

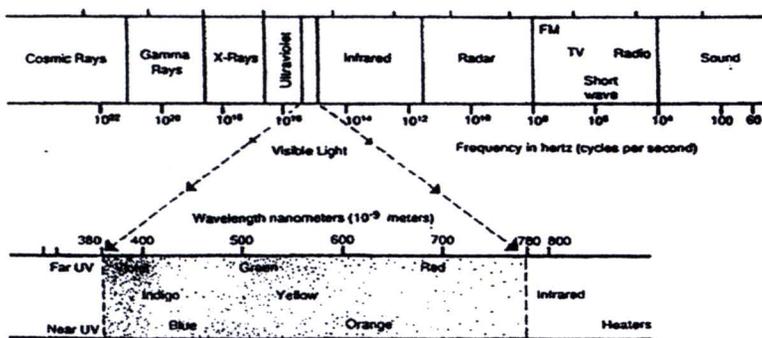
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 แสงสว่างและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวนำ แสงมีความเร็วสูงถึง 3×10^8 เมตร/วินาที ความยาวคลื่นและความเร็วขึ้นกับตัวกลางที่แสงเคลื่อนผ่าน แต่ความถี่ของแสงจะคงที่ไม่ขึ้นกับตัวกลาง สามารถแบ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากดวงอาทิตย์เป็น 3 ย่านได้ดังนี้



ภาพที่ 2.1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและ visible light

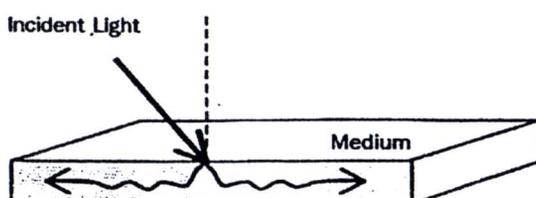
- 1) รังสีแกมมา เอกซเรย์ อัลตราไวโอเล็ต แต่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านนี้จะไม่สามารถลงมาถึงพื้นโลกได้เพราะถูกดูดด้วยโอโซนในชั้นบรรยากาศ
- 2) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นย่าน 290 – 1400 นาโนเมตรลงมายังพื้นโลก แต่มีทั้งคลื่นชนิดที่มองไม่เห็นและมองเห็น (380 – 760 นาโนเมตร) โดยย่านที่ไวต่อสายตามากที่สุดได้แก่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร (คลื่นที่มีความยาวนี้มีแสงสีเหลือง)
- 3) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1400 นาโนเมตร จะไม่สามารถลงมาถึงพื้นโลกเพราะถูกดูดด้วยละอองน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

2.1.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดสู่ตัวกลางชนิดต่างๆ นับตั้งแต่ อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง ฯลฯ พฤติกรรมของแสงจะแตกต่างกันออกไปเพราะทิศทางของแสงถูกเปลี่ยนไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น โดยพฤติกรรมของแสงสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การดูดกลืน (Absorption)

ปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง เช่นการฉายแสงสีขาวลงบนวัตถุสีเขียว แสงสีอื่นจะถูกดูดกลืนยกเว้นแสงสีเขียวเท่านั้นที่สะท้อนออกสู่สายตาของผู้สังเกต โดยทั่วไปเมื่อแสงถูกดูดกลืนจะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานไปเป็นพลังงานความร้อน

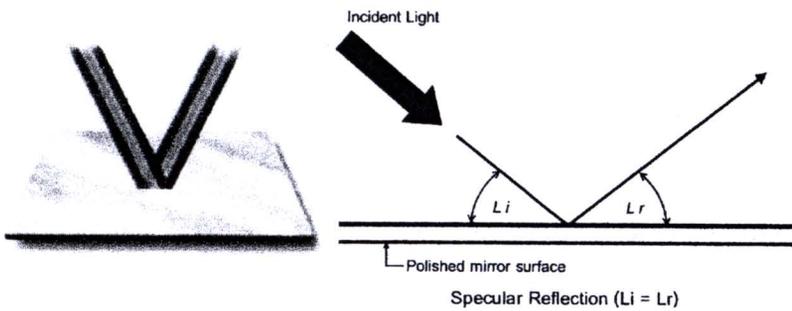


ภาพที่ 2.2 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง (Redrawn from Moore, 1993:280)

2. การสะท้อน (Reflection)

เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะของการสะท้อนแสงสามารถพิจารณาได้เป็น

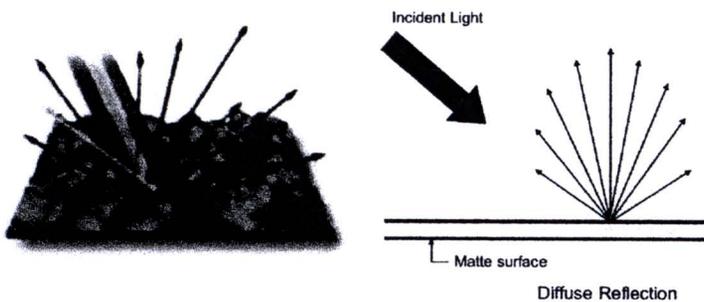
การสะท้อนเหมือนกระจกเงา (Specular reflection) เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (polish surface) ลักษณะเดียวกับกระจกเงา มุมตกกระทบบน (incident angle) จะเท่ากับมุมสะท้อน (reflected angle) เช่น โลหะขัดเงา, vacuum deposited วัสดุลักษณะนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงและมีค่าการสะท้อนแสงกระจายต่ำ จึงทำให้ควบคุมทิศทางการสะท้อนได้



ภาพที่ 2.3 แสดงการสะท้อนแสงเหมือนกระจกเงา (specular reflection)

การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection) เป็นรูปแบบการสะท้อนเมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุทึบแสงที่มีผิวหยาบไม่สม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะออกไปในหลายๆ ทิศทางเพราะไม่สามารถควบคุมทิศทางการสะท้อนได้ ส่วนมากมุมของแสงสะท้อนที่กระจายออกไปจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบบนแต่จะให้ความสว่างเท่ากันทุกมุมมองในบริเวณกว้างตามทฤษฎี Lambert' Law

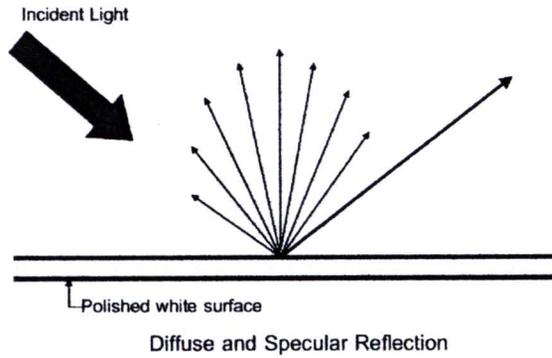
หากผิววัตถุนั้นมีลักษณะไม่เรียบอย่างสม่ำเสมอ (perfect diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะการกระจายแสงแบบสมบูรณ (perfect diffusing reflection) ที่ให้ความสว่างที่เท่ากันในทุกๆ มุมที่สะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอ (semi diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะ (semi diffusing reflection)



ภาพที่ 2.4 แสดงการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection)

แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะเป็นลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเหมือนกระจกเงา (specular reflection) และการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection)

การสะท้อนแบบกระจายแสง (Spreading reflection) พื้นผิวแบบกระจายแสง จะแตกลำแสงตกกระทบบนให้สะท้อนในมุมที่จำกัด การสะท้อนแบบกระจายแสงจะเกิดขึ้นและถูกควบคุมโดยรูปแบบ ขนาดรูปร่าง ความหนา ความเป็นร่องหรือสันของแผ่นสะท้อน



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะ
ผสมกันระหว่าง การสะท้อน
แบบเสมือนกระจกเงา
(specular reflection) และการ
สะท้อนแสงแบบกระจาย
(diffuse reflection)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่แนะนำสำหรับพื้นที่ใช้งานของสำนักงานและส่วน
การศึกษา (Egan, 1983:28)

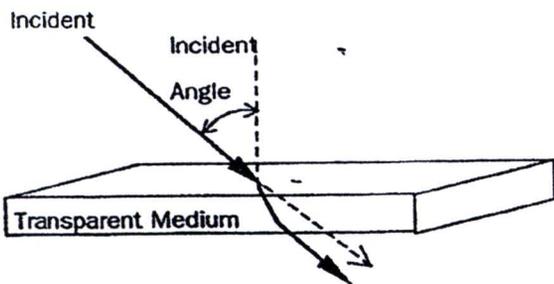
		Reflectance (%)	
		Class room	Office
1.	Ceilings	70-90	> 80
2.	Walls	40-60	50-70
3.	Partitions	-	40-70
4.	Floors	30-50	20-40
5.	Furniture and machines	-	25-45
6.	Desk and bench tops	35-50	35-50

3. การส่องผ่าน (Transmission)

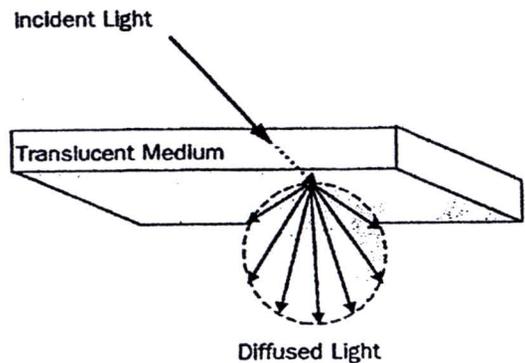
เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนด้านหนึ่งของตัวกลางแล้วทะลุผ่านไปอีกด้าน โดยปกติเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่แสงสามารถส่องผ่านได้แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับและจะเหลืออีกส่วนหนึ่งทะลุผ่าน โดยที่ปริมาณแสงที่ตกกระทบบจะเท่ากับ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับรวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

ลักษณะการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของตัวกลางคือ ตัวกลางโปร่งใส (transparent Medium) คือเมื่อแสงเกิดการส่องผ่านตัวกลางแล้วจะเกิดการหักเห และตัวกลางโปร่งแสง (translucent Medium) คือเมื่อแสงเกิดการส่องผ่านตัวกลางจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจาย



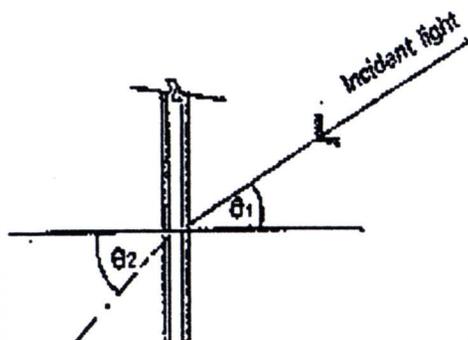
ภาพที่ 2.6 แสงตกกระทบบนตัวกลาง
เกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน (Redrawn
from Stein and Reynolds ,1992 :915)



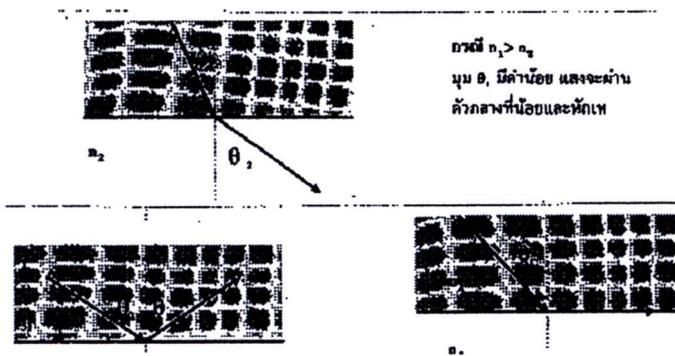
ภาพที่ 2.7 แสงตกกระทบบนตัวกลาง
แล้วทะลุผ่านแบบกระจาย (Redrawn from
Moore ,1993 :282)

