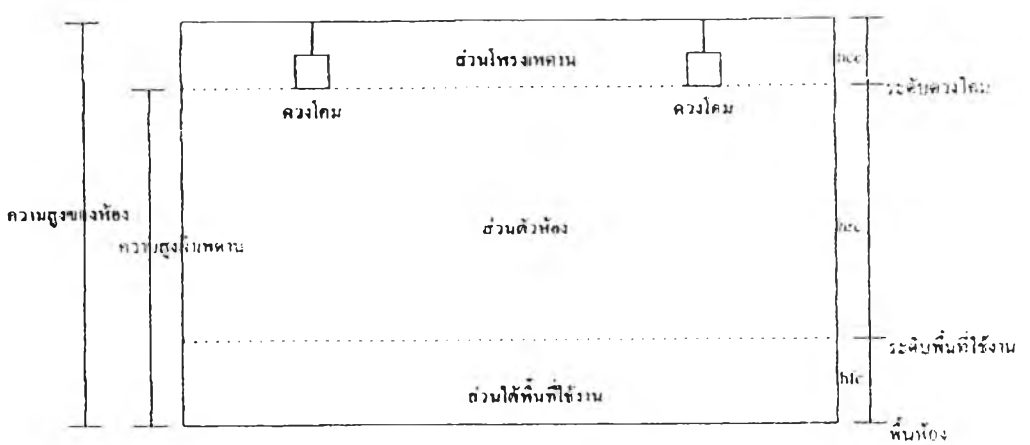
โดย RSDD, LDD, LLD เป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตลอด หาได้จากตาราง (LBF * LAT * VLF * LBO * LSD) โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1

ดังนั้นสมการที่ 2.32 จะเป็น

$$E = L/A * LLF \quad \text{.....(2.34)}$$

องค์ประกอบที่มีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป (CU) เป็นค่าที่แสดงการนำแสงสว่างมาใช้งานจริง ซึ่งขึ้นอยู่กับความกว้าง ยาว สูงและคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง พื้น เป็นค่าที่หาได้จากการเปิดตารางภาคผนวก (000) การหาค่า CU พิจารณาโดยแบ่งห้องที่ต้องการหาค่าระดับความส่องสว่างออกเป็น 3 ส่วน (Zonal Cavity) ได้แก่

- ส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity) คือส่วนตั้งแต่เพดานจนถึงระดับดวงโคม หรือระดับความต่ำของดวงโคม
- ส่วนตัวห้อง (Room Cavity) คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับดวงโคมลงมาถึงระดับพื้นที่ใช้งาน หรือ Working Plane
- ส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (Floor Cavity) คือส่วนที่ยอู่ต่ำจากระดับพื้นที่ใช้งานลงมาถึงพื้นห้อง




**รูปที่ 2.25 การแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้องเพื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างตามวิธี** Zonal Cavity Method

ที่มา : กนกวรรณ อุสันโน, วิทยานิพนธ์ 2539

และพิจารณาทั้ง 3 ส่วน เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ในแนวดิ่งต่อพื้นที่ในแนวตั้ง หรืออัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio) ทั้ง 3 ส่วน ได้แก่

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

โดยที่อัตราส่วนโพรงแต่ละค่าคำนวณได้จากความสูงของแต่ละส่วนที่สัมพันธ์กับความกว้าง (W) ยาว (L) ของห้อง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