4. การหักเห (Refraction)

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบบตัวกลางจะเกิดการทะลุผ่านและหักเหไปจากแนวเดิมแสงเมื่อผ่านตัวกลางผิวเรียบจะเกิดการหักเหหรือสะท้อนกลับ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ถ้ามุมตกกระทบ θ_1 น้อย แสงก็จะผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้ามุมตกกระทบ θ_1 มีค่ามากขึ้นถึงค่าหนึ่งที่แสงไม่ผ่านตัวกลาง และไม่สะท้อนด้วยในกรณีนี้มุมตกกระทบนี้เรียกว่า มุมวิกฤติ θ_c และถ้ามุมตกกระทบ θ_1 มีค่ามากกว่ามุมวิกฤติ ก็ทำให้แสงที่ตกกระทบบสะท้อนกลับออกมาแบบที่จะผ่านตัวกลางไป



ภาพที่ 2.8 แสดงการหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลาง



ภาพที่ 2.9 แสดงการหักเหหรือสะท้อนแสงผ่านตัวกลางสองชนิด

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อนสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

n_1, n_2 คือดัชนีหักเหของวัสดุ 1 และ 2 ตามลำดับ

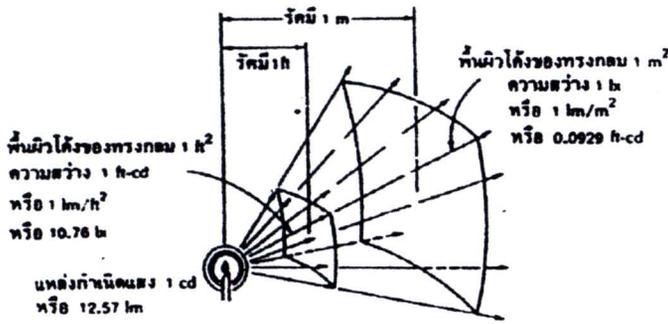
5. การดูดซับ (Absorption and Regradation)

Absorption คือกระบวนการที่พลังงานของการแผ่รังสี ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การแผ่ของรังสีที่มองเห็นจะถูกดูดกลืนในทุกพื้นผิวการสะท้อน พื้นผิวแบบด้าน (matte black surface) ดูดกลืนรังสีตกกระทบบในช่วงที่มองเห็น มักจะใช้สำหรับ light sink

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง

1. แคนเดลา (Candela) เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่างหรือกำลังการส่องสว่าง ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบน blackbody ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของ platinum และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

2. Luminious (Intensity) แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อย luminious flux ออกมาโดยรอบทิศทาง luminious Intensity คือปริมาณของ luminious flux ที่วัดได้ในหน่วยของ lumen เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง ในรูปของปริมาณ luminious flux ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ



ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะของปริมาณแสง luminous flux (พิบูลย์ ดิษฐอุตม , 2521: 13)

3. ฟุตแคนเดิล (Footcandle)

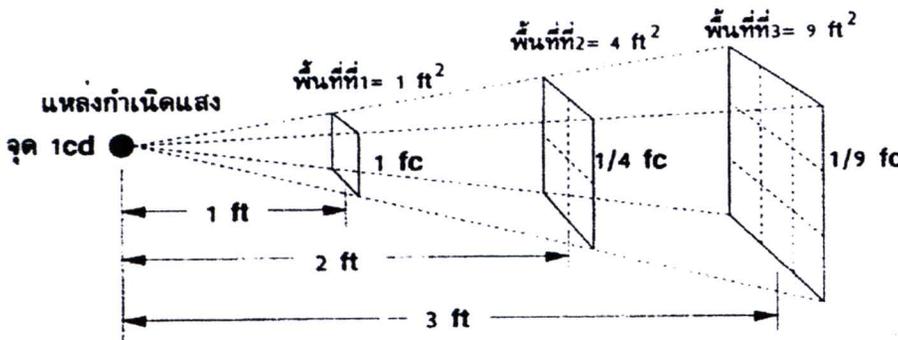
ถ้าหากเรานำแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา ไปวางที่จุดศูนย์กลางทรงกลมรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน จะตกลงทุก 1 ตารางฟุตของผิวทรงกลม ดังนั้นปริมาณการส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต และหากทรงกลมมีรัศมี 1 เมตร ปริมาณการส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต

4. การส่องสว่าง (Illumination)

ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มของการส่องสว่าง (luminous intensity) ของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสองจากพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิลหรือ ลักซ์

$$E = I / D^2 \text{ หน่วย Fc หรือ Lx} \dots\dots\dots(2.3)$$

- E = ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นผิวนั้น
- I = ความเข้มของการส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง
- D = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงแหล่งที่ต้องการคำนวณ



ภาพที่ 2.11 แสดงการกระจายของฟลักซ์จะลดลงโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง (Redrawn from Kaufman ,1984.)

5. ลูมิแนนซ์ หรือความสว่าง

ลูมิแนนซ์ หมายถึง ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุหรือเรียกว่า ความสว่าง หน่วยเป็น แคนเดลา / m² ด้วยแสงปริมาณเดียวกันที่กระทบลงมานับวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ ลูมิแนนซ์ต่างกัน ลูมิแนนซ์ สัมพันธ์กับอิลูมิแนนซ์ดังสมการ

$$L = P \times E/\pi \dots\dots\dots(2.4)$$

- L = ลูมิแนนซ์ แคนเดลา / m²
- P = สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของสีผิว
- E = อิลูมิแนนซ์ ลักซ์

การมองเห็นวัตถุได้ดีหรือไม่ขึ้นกับ ลูมิแนนซ์หรือแสงที่เข้าตาซึ่งขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น วัตถุที่มีผิวด้านเมื่อถูกแสงสว่างจะมองเห็นได้ดีกว่าวัตถุที่มีผิวมัน เพราะถ้ามีแสงตกกระทบวัตถุที่มีผิวมัน แสงสะท้อนไปในทิศทางเดียวกันและไม่เข้าตา ทำให้มองไม่เห็นวัตถุ หรือถ้าหากเข้าตาก็คงมองไม่เห็นเพราะเกิดแสงบาดตา

2.1.4 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง

1. ความเปรียบต่างของความส่องสว่าง (Luminance Contrast)

ความเปรียบต่างความส่องสว่าง คือ ความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างของวัตถุที่มองเห็น กับความส่องสว่างของฉากที่รองรับ ถ้าการเปรียบต่างของความส่องสว่างเพิ่มขึ้น จะทำให้การมองเห็นชัดขึ้นปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุ คือ ความเข้มแสงซึ่งมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล ส่วน ความส่องสว่างของวัตถุที่มองเห็นและความส่องสว่างของฉากที่รองรับ มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต (F) การเปรียบต่างความส่องสว่าง มีสมการดังนี้

$$\text{Contrast} = |L_t - L_b| / L_b \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อ L_t เป็นความส่องสว่างของวัตถุที่มองเห็น

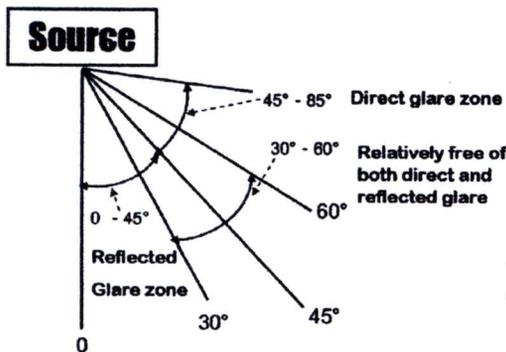
L_b เป็นความส่องสว่างของฉากที่รองรับ

2. ความจ้า (Brightness)

ความจ้า เป็นผลจากแสงสะท้อนออกจากผิววัตถุเข้าสู่ตาเรา เมื่อแสงตกลงบนผิววัตถุ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกมา ความจ้าจะขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการส่องผ่านหรือความสามารถในการสะท้อนแสงของวัตถุ และความสามารถในการปรับตัวของสายตา ความจ้ามีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต (footlambert) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\boxed{FL = F_c \cdot \rho} \quad \text{หรือ} \quad \boxed{FL = F_c \cdot T} \dots\dots\dots(2.6)$$

- โดยที่ FL คือ ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต
- F_c คือ ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล
- ρ คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ (%)
- T คือ ค่าการส่องผ่านของวัตถุ (%)



ภาพที่ 2.12 แสดงการเกิดแสงจ้าในมุมต่างๆ (Stein and Reynolds, 1992: 958)

3. แสงบาดตา (Glare)

แสงบาดตา คือแสงที่เข้าตาทำให้มองเป็นวัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็นเลย ซึ่งเกิดมาจากระดับความแตกต่างของความส่องสว่าง จนเป็นแสงที่ไม่ต้องการให้อยู่ในมุมมอง เนื่องจากความจ้าที่มากเกินไปของแหล่งกำเนิดแสง 1 จุด หรือมากกว่า จนทำให้เกิดความไม่สบายตาในการมอง แสงบาดตาสามารถแบ่งออกได้เป็น

Disability glare เป็นแสงจ้าที่จะทำให้สูญเสียความสามารถในการมองเห็น

Discomfort glare เป็นแสงจ้าที่ทำให้เรารู้สึกไม่สบายตาในการมอง โดยไม่ได้ทำลายความสามารถในการมองเห็นแต่อย่างใด แต่จะรบกวนการมองเห็นทำให้รู้สึกรำคาญสายตาและเสียสมาธิ

Veiling reflected เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการสะท้อนแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องลงไปบน task ที่มี การส่องสว่างที่น้อยกว่า

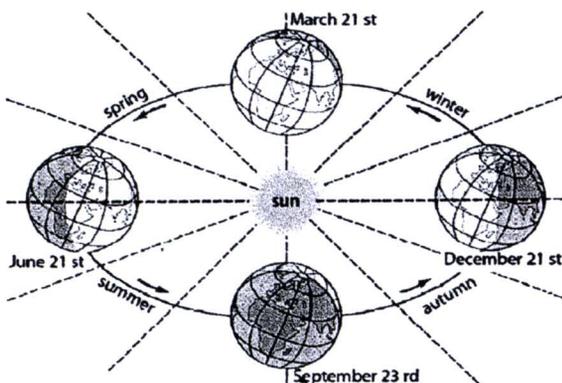
Reflected glare เป็นแสงจ้าที่เกิดจากการมอง task ที่รับแสงจากแหล่งกำเนิดแล้วสะท้อนเข้าสู่ตาเรา แสงบาดตาจากคอมพิวเตอร์ด้วยมุมมองที่ทำกับแนวตั้งจากคอมพิวเตอร์ในส่วนของที่เกินกว่า 45 องศาขึ้นไป ถ้า มองคอมพิวเตอร์มากกว่า 45 องศาแล้ว ยังมีแสงเข้าตามากก็แสดงว่าคอมพิวเตอร์นั้นมีแสงบาดตา

5. ประสิทธิภาพ (Luminous efficacy) หมายถึง ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดแสงย่อมมีประสิทธิภาพแตกต่างกันเช่น

- หลอดอินแคนเดสเซนต์หรือหลอดไส้ทั่วไป มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 10-15 ลูเมน/วัตต์
- หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T12-T8) มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 50-80 ลูเมน/วัตต์
- แสงธรรมชาติ มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 110-115 ลูเมน/วัตต์

การให้แสงสว่างโดยคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงาน ควรเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีค่า ประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะได้แสงที่มีปริมาณมาก เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานเพียงส่วนน้อย

2.1.5 แสงธรรมชาติ (Daylighting)

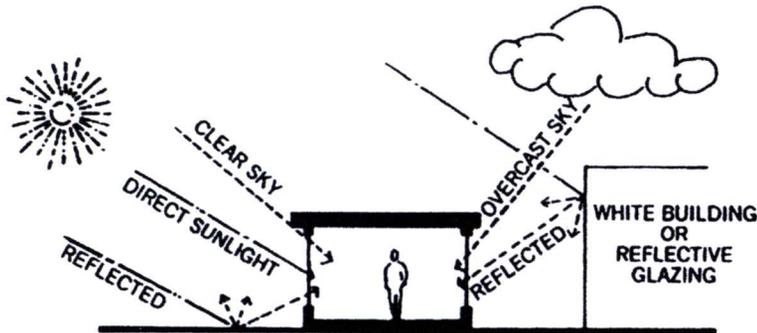


ภาพที่ 2.13 แสดง Sun position :
course of the earth with respect to
the sun

แสงธรรมชาติเป็นแสงที่ให้พลังงานคลื่นแสงครบถ้วน โดยวัตถุที่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสง ธรรมชาติจะให้สีของวัตถุที่ถูกต้องที่สุด โดยในธรรมชาติจะมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ แสงแดดตรง (direct sun) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse illuminance) ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำมาใช้ในอาคาร

แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse illuminance) เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ใน เขตภูมิอากาศเขตร้อนแบบร้อนชื้น (tropical zone) ทำให้มีปริมาณแสงสว่างที่จำเป็นตลอดทั้งปี โดยปกติแล้ว ปริมาณของแสงแดดตรงนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณความส่องสว่าง หากปริมาณของแสงแดดตรงมาก

ปริมาณความสว่างก็มีค่ามากเช่นกัน การนำแสงธรรมชาติไปใช้ในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพ ต้องทำการป้องกันแสงแดดตรงที่ก่อให้เกิดความร้อน และแสงบาดตา ควรใช้เพียงความส่องสว่างจากแสงกระจาย ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลสถิติการวัดค่าปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม ในช่วงเวลา 6.00-18.00 น. ในเขตกรุงเทพมหานคร มาใช้ในการศึกษาประเมินค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติ



ภาพที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบของแสงธรรมชาติ (Lechner,2001:365)

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้า เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน

MONTH /TIME	Hourly mean values of diffuse illuminance (klux) by calendar month (local time)											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
6.00	0.00	0.00	0.00	3.65	4.03	4.20	3.97	3.60	3.27	0.00	0.00	0.00
7.00	5.54	5.13	7.61	9.87	11.93	11.48	10.72	9.52	9.69	9.35	8.21	7.59
8.00	13.43	14.28	18.88	20.27	24.78	22.27	21.37	22.97	20.58	20.99	17.08	14.96
9.00	25.63	26.74	28.66	29.26	37.31	33.49	32.15	35.21	29.77	29.08	26.56	20.01
10.00	33.81	34.95	36.00	33.37	45.92	39.48	40.00	44.32	38.68	35.87	34.46	25.19
11.00	35.17	41.05	38.39	36.28	49.17	43.97	44.53	49.34	41.79	39.30	38.21	29.79
12.00	41.06	43.68	39.49	36.49	44.53	43.38	45.13	50.87	44.62	44.97	37.01	31.68
13.00	44.53	45.31	39.83	41.72	41.79	42.04	44.78	50.80	42.90	39.62	36.01	31.28
14.00	39.96	41.55	38.54	39.01	36.68	43.46	42.50	45.24	38.55	34.14	34.72	30.04
15.00	34.63	35.78	36.43	37.19	30.22	37.08	36.42	37.48	33.16	29.32	26.55	24.51
16.00	24.06	28.13	26.73	26.72	24.56	28.28	28.04	29.00	23.77	21.26	17.84	17.63
17.00	12.83	15.02	18.13	16.21	17.12	18.02	20.45	19.14	13.88	10.13	9.66	8.36
18.00	5.58	5.76	7.83	7.70	7.92	7.59	8.14	8.35	5.56	4.58	0.00	3.78

ที่มา: Jirattananon and Chaiwiwatworakul, 2001: A-16.1

โดยจะนำข้อมูลค่าปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าของกรุงเทพมหานคร มาคำนวณเปรียบเทียบค่า daylight factor (%DF) ขั้นต่ำที่ค่าความสว่างผ่านเกณฑ์ 300 lux



2.1.6 สภาพท้องฟ้า (Sky condition)

โดยทั่วไปสภาพของท้องฟ้าสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1. **สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม (Clear Sky)** ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบคือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse illumination) และแสงจากดวงอาทิตย์ (direct Sun) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (solar altitude) เป็นหลัก โดยมี ความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง ประมาณ 3 เท่า และความส่องสว่างของพื้นผิวแนวระนาบเนื่องแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนท้องฟ้า (half sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล และมีค่าเฉลี่ย 1,000 ฟุตแคนเดิล

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

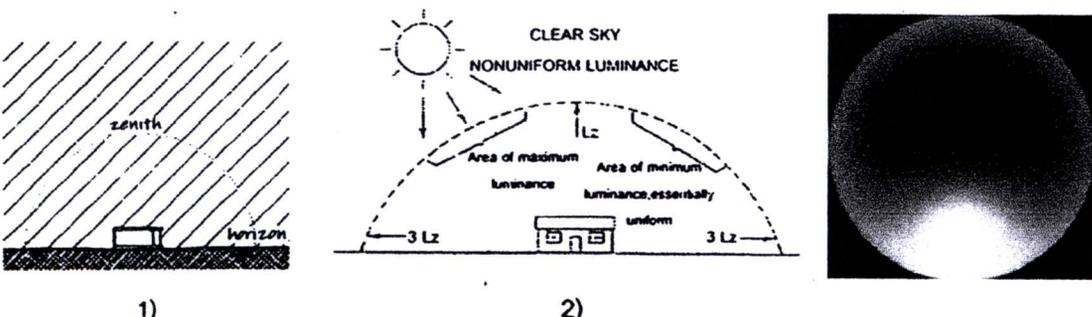
กรณีเกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวสมการได้แก่

$$EH = 1345 + 14,795 \sin A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.7)$$

กรณีเกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว สมการได้แก่

$$\log EH = 4.466 + 0.31 \log A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.8)$$

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับมุม azimuth และ altitude หรือมุม bearing ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้ จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่าง หรือด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุม bearing มีค่ามากกว่า 90 องศา (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุ หรือพื้นผิวใดๆ ที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย



ภาพที่ 2.15 แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ clear sky ((1) Brown and Dekey ,2001:27 (2) Stein and Reynolds,1992: 974)

2. **สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)** การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆตลอดเวลา โดยทั่วไปการพิจารณาค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า แบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนนี้ หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบาง ไม่หนาทึบ (น้อย) ค่าความสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่ามากกว่าค่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10 -15 % เนื่องจากการสะท้อนแสงของเมฆ (Nadamura and Oki, 1983) ในขณะที่การวิจัย (Krochmen,1968) พบว่าค่าความสว่างของท้องฟ้าแบบมี

เมฆปกคลุมบางส่วนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{hp} = 570 A \dots\dots\dots(2.9)$$

E_{hp} คือค่าความส่องสว่างภายนอกที่ระดับระนาบภายใต้ท้องฟ้า partly cloudy sky มีหน่วยเป็น ลักซ์

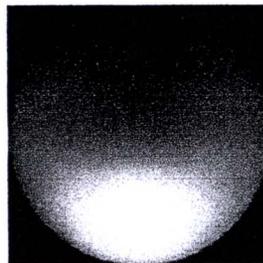
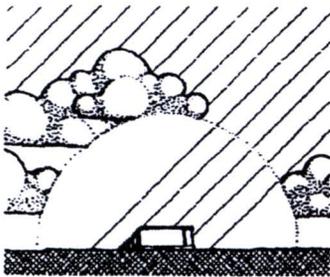
A คือ solar altitude

จากการศึกษา (The gillie prediction model, 1985) อาศัยตรรกะนี้เมฆ หรือ cloud ratio หาความสัมพันธ์ของความส่องสว่างของท้องฟ้าอันเกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Elvegard and Sjustedt, 1940) พบความสัมพันธ์เพื่อหาค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบแนวนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$EH = 0.35 E_s + 0.89 E_c \dots\dots\dots(2.10)$$

โดย E_s คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงตรงของดวงอาทิตย์

E_c คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงกระจายภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง



ภาพที่ 2.16 แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ partly cloudy sky (Brown and Dekey ,2001:27)

3. สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง (Overcast Sky หรือเรียกว่า cie sky) ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (non uniform brightness) ซึ่งความสว่างในระดับสูงสุด (zenith – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (horizon – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่ามีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องด้วยค่าความสว่างของท้องฟ้าที่จุดใดๆ จะพิจารณาจากมุม altitude ของดวงอาทิตย์เหนือระดับแนวระนาบซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$L_A = L_z (1+2 \sin A) /3 \dots\dots\dots(2.11)$$

โดย L_A คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือแนวระนาบในทุกทิศทาง

L_z คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่จุดสูงสุด (zenith)

ดังนั้นความสว่างที่ตำแหน่งแนวระนาบ หรือ ที่มุม $A = 0$ องศาจะมีค่า $= L_z/3$

ส่วนค่าความสว่างที่ระดับสูงสุด zenith luminance จากการศึกษ (Krochman and Sidel) พบว่า

$$L_z = 123+8600 \sin A (cd/sqm) \dots\dots\dots(2.12)$$

โดย A คือ solar altitude

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณีคือ มีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอ (uniform brightness)

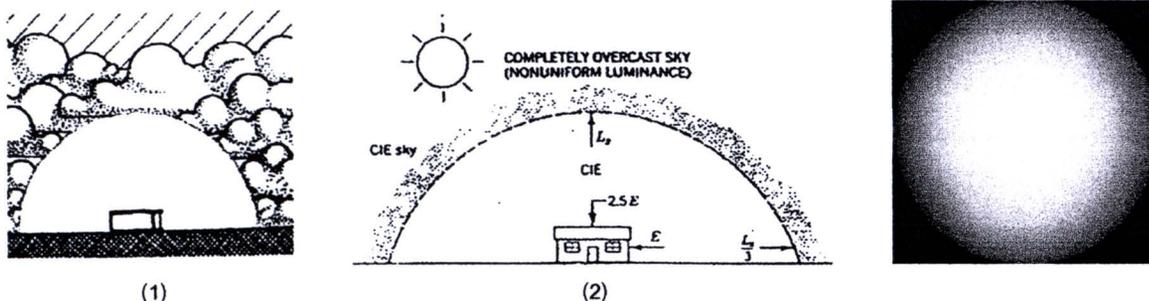
ความสว่างในระดับสูงสุด (zenith – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (horizon – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