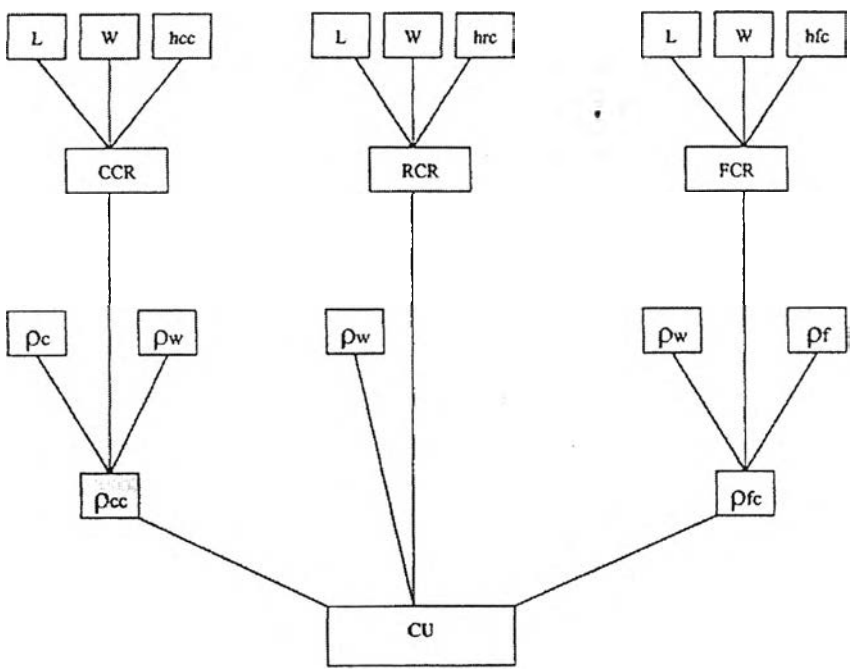
$$CCR = 5\ hcc\ (W+L) / W * L \quad \text{.....(2.35)}$$

$$RCR = 5\ hrc\ (W+L) / W * L \quad \text{.....(2.36)}$$

$$FCR = 5\ hfc\ (W+L) / W * L \quad \text{.....(2.37)}$$

การคำนวณค่า CU มีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่า CCR, RCR และ FCR
2. หาค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน ($\rho cc$) ผนัง ($\rho w$) และพื้น ($\rho fc$)
3. หาค่า CU จากการเปิดตารางตามมาตราฐาน IES ไม่ต้องใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์




**รูปที่ 2.26 ขั้นตอนการหาค่า Coefficient of Utilization จากแสงประดิษฐ์ตามวิธี Zonal Cavity Method**

ที่มา : กนกวรรณ อุสันโน, วิทยานิพนธ์ 2539

ดังนั้น $E = L/A * LLF * CU$ .....(2.38)

## 2.12 มาตราฐานระดับการส่องสว่าง

ความต้องการแสงธรรมชาติภายในอาคาร ก็คือ การได้รับแสงที่พอเพียงตลอดเวลาการทำงานในตอนกลางวัน โดยมีปริมาณความส่องสว่างที่เหมาะกับ Visual Task และ Visual Comfort ในกรณีที่ภายในอาคารมีลักษณะ

หรือประเภทของกิจกรรมที่ต้องการปริมาณความส่องสว่างต่างกันก็อาจจะพิจารณาการแบ่ง Zone ของประเภทกิจกรรม หรือพิจารณาถึงวิธีการใช้ Local Lighting ตามประเภทงานนั้น ๆ นั้น มีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES(USA) IES(BS) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอย และสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นอยู่กับประเทศใดประเทศหนึ่ง ได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) CIE กำหนดค่าความสว่างออกเป็น 3 ค่าโดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแวดล้อม แต่โดยทั่วไปความคงที่ของปริมาณความส่องสว่างภายในทั่วไปจะวัดจากค่า Daylight Factor ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์สำหรับแต่ละกิจกรรม ดังตารางที่ 2.4

- ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปกติให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่าง ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าผู้ที่ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

| พื้นที่ใช้งาน | ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตราฐาน CIE (ก) | ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตราฐาน 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 |

**ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) และมาตราฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)**

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

(ข) IES. Illumination Engineering Society : Reference Volume, 1983

(ค) BSI Draft for Development p.73, อ้างอิงถึงใน Applications Manual window Design, pp 31.

## 2.13 การให้แสงธรรมชาติ (The Utilize of Daylighting)

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ให้แสงสว่างภายในอาคาร นับว่าเป็นการนำแสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาใช้งาน เพราะแสงธรรมชาติได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ การใช้แสงธรรมชาติจึงเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และภาระการทำความเย็นในอาคารได้อีกส่วนหนึ่งด้วย แต่ถ้าไม่สามารถควบคุมแสงธรรมชาติที่จะนำมาใช้กับอาคารได้ ก็อาจจะทำให้แสงที่เข้ามามีความจ้ามากเกินไปจนเกิดเป็นแสงบาดตา (Glare) ได้ นอกจากนี้ยังนำมาซึ่งความร้อนเข้าสู่อาคารอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างเหมาะสม จึงเป็นเรื่องที่สถาปนิกควรให้ความสำคัญควบคู่ไปกับความงามทางสถาปัตยกรรม

2.13.1 **การให้แสงธรรมชาติกับอาคาร** แสงธรรมชาติสามารถนำเข้ามาภายในสถาปัตยกรรมได้ 2 วิธีหลัก ๆ คือ แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side Lighting) และแสงที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top Lighting) โดยแสงที่มาจากทางด้านบนนั้น ถือได้ว่าเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแสงที่มาจากทางด้านข้าง ในแง่ของการให้ความสว่างแก่ที่ว่างภายในอาคาร นอกจากนั้นอาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่าง โดยใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น Light Pipe และ Light Shelf เป็นต้น สิ่งที่ควรระวัง คือ แสงธรรมชาติของประเทศไทยจะมีความเข้มของการส่องสว่างสูง ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ก็จะมีความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคารด้วย จึงไม่ควรนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้โดยตรง แต่นำเข้ามาในทางอ้อม หรือที่เรียกว่า Indirect Light เท่านั้น คือ ให้แสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนหรือหักเหก่อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร

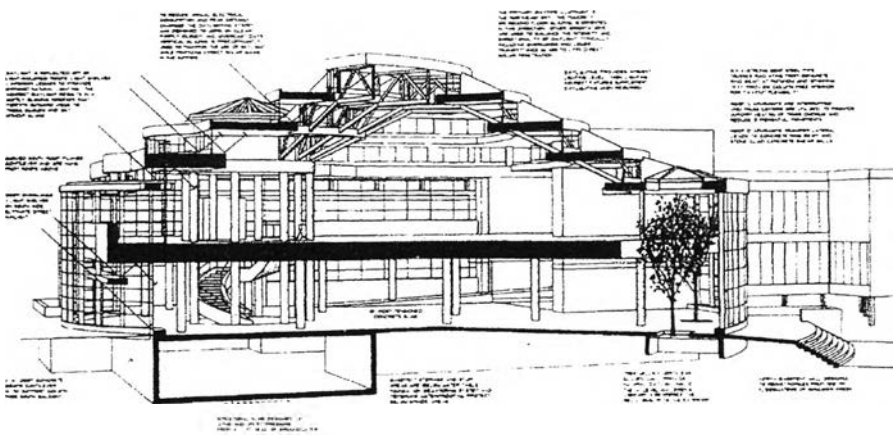
- แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side Lighting) ใช้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร ก็คือเรื่องความลึกของห้องที่ค่อย ๆ ออกห่างจากหน้าต่าง และความสูงของช่องหน้าต่าง อย่างไรก็ตามก็ต้องใช้ทั้งความสูงและความกว้างของหน้าต่างควบคู่กันไป ความสูงของหน้าต่างยิ่งมากแสงที่ส่องเข้าไปภายในอาคารก็ยิ่งลึก และมีการกระจายแสงได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ
- แสงที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top Lighting) การให้แสงทางด้านทิศเหนือ จะทำให้ได้แสงที่สม่ำเสมอมาก และการให้แสงทางด้านทิศใต้ จะทำให้ได้ความร้อน (Heat gain) และความจ้า (Glare) เข้ามามาก ในอาคารจำนวนมากต้องการเพียง แสงทางทิศเหนือเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศหรือที่ตั้งว่าอยู่ซีกโลกใด และมีสิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไปคือ การจัดวางอาคาร และการใช้พลังงาน โดยมีรูปแบบต่างๆ ดังนี้