จากการวิจัย (Krochmen, 1963) พบว่า ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky จะแปรผันตาม solar altitude สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21,000 \sin A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.13)$$

โดย E_H คือค่าความสว่างภายนอก(lux)ที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้า overcast sky

A คือ solar altitude



ภาพที่ 2.17 แสดงสภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky ((1) Brown and Dekey ,2001:27 (2) Stein and Reynolds,1992: 974)

การพิจารณาสภาพของท้องฟ้า สามารถพิจารณาโดยอาศัยข้อมูลที่เกิดขึ้นเป็นรายชั่วโมง 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)

weather conditions	sunny	partially overcast	overcast
			
global radiation	600 to 1000 W/m ²	200 to 400 W/m ²	50 to 150 W/m ²
percentage of diffuse radiation	10 to 20 %	20 to 80 %	80 to 100 %

ภาพที่ 2.18 Insolation levels for direct light and diffuse light (Hageman , Gebaudeintegrierte Photovoltaik , 2002)

2.1.7 ทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ : (Solar Geometry)

โลกหมุนรอบตัวเองพร้อมๆ ไปด้วยการโคจรเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ใน 1 วันหรือ 24 ชั่วโมงโลกจะหมุนรอบตัวเองครบรอบ จึงทำให้ดูเหมือนว่าดวงอาทิตย์โคจรรอบโลก แต่ละจุดบนพื้นโลกจะมีตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นวงรี พร้อมกับการหมุนรอบตัวเองในแกนเอียง 23.5 องศา ทำให้ตำแหน่งที่แท้จริงของดวงอาทิตย์ในจุดต่างๆ มีความซับซ้อนยากในการที่จะหาค่าที่เที่ยงตรงทั้งในเรื่องของมุมและเวลาที่เปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของโลกและดวงอาทิตย์ การหาค่านี้จึงมักจะทำให้ใกล้เคียงค่าที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด มีการกำหนดเส้น

สมมุติขึ้นมากมาย เพื่อการหาประโยชน์และหลีกเลี่ยงโทษจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งเส้นเหล่านี้จะอ้างอิงกับเส้นละติจูด, ลองจิจูด ซึ่งบ่งบอกตำแหน่งของจุดสังเกต และแกนเอียงของโลก

1. **เส้นรุ้ง (Latitude)** เป็นเส้นสมมุติที่ลากรอบโลกขนานกับเส้นศูนย์สูตร โดยแบ่งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ออกเป็น 90 องศาเท่าๆ กัน

2. **เส้นแวง (Longitude)** เป็นเส้นสมมุติที่ลากจากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้ และในการหาตำแหน่งบนพื้นโลกให้เทียบจากเส้นปฐมเมอริเดียน (prime meridian)

3. **เส้นศูนย์สูตร (Equator)** เป็นเส้นสมมุติที่ลากรอบโลกผ่านระหว่างกึ่งกลางขั้วโลกเหนือและใต้

4. **ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอ้างอิงด้วยมุม 2 มุม คือ**

1) **มุมเอ็ลติจูด (Altitude)** คือมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อระนาบพื้นโลก ณ จุดสังเกตในแนวตั้ง วัดตามเข็มนาฬิกา ช่วงเวลาที่มีค่ามากที่สุดคือ เวลาที่ดวงอาทิตย์ผ่าน meridian (เส้นโค้งวงกลมที่พาดผ่าน zenith ในแนวเหนือใต้ เมื่อจุด zenith คือจุดที่อยู่เหนือขึ้นไปตรงกับจุดที่สังเกตในแนวตั้ง) ได้แก่ช่วงเวลาเที่ยงวัน ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกจะมีค่าเป็น 0 องศา ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดที่สังเกตด้วย

2) **มุมอะซิมุมต์ (Azimuth)** คือมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับเส้นแกนเหนือใต้ที่แท้จริงในแนวระดับ จะมีค่ามากที่สุด คือ 90° เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นและตกและจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลางแกนเหนือหรือใต้หรือมีค่าเท่ากับ 0° ในแต่ละเส้นรุ้ง แอลติจูดของดวงอาทิตย์จะสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำสุดในฤดูหนาว และตำแหน่งที่ใกล้เส้นศูนย์สูตร (equator) ค่าสูงสุดของมุมทางตั้งดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (altitude of sun) จะเปลี่ยนแปลงแต่ละเส้นรุ้ง 23.5 องศาทุกๆ ปี

5. **วันเวลาที่สมดุลย์ (Equinox)**

วันที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร ทุกแห่งบนโลกจะมีเวลากลางวันเท่ากับกลางคืน (12 ชั่วโมง)

สำหรับในวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่าวันที่เวลาสมดุลย์ในฤดูใบไม้ผลิ (vernal equinox)

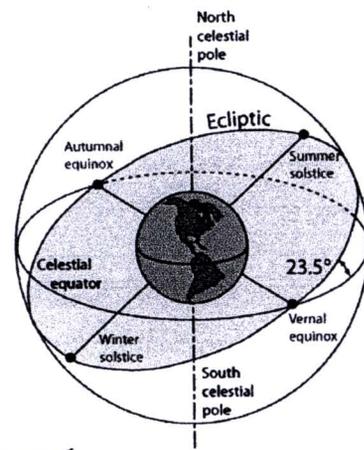
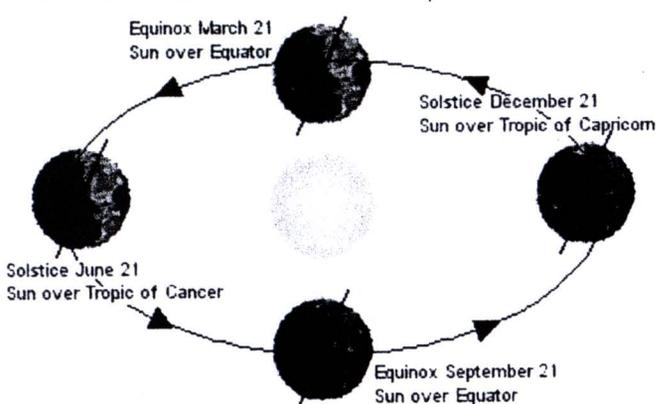
สำหรับในวันที่ 23 กันยายน เรียกว่าวันที่เวลาสมดุลย์ในฤดูใบไม้ร่วง (autumnal equinox)

6. **วันเริ่มฤดูร้อน (Summer Solstice)**

วันเริ่มฤดูร้อน คือวันที่ 22 มิถุนายน เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่วนขั้วโลกใต้จะเบนออกจากดวงอาทิตย์

7. **วันเริ่มฤดูหนาว (Winter Solstice)**

วันเริ่มฤดูหนาว คือวันที่ 22 ธันวาคม เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด และขั้วโลกใต้เบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด



ภาพที่ 2.19 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ , วันเวลาที่สมดุลย์

(equinox), summer solstice และ winter solstice

2.1.8 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar radiation) เกิดจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแลกเปลี่ยนกับผิวโลกที่มีระยะห่างจากกัน 93 ล้านไมล์ เป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้น (short-wave radiation) ในช่วงคลื่นรังสีอุลตราไวโอเล็ต (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 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่อกบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่างกันอันเนื่องมาจากแกนโลกที่เอียง และวงโคจรของโลกที่มีลักษณะเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ห่างดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม (ASHRAE, 1993)

2. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก (Terrestrial radiation) เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกและวัตถุบนพื้นผิวโลกเป็นการแผ่รังสีคลื่นยาว (long-wave radiation) ในช่วงคลื่นเหนืออินฟราเรด (the far infrared region) โดยสามารถพิจารณาออกได้เป็น

- รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Direct solar radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางและพลังงาน
- รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ (Diffuse solar radiation) เป็นพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นรังสีดวงอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่ได้รับจากท้องฟ้าทั้งหมด
- รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์ (Reflected solar radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับจากพื้นที่ผิวที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับ
- รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (Total or global solar radiation) คือพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์บนระนาบระดับต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่

3. ความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (The relationship between daylight and solar radiation) จากการวิจัย (Hopkinson, 1966) พบว่าปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25° และจะเท่ากับ 90 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5° ถึง 25° ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ อีกเช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพบรรยากาศเป็นต้น

2.1.9 การพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ

การประเมินแสงธรรมชาติ (Daylighting evaluation issues) สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

- 1) การคำนวณปริมาณแสงสว่าง (illuminance calculation)
- 2) การวัดระดับปริมาณแสงสว่าง (illuminance measurement)
- 3) การคำนวณแสงจ้า (glare index calculation)
- 4) การเปรียบเทียบค่าส่องสว่าง (luminance ratio : LR)

1) การคำนวณปริมาณแสงสว่าง เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายใน โดยวัดค่าเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล หรือลักซ์ ในการคำนวณมีองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญ คือ สภาพท้องฟ้า ดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบที่สะท้อนแสง ระหว่างกัน (interreflected component) สภาพท้องฟ้าและดวงอาทิตย์เป็นองค์ประกอบที่ทำให้เกิดแสงสว่างโดยตรง ส่วนองค์ประกอบที่สะท้อนแสงระหว่างกันเป็นผลจากการที่แสงอาทิตย์ (sunlight) และแสงจากท้องฟ้า (skylight) ตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุแล้วสะท้อนมายังจุดที่ต้องการ การคำนวณปริมาณการส่องสว่างขององค์ประกอบเหล่านี้ทำได้โดยการคำนวณที่จุด (point) ที่กำหนดหรือค่าเฉลี่ยของทั้งพื้นผิว มีวิธีการในการคำนวณอยู่ 3 วิธี คือ

- 1.1) Lumen Method
- 1.2) Daylight Factor Method
- 1.3) Flux Transfer Method

ในงานวิจัยนี้จะเสนอเพียง lumen method และ daylight factor method ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.1) Lumen Method ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1950 โดย Griffith และทีมงาน (Griffith et al., 1957) ผู้ซึ่งพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของแสง (coefficient of utilization) เป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่งในระดับที่กำหนดภายในอาคาร จากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องแสงเข้ามาในขณะนั้น ในบางครั้งอาจเรียกวิธีการนี้ว่า lumen input method หรือ total flux method การพิจารณามีความแตกต่างจากวิธีการ daylight factor method ที่ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคารที่มีพื้นที่ห้องขนาดใหญ่ ซึ่ง ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้วิธี daylight factor ไม่ได้ หากห้องที่พิจารณามีพื้นที่ขนาดเล็ก ปริมาณแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร และแสงสะท้อนจากพื้นผิวภายในมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในห้องนั้น จึงต้องพิจารณาโดยวิธี lumen method ซึ่งรวมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติ

การพิจารณาโดยวิธี lumen method ถือว่าระดับของช่องเปิดที่อยู่ในระดับเท่ากันหรือสูงกว่าระดับ working plane เท่านั้นที่จะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในระดับ working plane ส่วนช่องเปิดที่อยู่ระดับต่ำกว่าถือว่ามีผลน้อยมาก และความกว้างของช่องแสงถือว่ามีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติโดยวิธี lumen method มีสมการมาตรฐานในการคำนวณ ดังนี้

$$E_{sp} = E_{ev} * A_g * T_g * CU \dots \dots \dots (2.14)$$

เมื่อ E_{sp} = ค่าระดับความส่องสว่างภายในที่จุดใด ๆ ที่พิจารณา

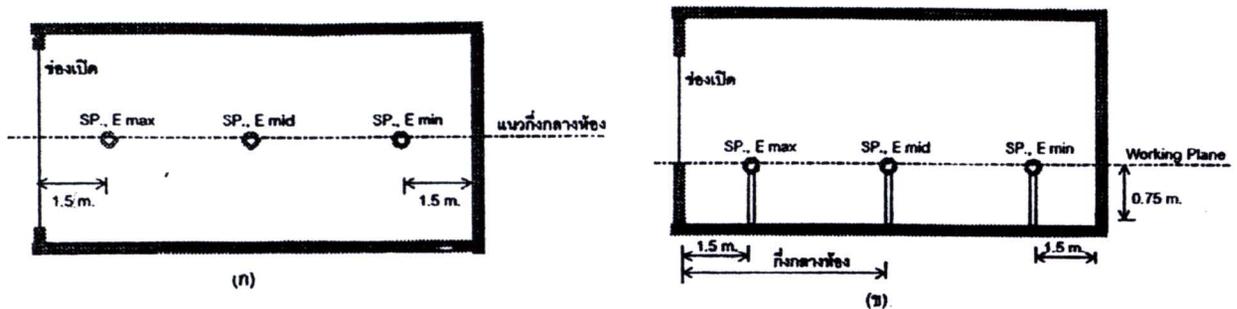
E_{ev} = ค่าระดับความส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าหรือจากพื้นดินที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้ง

A_g = พื้นที่ส่วนของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้

T_g = ค่าการส่องผ่านของวัสดุของช่องเปิด

CU = Coefficient of Utilization หรือค่าความสามารถในการนำแสงมาใช้

การพิจารณาค่า CU สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบบน จุดใด ๆ ในห้องต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนช่องเปิด ประกอบด้วยแสงจากท้องฟ้าและแสงสะท้อนของพื้นดิน ดังนั้นค่า CU จะถูกพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบของขนาด รูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของห้องในระดับระนาบที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และองค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้อง ค่าสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย K ส่วนค่าการส่องสว่างภายนอก E_{ev} จะพิจารณาเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกัน คือ ค่าการส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าโดยมีทิศจากบนลงล่าง (downward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย E_{sv} และค่าการส่องสว่างภายนอกอื่นเนื่องมาจากแสงสะท้อนจากพื้นดินมีทิศจากล่างขึ้นบน เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย E_{gv}



ภาพที่ 2.20 แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี lumen method
(ก) มังพื้นแสดงตำแหน่ง Sp, E (ข) รูปตัดแสดงตำแหน่ง Sp, E

นอกจากนี้ยังมีการใช้คำนวณปริมาณแสงสว่างจากแสงธรรมชาติรวมกับการคำนวณจากแสงประดิษฐ์ โดยวิธีของ IES (IES method) ในการออกแบบหน้าต่างหรือช่องเปิดด้านบนในพื้นที่ขนาดใหญ่ ประยุกต์เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแสงที่ผ่านช่องเปิด ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (light loss factor) ของแสงประดิษฐ์ และระดับแสงธรรมชาติภายใน ปัจจุบันใน IESNA lighting handbook (IESNA 1993) ได้แสดงตารางของค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานและสูตรการคำนวณต่างๆ ทั้งสำหรับช่องเปิดด้านข้างและช่องเปิดด้านบน

1.2) Daylight factor Method ถูกพัฒนาขึ้นในอังกฤษปี ค.ศ. 1920 และโดย The Commission International De L'eclairage (CIE) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในยุโรป สามารถใช้ได้กับหน้าต่างได้ทุกขนาดและสามารถคำนวณได้ทุกจุดในพื้นที่ วิธีกรนี้ใช้ได้เฉพาะกับสภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky และ clear sky เท่านั้น โดยการหาค่า daylight factor หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณความสว่างภายนอกต่อภายในที่จุดใดๆ บนพื้นระนาบนอน โดยเป็นแสงจากท้องฟ้าที่ไม่มีอุปสรรคกีดขวาง (ไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์) แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ปริมาณแสงที่ตกลงบนจุดที่ต้องการหาค่าแบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ

1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า Sky Component (SC) โดยสภาพของท้องฟ้าจะเห็นได้ในหลาย



สภาพ เช่น ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (clear sky) หรือที่ปกคลุมด้วยเมฆจนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (complete overcast sky) เหล่านี้มีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น

2. องค์ประกอบภายนอก Externally Reflected Component (ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารภายนอกข้างเคียง แสงส่องผ่านเข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงขึ้นอยู่กับทิศทางหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ

3. องค์ประกอบภายใน Internally Reflected Component (IRC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่อยู่ในอาคารโดยได้รับแสงจาก SC และ ERC และปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ เช่นเดียวกับ ERC การกำหนดค่า daylight factor (%DF) ก็คือ สัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใด ๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร โดยไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่โดนแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (excluded direct sun) ค่าที่ได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ผลรวมของทั้ง 3 จะเป็นค่า Daylight Factor (DF = SC + ERC + IRC) The building research establishment (formerly building research station) ในอังกฤษได้พัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการประมาณค่าขององค์ประกอบทั้ง 3 ได้อย่างรวดเร็วขึ้นสำหรับสภาพท้องฟ้า แบบ overcast sky และ clear sky อุปกรณ์ประกอบด้วย protractor, ไม้ และ monogram

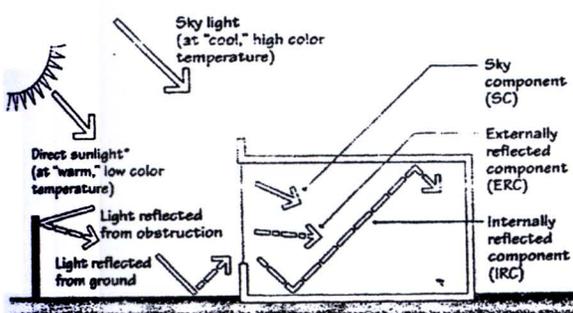
สูตรคำนวณค่า Daylight factor (%DF.)

จากสูตร $%DF = (E_{in} \times \text{dirt factor} \times \text{glazing transmittance}) \times 100 \dots\dots\dots(2.15)$

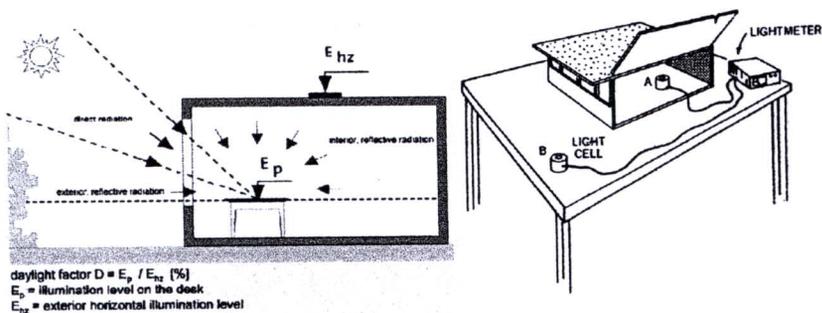
E_{ext}

โดย E_{in} = inside illuminance at a fixed point
E_{ext} = outside horizontal illuminance

เช่น หาก DF. มีค่าเท่ากับ 10% หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้น ๆ ได้รับปริมาณแสงเท่ากับ 10% ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ



ภาพที่ 2.21 แสดงองค์ประกอบของการพิจารณาความสว่างแบบ daylight factor (Egan and Olgyay,2002:



ภาพที่ 2.22 แสดงการคำนวณแสงสว่างด้วยวิธี daylight factor (A.wagner, Energieeffiziente Fenster and Verglasung ,2007)

แม้ว่าค่า DF จะไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของแสงที่แน่นอน แต่สามารถเป็นตัวชี้ได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ หรือมีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ มีการกำหนดช่วงของค่า %DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ เช่น

daylight factor	< 1%	> 1% < 2%	> 2% < 4%	> 4% < 7%	> 7% < 12%	> 12%			
Zone of the room	very low	low	moderate	medium	high	very high			
impression of brightness	far away from the window 3 or 4 times of the window height			close to the window					
visual impression of the room	dark		bright		very bright				
athmosphere	this zone..... seems to be separated..... from this zone			the room seems to be closed			the room opens to the exterior		

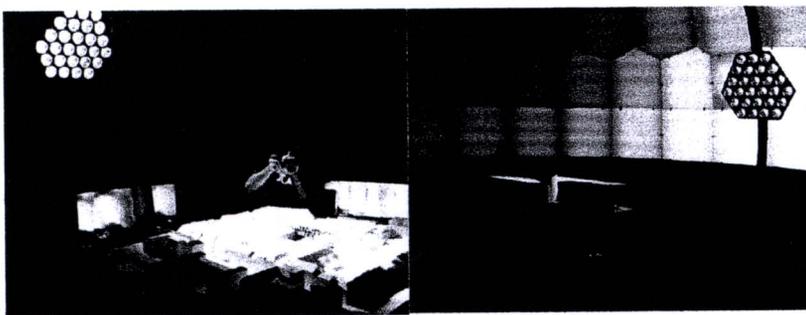
ตารางที่ 2.3 Evaluation of indoor daylight situation by daylight factor (Bundesamt für Konjunkturfragen, Ravel, Licht , Grundlagen der Beleuchtung,1994)

ตารางที่ 2.4 แสดงค่า daylight factor ที่เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ

No.	ลักษณะของการใช้งาน	ค่า daylight factor (%)	หมายเหตุ
1	การอ่านหนังสือ และการใช้งานปกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5 - 2.5	การศึกษาพิจารณาใช้ 2 % (300-500 lux) สำหรับสำนักงาน(โดยดูการพิจารณาค่า daylight factor ที่ 2%DF เทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือนได้จากภาคผนวก ข.3)
2	การอ่านหนังสือ หรืองานที่ต้องใช้สายตาในที่หนึ่งๆในช่วงเวลานานพอสมควร หรืองานที่อาจจะต้องมีอุปกรณ์เสริม ซึ่งไม่มีอันตรายมาก	2.5 - 4.0	
3	งานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ต้องระมัดระวังอันตราย	4.0 - 8.0	

ที่มา : B. Stein and J. Reynolds, Mechanical and electrical equipment for building, 11th ed. (New York : John Wiley & Sons Co., 1998) , 197

2. การวัดปริมาณความสว่าง ในหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงหรือท้องฟ้าจำลอง ไม่เพียงแต่จะเป็นการพิจารณาระดับปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น แต่ช่วยในการพิจารณาทางด้านการมองเห็นด้วยตาด้วย การใช้อุปกรณ์ในการวัดแสง (photometric measurement) วัดค่าในหุ่นจำลองเป็นค่าปริมาณความส่องสว่างที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพราะว่าการใช้วิธีนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่องค์ประกอบต่างๆ อยู่ภายใต้สภาพความจริงและสัดส่วนของหุ่นจำลองก็ใกล้เคียงกับสภาพของอาคารจริง ด้วยเหตุผลเหล่านี้เมื่ออาคารมีความซับซ้อนมากการศึกษาด้วยหุ่นจำลองจะให้ผลของปริมาณค่าความสว่างที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด



ภาพที่ 2.23 การวัดปริมาณความสว่างภายใต้ sky dome or artificial sky (fbta,2009)

3. การคำนวณอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (Luminance ratio) มีวิธีการอยู่หลายวิธีที่จะศึกษาในส่วนของคุณภาพของแสง (visual quality) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของความสว่างในตำแหน่งที่ทำการวัด (visual task area) กับพื้นที่โดยรอบ โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้กับค่าที่แนะนำไว้ จะเป็นประโยชน์สำหรับการพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของแสง

2.1.10 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง

การกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆ กันนั้นโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA), IES (BS) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้สอยและสภาพอากาศ มีผลทำให้ค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งได้แก่ มาตรฐาน CIE (International Commission on Illumination) จะกำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย หรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ เช่น

- ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปกติให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่าง ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าผู้ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

	ประเภทการใช้งาน(a)	มาตรฐาน CIE(lx)	มาตรฐาน IES(lx)	พื้นที่ใช้งาน (lx)(b)
1.	ทางเดินและพื้นที่ทำงานภายนอก	20-30-50	20-30-50	Public spaces with dark surrounding
2.	ทางเดินภายใน และการแวะผ่านระยะสั้น	50-75-100	50-75-100	Simple orientation for short temporary visits
3.	ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100-150-200	100-150-200	Working space where visual tasks are only occasionally performed
4.	งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงาน ,งานชิ้นใหญ่	200-300-500	200-300-500	Performance of visual tasks of high contrast or large size
5.	งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300-500-750	200-300-500	
6.	งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	Performance of visual tasks of medium contrast or small size
7.	งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	750-1000-1500	500-750-1000	
8.	งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000-1500-2000	1000-1500-2000	Performance of visual tasks of very small size
			2000-3000-5000	Performance of visual tasks of low contrast or very small size, Prolonged period
9.	งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด	>2000	5000-7500-10,000	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
			>10,000	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

ที่มา: (a) ชำนาญ ห่อเกียรติ , 2540 : 1-6

(b) IES, Illuminating Engineering Society : Reference volume, 1981 : A 3

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง CIE และ IESNA และมาตรฐานการกำหนดค่า daylight factor ตามประเภทพื้นที่ใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lx) CIE (a)	ค่าการส่องสว่าง (lx) IES (b)	ค่า Daylight factor (%)DF (c)		
			เฉลี่ย	ขั้นต่ำ	จุดที่วัด
พื้นที่ทั่วไป					
ทางเดิน	50-100-150	50-75-100	2.0	0.6	พื้น
บันได-บันไดเลื่อน	100-150-200	100-150-200	2.0	0.6	ลูกนอน
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
พื้นที่สำนักงาน					
พื้นที่ทั่วไป	300-500-750	500-750-1000	5.0	2.5	Work plane
คอมพิวเตอร์, พิมพ์ดีด	300-500-750	500-750-1000	5.0	2.5	Work plane
เขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	5.0	2.5	Work plane
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500			Work plane
โถงทางเข้า		100-150-200	2.0	0.6	
พื้นที่ห้องสมุด					
หนังสือ	150-200-300	200-300-500	5.0	1.5	Vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300-500-750	200-300-500	5.0	1.5	Work plane
เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	5.0	2.0	Work plane
ห้องประชุม					
เอนกประสงค์	150-200-300	200-300-500	5.0	2.5	Work plane

ที่มา (a) : คมกฤษ ชูเกียรติมัน ,2540:46 อ้างถึงใน (a) ชำนาญ ห่อเกียรติ , 2540: 1-6

(b) : IES, Illuminating Engineering Society : Reference Volume,1981 : A 3

(c) : (BSI Draft for development : อ้างถึงใน The chartered institution of building services engineers London, 1987: 31)

ตารางที่ 2.7 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ

		อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ
1.	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบ	1 to 1/3
2.	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่มีดีกว่า	1 to 1/10
3.	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่สว่างกว่า	1 to 10
4.	ระหว่างอุปกรณ์โคมไฟ (หรือช่องเปิด) กับพื้นที่โดยรอบ	20 to 1
5.	ทุกตำแหน่งในมุมมองที่มองเห็น	40 to 1

2.1.11 ทฤษฎีเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านความส่องสว่างที่มีคุณภาพ และลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยรูปแบบของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารสามารถจำแนกได้ 2 รูปแบบได้แก่

1. การนำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาทางด้านข้างอาคาร (Side-lighting)
2. การนำแสงธรรมชาติผ่านทางด้านบนอาคาร (Top-lighting)

โดยการศึกษาจะศึกษาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือการนำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาทางด้านข้างอาคาร

1. แสงธรรมชาติจากด้านข้างอาคาร (Side-lighting)

เป็นแสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารจากแหล่งกำเนิดแสงได้หลายทาง เช่น แสงจากท้องฟ้า (SC) แสงจากการสะท้อน surface ภายนอกอาคาร (ERC) และการสะท้อนแสงภายในอาคาร (IRC) จากการศึกษาพบว่า ข้อดีคือช่วยสร้างทัศนวิสัยที่ดี เหมาะสมกับการใช้งาน แต่ก็มีข้อเสียมาจากการที่หน้าต่างประเภทนี้อยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถทนต่อความจ้าเมื่อมองได้เพียงที่ระดับ 170 ฟุตแลมเบิร์ตเท่านั้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2541 : 94 อ้างถึงใน Flynn, 1988) ในการใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องใช้กระจกของช่องแสงที่มีความสามารถในการตัดแสงร่วมด้วย(มีค่า SC ต่ำ) เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายทางด้านสายตาเมื่อมองสู่ภายนอก แต่กระจกตัดแสงจะส่งผลให้มีแสงธรรมชาติที่มีความส่องสว่างเพียงพอต่อการใช้งานเพียง 2-3 เมตรจากช่องเปิดอาคารเท่านั้น ซึ่งแนวคิดการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่านั้นจะต้องนำเข้ามาได้ลึกที่สุด จึงควรมีการเลือกใช้ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานภายใน

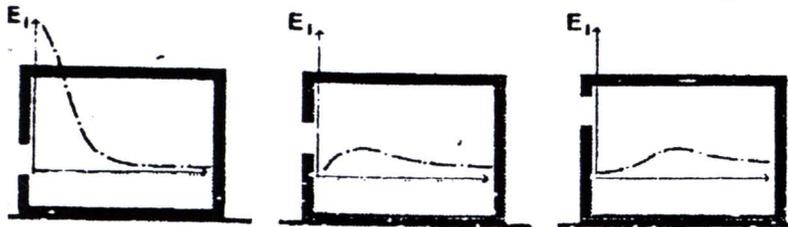
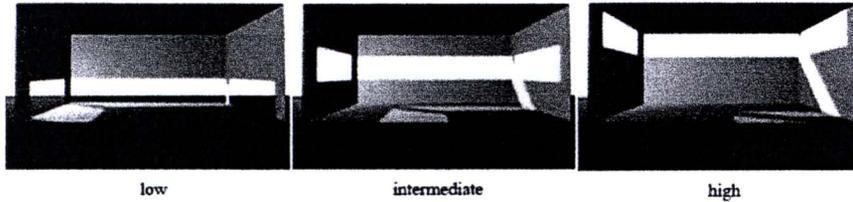
ปริมาณความสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงาน (Working plane) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงกับระนาบนั้นๆ โดยองศาที่แสงตกกระทบนี้ จะแปรผกผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ ถ้ามุมยิ่งน้อยปริมาณแสงสว่างบนระนาบใช้งานก็จะยิ่งมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างคุ้มค่า

2. ตำแหน่งของหน้าต่างด้านข้าง มีผลต่อประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) หน้าต่างช่วงล่าง (Lower windows) มีความสูงจากพื้น 0.90-1.50 เมตร ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณโดยรอบ ซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับสายตา เช่น แสงสะท้อนจากพื้นดิน พื้นผิวที่สะท้อนแสง ใช้กับส่วนทางเดินที่ไม่จำเป็นต้องใช้แสงที่มากหรือบริเวณที่ต้องการเน้นความสนใจส่วนพื้น โดยข้อดีของหน้าต่างช่วงล่างนี้คือไม่มีปัญหาเรื่องความจ้าและความร้อนจากแสงแดด แต่ก็มีข้อเสียเกี่ยวกับความเปรียบต่าง (contrast) ระหว่างแฉนวนผนังช่วงบนเหนือหน้าต่างกับบริเวณฝ้าเพดาน และการจำกัดทัศนวิสัยทางการมอง

2) หน้าต้างช่วงกลาง (Middle windows) เป็นรูปแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไป มีความสูงจากระดับพื้นห้อง 0.90-2.00 เมตร ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณโดยรอบ หน้าต้างช่วงกลางนี้ช่วยสร้างทัศนวิสัยทางการมองที่ดีกว่าแบบอื่นเนื่องจากอยู่ในระดับสายตามุ่งความสนใจในระดับของการทำงานต่างๆ ที่ต้องการความรู้สึกเป็นทางการและปลอดภัย แต่ในด้านประสิทธิภาพในการรับแสงสะท้อนจากพื้นดินไม่ดีเท่าหน้าต่างช่วงล่าง และการกระจายแสงไม่ดีเท่าหน้าต่างช่วงบน โดยความจ้าจะอยู่บริเวณที่ใกล้หน้าต่าง อาจต้องมีการพิจารณาการใช้ความลาดเอียงของกระจกและอุปกรณ์บังแดดประกอบ

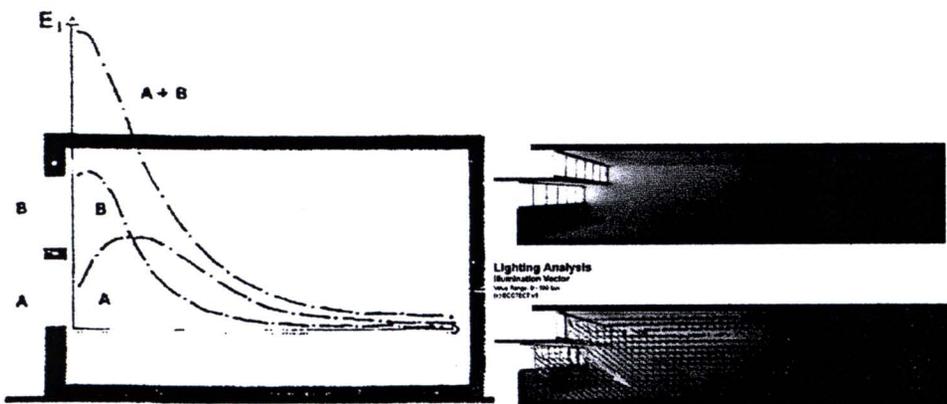
3) หน้าต่างช่วงบน (Upper windows) สูงจากพื้น 2.00 ม. ขึ้นไป แสงธรรมชาติทั้งแสงแดดตรงและแสงกระจาย ผ่านเข้ามาภายในได้ลึกกว่าทุกแบบ ทำให้เกิดการมุ่งความสนใจสู่ส่วนเพดาน เกิดบรรยากาศความน่าพิศมสำหรับพื้นที่พักผ่อนหรือบริเวณอื่นที่ต้องการแสงบริเวณการทำงานน้อย และเนื่องจากอยู่เหนือระดับสายตาจึงไม่มีปัญหาเรื่องความจ้าของแสง แต่ก็มีข้อเสียเกี่ยวกับทัศนวิสัยทางการมองเห็นที่ด้อยกว่าแบบอื่น และค่าความส่องสว่างบริเวณใกล้ช่องแสงจะไม่เพียงพอ



ภาพที่ 2.24 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน จากหน้าต่างแบบต่างๆ (Majoros, 1998 :38)

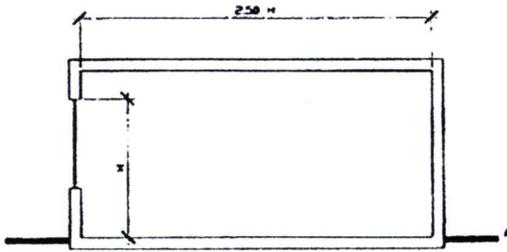
1) หน้าต่างช่วงล่าง 2) หน้าต่างช่วงกลาง 3) หน้าต่างช่วงบน

อย่างไรก็ตามการออกแบบหน้าต่างที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในได้เพียงพอและลึกที่สุด คือการพิจารณาการใช้หน้าต่างแบบแยกส่วน (split window design) ที่มีการประสานระหว่างหน้าต่างช่วงกลางกับหน้าต่างช่วงบน



ภาพที่ 2.25 แสดงการผสมผสานหน้าต่างช่วงกลางและช่วงบน (split window design) เพื่อเพิ่มค่าความส่องสว่างภายใน (Majoros, 1998 :38)

3. หลักการออกแบบหน้าต่างด้านข้าง สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบหน้าต่างคือ ทิศทางของหน้าต่าง (orientation) เป็นลำดับแรก ซึ่งมีผลกับคุณภาพของแสง, การมองเห็น และความร้อนที่ได้รับ ลำดับถัดมาคือการพิจารณาความสัมพันธ์ของขนาดหน้าต่างมีผลต่อสภาพการส่องสว่างภายใน โดยทั่วไปสัดส่วนหน้าต่างมีความสัมพันธ์กับลักษณะการส่องสว่าง 2 กรณี คือ ความสัมพันธ์กับปริมาณแสงและลักษณะการกระจายแสงที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายในแนวกว้าง แนวยาวและแนวตั้ง โดยความลึกของห้องนั้นไม่ควรเกิน 2.5 H เมื่อ H คือความสูงของช่องแสง

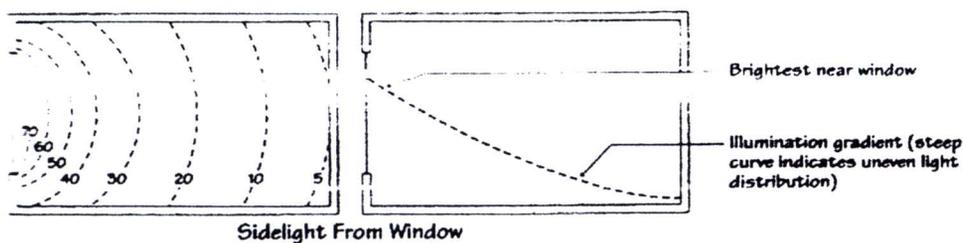


ภาพที่ 2.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของช่องแสงกับระยะของความส่องสว่างที่ได้รับ

ซึ่งความสูง และความกว้างของหน้าต่างจะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความลึกในการส่องสว่างของแสงที่ผ่านเข้ามาภายใน ส่วนความกว้างจะมีผลต่อปริมาณการส่องสว่างภายใน

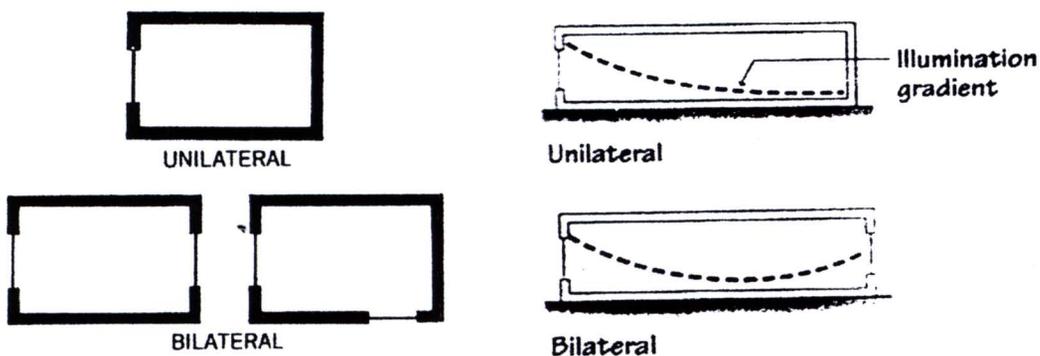
4. ข้อควรพิจารณาในการออกแบบหน้าต่างของอาคาร

1) การเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารนั้น ทำได้โดยการติดตั้งหน้าต่างที่ตำแหน่งสูงและกำหนดระยะฝ้าเพดานที่สูง จะช่วยกระจายแสงไปได้ไกลขึ้น(ดูรูปที่ 2.28) การเปรียบเทียบปริมาณของค่าความส่องสว่างภายในจากหน้าต่างแบบต่างๆประกอบ) นอกจากนั้นหน้าต่างแนวอนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้มากกว่าทางแนวดิ่ง ซึ่งพื้นที่ที่หน้าต่างควรมากกว่า 20 % ของพื้นที่ห้อง (Lechner , 2001:376) ซึ่งแสงสว่างจะมีปริมาณสูงสุดบริเวณหน้าต่าง และลดลงตามระยะที่มากขึ้น



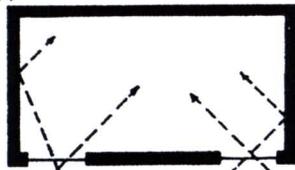
ภาพที่ 2.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างที่ลดลงเมื่อระยะห่างจากช่องเปิดเพิ่มขึ้น (Egan and Olgyay,2002 : 319)

2) การนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารเพื่อเพิ่มปริมาณการส่องสว่าง และลดความจำที่เกิดจากความเปรียบต่างภายในอาคารควรติดตั้งหน้าต่างตั้งแต่ 2 ด้านขึ้นไป จะมีประสิทธิภาพดีกว่าหน้าต่างเพียงด้านเดียว



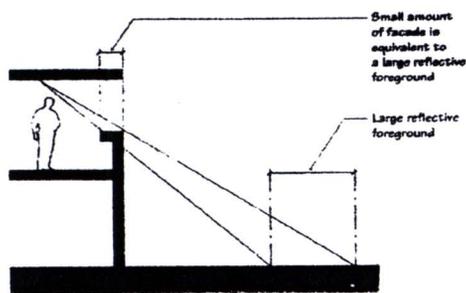
ภาพที่ 2.28 แสดงการออกแบบช่องแสงด้านเดียว / 2ด้าน ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร (Egan and Olgyay,2002 : 112)

3) ควรติดตั้งหน้าต่างไว้ใกล้กับผนังภายในอาคาร เนื่องจากผนังภายในอาคารจะเป็นเสมือนตัวที่ช่วยสะท้อนรังสีตรงของแสงอาทิตย์ให้เป็นแสงกระจาย มีผลทำให้ห้องสว่างขึ้นและช่วยลดค่าความแปรปรวนระหว่างหน้าต่างและผนังลง



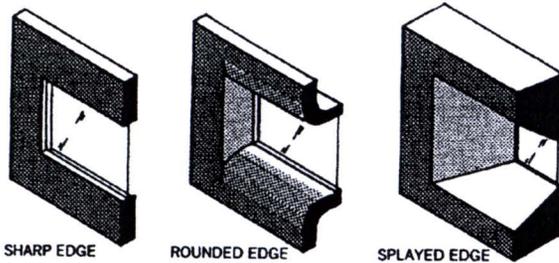
ภาพที่ 2.29 แสดงการติดตั้งช่องแสงไว้ใกล้กับผนังภายในอาคารเพื่อการสะท้อนแสง (Lechner , 2001 : 376)

4) ปริมาณแสงสะท้อนจากการขยายขอบหน้าต่างบนผนังจะเท่ากับแสงสะท้อนจากพื้นดินด้านล่างซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างภายใน



ภาพที่ 2.30 แสดงสัดส่วนของแสงสะท้อนจากขอบหน้าต่างกับแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก (Egan and Olgyay,2002 : 93)

5) การขยายขอบหน้าต่าง ไม่ว่าจะเป็นลักษณะเรียบตรงหรือผิวโค้งมีส่วนช่วยกระจายแสงจากภายนอกเข้าภายในอาคาร ทำให้ระดับความส่องสว่างภายในเพิ่มขึ้น

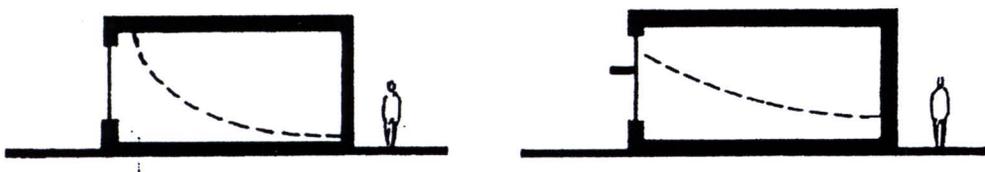


ภาพที่ 2.31 แสดงการใช้ขอบหน้าต่างลักษณะต่างๆเพื่อเตรียมการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าในอาคาร (Lechner ,2001 : 377)

6) พิจารณาการใช้อุปกรณ์บังแดดและหิ้งสะท้อนแสงเพื่อป้องกันรังสีตรงจากแสงอาทิตย์และช่วยสะท้อนแสงขึ้นบนฝ้าเพดานเพื่อกระจายแสงให้เกิดความสม่ำเสมอ

2.1.12 หิ้งสะท้อนแสง (Light shelves)

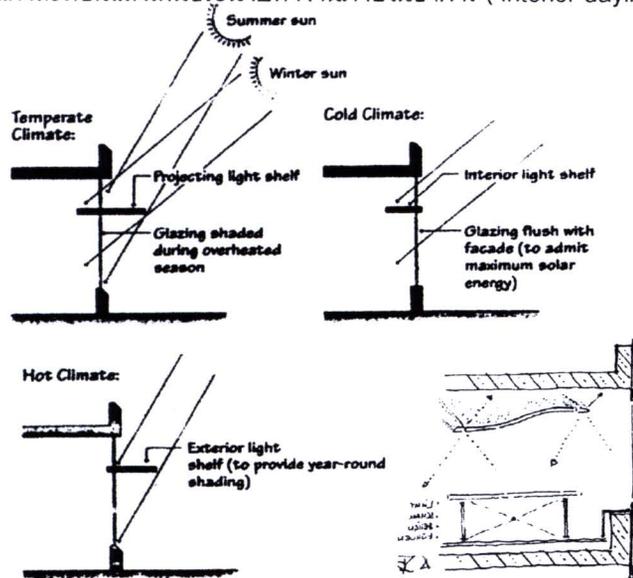
Light shelves เป็นเทคโนโลยีที่รวมประสิทธิภาพของแผงกันแดด(shading device) และอุปกรณ์ในการสะท้อนแสงไว้ในสิ่งเดียวกัน โดยใช้กับหน้าต่างแบบแยกส่วน (split windows) ทำให้สามารถป้องกันแดดให้กับหน้าต่างส่วนล่างและสะท้อนแสงผ่านหน้าต่างส่วนบนขึ้นสู่ฝ้าเพดาน ทำช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่างภายในอาคาร