Sawtooth Roof เป็นรูปแบบการเปิดช่องเปิดด้านบนในแนวตั้ง ในทางด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร โดยส่วนใหญ่มักจะหันด้านช่องเปิดไปในทิศที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุด สำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ที่ละติจูด 14 $^{o}$N ดวงอาทิตย์จะโคจรอ้อมไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ถึง 8 เดือน ใน 1 ปี ดังนั้นการออกแบบจึงมักหันช่องเปิด Sawtooth Roof ไปทางด้านทิศเหนือ เพื่อป้องกันความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์เข้ามา และง่ายต่อการควบคุมการควบคุมความจ้า (Glare), แต่ถ้าช่องเปิดหันไปทางด้านทิศอื่น การใช้ Overhang, Diffusing Glass หรือ Internal Baffles อย่างใดอย่างหนึ่งหรือใช้ร่วมกันเพื่อควบคุมปัญหานั้น

**รูปที่** 2.27 **แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ** Saw-tooth Roof

ที่มา : Fuller Moore, pp 97.

Clearstories **หรือ** Monitors Roof รูปแบบของหลังคาที่ให้แสงเข้ามาได้ 2 ด้านขึ้นไป ถ้ามีการใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมในบริเวณที่เปิดรับแสงทางด้านทิศต่างๆ จะทำให้การกระจายของแสงภายในอาคารเกิดความสม่ำเสมอ

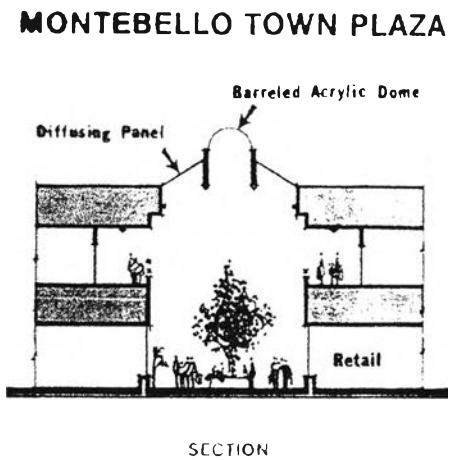


**รูปที่** 2.28 **แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ** Clearstories

ที่มา : Simplified Design of Building Lighting, pp 89.

Skylight การเปิดรับแสงในแนวราบ (Horizontal Plane) ซึ่งต่างจากรูปแบบของการให้แสงจากทางด้านบนแบบอื่น ๆ ที่เน้นให้มีการเปิดรับแสงในแนวตั้ง (Vertical Plane) กลวิธีนี้มีผลกระทบเมื่อพิจารณาในด้านคุณสมบัติทางด้านความร้อน เนื่องจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์และปริมาณแสงที่จ้าเกินความจำเป็น โดยทั่วไปการควบคุมความจ้า (Glare Control) และความต้องการการกระจายแสง อาจนำ Diffusing Glazing มาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว แต่จะทำให้ทัศนียภาพของท้องฟ้าเสียไปรวมถึงราคาของวัสดุที่สูงขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตาม Skylight ก็เป็นที่นิยมใช้ในประเทศหนาว เพราะสภาพอากาศที่เย็น ทำให้ผู้ใช้อาคารต้องการนำความอบอุ่นจากดวงอาทิตย์มาใช้ภายในอาคาร

สำหรับการให้แสงด้านบนอีกรูปแบบจะให้แสงลาดเอียงไปตามมุมของหลังคา เรียกว่า Shed Roof ซึ่งต่างจาก Skylight ตรงที่มันทำให้เกิดการกระจายแสงที่แตกต่างไปเล็กน้อย โดยจะขึ้นอยู่กับมุมเอียงของหลังคา




**รูปที่** 2.29 **แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ,**Skylight

ที่มา : Daylighting Performance and Design, pp 88.

Light Well การเปิดรับแสงในแนวราบ (Horizontal) คล้ายกับ Skylight แต่มีผนังด้านข้าง Penetration เรียกว่า Light Well ทั้งความลึกและการสะท้อนแสงของพื้นผิวของ Light Well มีความสำคัญต่อการนำแสงเข้ามาภายใน รูปร่างของ Well มีความสำคัญต่อการกระจายแสงและการส่องแสงจ้า (Glare) เมื่อมองจากข้างล่างขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องมีการคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจาก Diffusing Glass และพื้นที่กว้างระหว่าง Skylight

**รูปที่** 2.30 **แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ** Light Well

ที่มา : Daylighting Performance and Design, pp 18.

การให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบน สามารถมาจากทิศทางใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทางตั้ง (Vertical) และทิศทางนอน (Horizontal) ผ่านทางหลังคา (Roof Lighting) ซึ่งมีหลายรูปแบบ เช่น Skylight, Sawtooth และ Monitor Roof เป็นต้น แต่ไม่ว่าจะเป็นการให้แสงในลักษณะใด มีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

เมื่อพิจารณาลักษณะเฉพาะในแต่ละรูปแบบ เพื่อหารูปแบบที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารในประเทศไทย ที่อยู่ในภูมิอากาศเขตร้อน ซึ่งเป็นเขตที่มีสภาพอากาศภายนอกร้อนเกือบตลอดปี และมีความส่องสว่างภายนอกสูงเกือบตลอดปีเช่นกัน ซึ่งเป็นสภาวะไม่น่าสบาย (Discomfort Zone). ดังนั้นความเย็นสบายและปริมาณแสงที่พอดีกับการใช้งาน จึงเป็นสิ่งที่ผู้ใช้อาคารต้องการมากที่สุด รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่มีความเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารในเขตร้อน จึงควรจะเป็นรูปแบบที่สามารถลดอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นที่มาของความร้อนและความจ้า ที่จะเข้าสู่ภายในอาคารได้ จากรูปแบบต่าง ๆ พบว่ารูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลดังกล่าว มีอยู่ 2 แบบ คือ รูปแบบช่องเปิดแบบ Saw-tooth กับรูปแบบช่องเปิดแบบ Clearstories

จากรูปแบบทั้ง 2 ข้างต้น พบว่ารูปแบบช่องเปิดแบบ Clearstories มีลักษณะการเป็นช่องเปิด เพื่อรับแสงธรรมชาติได้หลายด้าน หรือโดยรอบทุกด้านก็ได้ ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของช่องเปิดในการเปิดรับแสงธรรมชาติมากกว่ารูปแบบ Saw-tooth ที่มีการเปิดรับแสงเพียงด้านหนึ่งด้านใด ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงจะใช้รูปแบบช่องเปิดแบบ Monitor Roof มาพัฒนารูปแบบช่องเปิด เพื่อลดอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งละติจูดที่ 14° N ในรูปแบบต่าง ๆ ของแผงควบคุมที่บริเวณช่องเปิดโดยรอบ นำมาศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบที่ใช้แผงควบคุม กับรูปแบบพื้นฐาน คือ แบบ Clearstories และ Skylight ที่ยังไม่มีการใช้แผงควบคุม เพื่อศึกษาความสามารถในการควบคุมอิทธิพลของดวงอาทิตย์ และลักษณะพฤติกรรมของแสงที่เกิดขึ้น ทั้งก่อนและหลังการใช้แผงควบคุม

2.13.2 **ปัญหาในการนำแสงธรรมชาติมาใช้สำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น** (Daylight and Problem of Utilization in Hot Humid Climate)