ภาพที่ 2.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในระหว่างอาคารที่มีการใช้ช่องเปิดปกติกับใช้หิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิด (Lechner , 2001 : 371)

1. รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง มีความแตกต่างกันไป โดยการพิจารณาใช้ระบบหิ้งสะท้อนแสงกับอาคารนั้นควรพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเป็นหลัก โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

- 1.) หิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (Exterior lightshelves) สำหรับภูมิอากาศเขตร้อน
- 2.) หิ้งสะท้อนแสงภายในอาคาร (Interior lightshelves) สำหรับภูมิอากาศเขตหนาว
- 3.) หิ้งสะท้อนแสงแบบผสม (Combined lightshelves) สำหรับภูมิอากาศเขตอบอุ่น
- 4.) แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร (Interior daylighting panels)



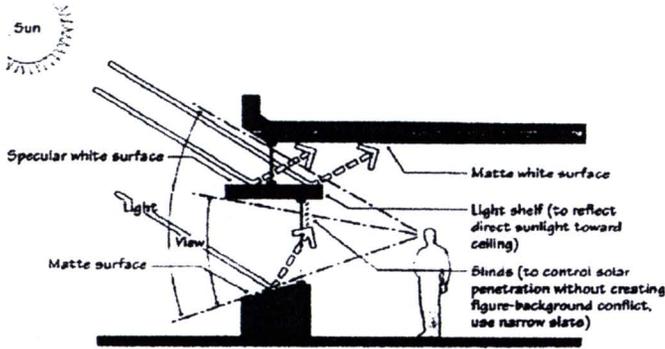
ภาพที่ 2.33 แสดงรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง (Egan and Olgyay, 2002 : 120)



ภาพที่ 2.34 แสดงรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง (Claude, 1986 : 121)

2. แนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนี้

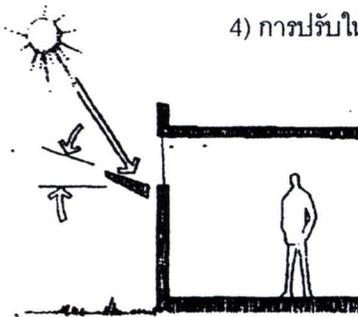
- 1) รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง
- 2) ความสูงในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง จะต้องคำนึงถึงระดับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสะท้อนของแสงอาทิตย์ขึ้นบนผ้าเพดานเป็นสำคัญ จึงควรติดตั้งที่ระดับเหนือศีรษะ 1.65 - 2.00 ม. ซึ่งเป็นระดับความสูงที่ดีที่สุด เพราะอยู่เหนือสายตาและเป็นระดับความสูงโดยทั่วไปของประตู-หน้าต่าง



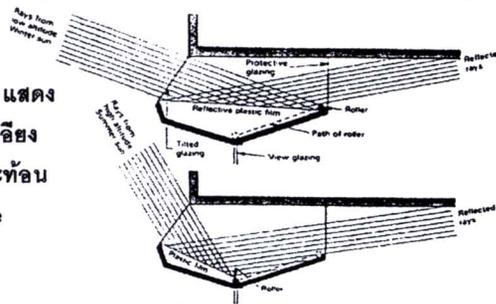
ภาพที่ 2.35 แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการออกแบบห้องสะท้อนแสง (Egan and Olgyay, 2002 : 117)

3) ความลึก ขึ้นอยู่กับพื้นที่ใช้สอยภายใน ตลอดจนทิศทาง , ตำแหน่งและความสูงของหน้าต่าง ที่ต้องการบังแดดให้กับช่องเปิดและ ลดความต่างระหว่างปริมาณความส่องสว่างบริเวณใกล้หน้าต่างและส่วนที่ไกลออกไป

4) การปรับให้ห้องสะท้อนแสงมีมุมเอียงขึ้นมีส่วนช่วยในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในมากขึ้น



ภาพที่ 2.36 แสดง การปรับมุมเอียงขึ้นของห้องสะท้อนแสง (Moore ,1991:89)



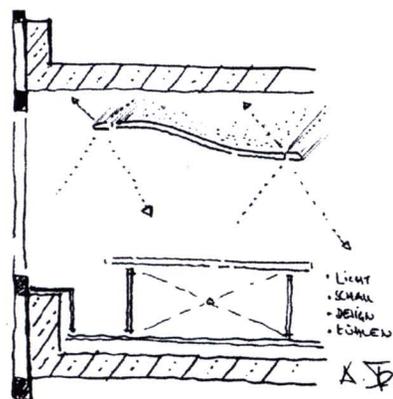
ภาพที่ 2.37 แสดงรูปตัดห้องสะท้อนแสงที่สามารถปรับแผ่นฟิล์มสะท้อนแสงได้ตามฤดูกาล (Light : The lumious environment ,125)

5) วัสดุและพื้นผิวของห้องสะท้อนแสงที่มีลักษณะมันเงา มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น อีกทั้งการเลือกวัสดุที่เหมาะสมและดูแลรักษาได้ง่าย ก็จะส่งผลต่อความสามารถในการสะท้อนแสงเช่นกัน

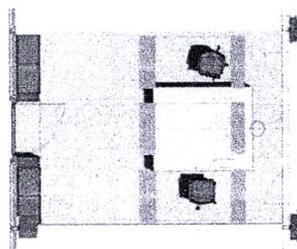
3. แนวทางการออกแบบ Interior daylighting panels หรือแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร

โครงการสัมมนา Higher education course on lighting system design and simulation (2552) กล่าวถึง interior daylighting panels ว่าเป็นการพัฒนาแนวคิดมาจากระบบห้องสะท้อนแสงและประกอบด้วยคุณสมบัติ (integration of different functions) ดังนี้

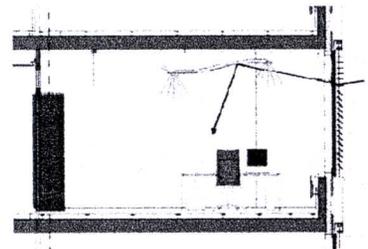
- 1) Daylighting deflection
- 2) Integration of daylight and artificial light
- 3) Acoustics
- 4) Cooling
- 5) Design



ภาพที่ 2.38 แสดงการใช้ Interior daylighting panel ในอาคารสำนักงาน (Higher education course on lighting system design and simulation , 2552)



floor plan



section

ซึ่งแนวทางในการออกแบบ daylighting panels ควรคำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพดังนี้

1) รูปทรงของ interior daylighting panels พบว่า ผิวตรงจะทำให้แสงสะท้อนมีลักษณะเป็นลำแสงที่ควบคุมทิศทางได้ ในขณะที่ผิวโค้งจะเกลี่ยแสงสะท้อนให้เกิดการกระจาย



ภาพที่ 2.39 แสดงลักษณะของรูปทรงที่มีผลกับรูปแบบการสะท้อนแสง (Lechner,2001 : 382)

2) คุณสมบัติของวัสดุ มีผลต่อประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงของ daylighting panels ในลักษณะการเป็น reflector เพื่อเพิ่มความส่องสว่างบน task area จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อแผ่นสะท้อนแสง (reflector) สามารถจำแนกชนิดของพื้นผิว (surface) ได้ดังนี้

- Specular surface
- Diffuse surface
- Spreading surface
- Absorption and regradation surface

ซึ่งจะพบว่าวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงและมีค่าการสะท้อนแสงกระจายต่ำ จึงทำให้ควบคุมทิศทางการสะท้อนแสงลงบนพื้นที่ที่ต้องการได้

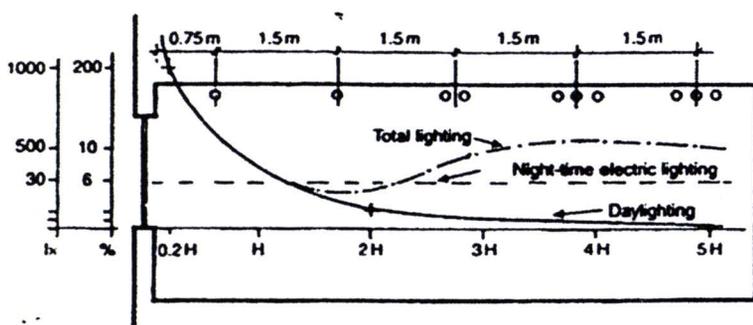
3) ความสูง/ระดับในการติดตั้งมีอิทธิพลต่อระดับความส่องสว่างบน task area และการเกิดแสงบาดตาจากการวิเคระห์มุมเงยของผู้ใช้งาน

4) ขนาดของ interior daylighting panels พิจารณาใช้ระยะห่างของการเรียงไฟประดิษฐ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นตัวกำหนดขนาดที่ครอบคลุมพื้นที่ทำงานหรือ task area

5) ระยะและการเรียงตัวเป็นแถวที่ห่างจากช่องเปิดน้อยจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความส่องสว่างบน task area ได้มากกว่าแถวที่อยู่ห่างจากช่องเปิดอาคารออกไป

2.1.13 การผสมผสานระหว่างแสงธรรมชาติกับแสงประดิษฐ์

ความแปรปรวนของแสงธรรมชาติทำให้ความส่องสว่างภายในอาคารสำนักงานไม่คงที่ จึงไม่สามารถตอบสนองต่อสภาวะนำสบายทางด้านสายตาได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการใช้แสงประดิษฐ์เสริมจากแสงธรรมชาติจึงมีความจำเป็น ที่ควรนำมาพิจารณา



ภาพที่ 2.40 แสดงการ Integration daylighting and artificial light (The luminous environment , 1986 : 141)

1. การออกแบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร จัดเป็นสิ่งสำคัญมากในการให้ความสว่างภายในอาคาร ต้องพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานทั้งในแง่ของปริมาณความส่องสว่าง และคุณภาพของแสง รวมถึงตำแหน่งการจัดวางดวงโคมด้วย ในการออกแบบระบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคารมีวิธีการคำนวณหลายรูปแบบ ซึ่งแล้วแต่ผู้ออกแบบจะเลือกใช้ตามความเหมาะสม

การคำนวณการส่องสว่างแบบลูเมน ส่วนมากใช้กับพื้นที่ที่ต้องการความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ และรวมถึงผลกระทบของการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้เป็นผนัง พื้นและเพดาน เหมาะสำหรับอาคารประเภทที่ควบคุมการใช้ปริมาณแสงมากเช่น ห้องเรียน สำนักงาน ห้องประชุม เป็นต้น การคำนวณวิธีนี้มีข้อเสียตรงที่ค่อนข้างเสียเวลามาก โดยการคำนวณการส่องสว่างแบบลูเมนใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$E = N \times L \times MF \times CU / A \dots \dots \dots (2.16)$$

โดย E คือ ความส่องสว่างมีหน่วยเป็นลักซ์ (lx)

N คือ จำนวนหลอดไฟ

L คือ ปริมาณแสง มีหน่วยเป็น ลูเมน/หลอด

MF คือ เฟคเตอร์การบำรุงรักษา

CU คือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน

A คือ พื้นที่มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