แสงจากดวงอาทิตย์จะมีทิศทางกระจายไปทั่วท้องฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณและสภาพการกระจายตัวของเมฆเป็นหลัก (Cloudiness Factor) ในเขตหนาวจะมีปริมาณเมฆบนท้องฟ้ามาก เรียกว่าท้องฟ้ามืด (Overcast Sky) จะมีปริมาณแสงที่ค่อนข้างคงที่ สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้นมักจะมีปริมาณเมฆบนท้องฟ้าปานกลางจนถึงน้อยมาก เรียกว่าท้องฟ้ามีเมฆ (Party Cloudy Sky) ซึ่งมีปริมาณแสงสว่างที่ไม่ค่อยคงที่และท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งมีปริมาณแสงที่คงที่และความเข้มสูง ในกรณีของท้องฟ้ามีเมฆความคงที่ของแสงจะไม่แน่นอนสลับกันไปมา เมื่อถูกแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sun) ปริมาณความส่องสว่างอาจถึง 10,000 FC แต่ในขณะที่เป็นแสงสะท้อน (Diffused Sun) ปริมาณความส่องสว่างอาจลดลงเหลือเพียง 2,000 FC เท่านั้น ดังนั้นในการออกแบบแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารจึงต้องคำนึงถึงความคงที่สม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้น เพราะมีผลต่อการประกอบกิจกรรมภายในอาคาร ในบางครั้งตำแหน่งของแสงอาทิตย์ (Direct Sunlight) ก็สามารถที่จะส่องตรงไปยังบริเวณพื้นที่ใช้งานได้ เป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะที่ไม่สบายต่อสายตา (Visual Uncomfort)ขึ้นได้ และยังทำให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นลดลง การให้แสงสว่างธรรมชาติเข้าไปในอาคารนั้นควรจะมีการออกแบบที่เหมาะสม เช่น การออกแบบช่องเปิดเพื่อให้ได้รับแสงนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของช่องเปิดด้วยหากว่าช่องเปิดมีขนาดใหญ่มากปริมาณแสงที่เข้ามาก็มาก แต่ก็มีความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคารดังนั้น การออกแบบช่องเปิดควรที่จะมีขนาดที่เหมาะสมที่แสงสว่างเข้ามาได้อย่างพอเพียงมีความร้อนเข้ามาน้อยและกำหนดตำแหน่งการให้แสงสว่างในพื้นที่ที่ต้องการ รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อบริเวณที่ทำงาน การให้แสงสว่างในทิศเหนือ-ใต้ (North Lighting-South Lighting) จะไม่ก่อให้เกิด Direct Sunlight ตลอดปี ยกเว้นแต่ในตอนเช้าและเย็นของเดือนในฤดูร้อน แต่สำหรับในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างเช่นในประเทศไทย พบว่าการเปิดหน้าต่างทางเหนือจะได้รับประสิทธิภาพของแสงสว่างที่มีคุณภาพมากกว่าทางทิศใต้ เพราะแสงสว่าง

จากทางทิศเหนือมีปริมาณความเข้มของแสงที่มีความคงที่และไม่รุนแรงท่ากับแสงสว่างจากทางทิศใต้ เมื่อมีปริมาณความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่น้อยกว่าก็ย่อมนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้น้อยกว่านั่นเอง ส่วนการเปิดหน้าต่างรับแสงทางทิศใต้นั้น แม้ว่าจะได้ปริมาณความส่องสว่างตลอดทั้งปีที่มากกว่าทางทิศเหนือ เนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์อ้อมใต้ 8 เดือน ในขณะที่อ้อมเหนือเพียง 4 เดือน แต่ก็เป็นแลงที่มีความเข้มของรังสีสูงและมีความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารได้มากกว่า ถึงแม้ว่าจะมีการพิจารณาการบังเงา (Shading Devices) ให้แก่ช่องหน้าต่างในส่วนนี้ซึ่งต้องการการบังเงาทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง บังเงาในแนวนอนเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมอัลติจูด (Altitude) ที่สูง (ตอนสายถึงบ่าย) และบังเงาในแนวตั้งเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมอัลติจูด (Altitude) ที่ต่ำ (ตอนเช้าและตอนเย็น) แต่ก็เป็นการบดบังปริมาณความส่องสว่างจากดวงอาทิตร์ไปด้วยเป็นสาเหตุให้ภายในอาคารได้รับแสงธรรมชาติที่ไม่พอเพียงต่อการทำงาน

ปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทยนั้น จะมีฤดูร้อน ฤดูฝน เป็นต้น รวมทั้งองค์ประกอบของท้องฟ้า เช่น ปริมาณเมฆ ฯลฯ ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นมาใช้ จึงจะต้องมีความระมัดระวังและรอบคอบเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของปริมาณความสว่าง (Brightness) ของท้องฟ้าจะมีปริมาณที่สูง เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเหนือศีรษะ หรือตั้งฉากกับพื้นโลกมากกว่าในเขตภูมิอากาศหนาว ดังนั้นการกำหนดปริมาณแสงที่จะเข้ามาภายในอาคาร ต้องเป็นไปตามความต้องการที่จะใช้งานเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร ในกรณีที่แสงธรรมชาติเข้ามาสู่ภายในอาคารเกินความจำเป็นในการใช้งาน ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานตามมา จากภาระการปรับอากาศและความร้อนสู่สภาพแวดล้อมได้

ดังนั้นสำหรับประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (Hot-Humid Climate) การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ ควรต้องมีหลักการสำคัญดังนี้

- หลีกเลี่ยงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ โดยเน้นการใช้แสงสว่างที่ได้จากการสะท้อนจากดวงอาทิตย์ (Diffuse light)
- ขนาดของช่องเปิด ไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น คือมีขนาดพอดีต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน

แนวทางที่จะนำแสงเข้าสู่ภายในอาคาร เพื่อหลีกเลี่ยงแสงแดดตรง จึงควรออกแบบอาคารให้มีระดับของขอบวงกบล่างของช่องเปิดสูงกว่าระดับสายตา หรือสร้างการบังเงาให้กับบริเวณพื้นที่ช่องเปิดของอาคาร เพื่อควบคุมความสว่างและการสะท้อนของแสงภายนอกที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับในประเทศไทย แนวทางหนึ่งที่นำมาใช้คือ การให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบน (Top lighting) ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้การกระจายของแสง ดีกว่าแสงที่ผ่านช่องเปิดด้านข้าง (Side lighting) นอกจากนี้แสงจากทางด้านบน ยังจะช่วยลดปัญหาในการเกิดแสงจ้าหรือแสงบาดตา และอาจเลือกใช้ระเบียงหรือแผงกันแดดในแนวตั้งหรือแนวนอน เพื่อควบคุมปริมาณและทิศทางของแสงธรรมชาติที่จะเข้าสู่อาคาร

นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพท้องฟ้าแล้ว ปัจจัยแวดล้อมภายนอกโดยรอบอาคาร และปัจจัยที่อยู่ภายในอาคารยังส่งผลเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับปริมาณความส่องสว่างภายในอาคาร ทั้งการสะท้อนแสงภายนอกและการสะท้อนแสงภายในของอาคารทั้งหมด ปัจจัยทั้งหมดจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งานภายในอาคาร

การสะท้อนแสงของผิวภายในอาคาร หากมีค่าการสะท้อนแสงของเพดานและผนังที่สูง จะทำให้ค่าความส่องสว่างภายในเพิ่มขึ้นได้ ในช่วงที่สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากและมีค่าความส่องสว่างลดลง แต่หากภายในอาคารได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ค่าการสะท้อนแสงภายในที่สูงก็อาจจะก่อให้เกิดความไม่สบายต่อสายตาในลักษณะแสงจ้าได้ อย่างไรก็ตามทิศทางของดวงอาทิตย์ และปริมาณความส่องสว่างจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงวันและเวลาต่าง ๆ ซึ่งผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้มีความสอดคล้องกับทิศทางต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลา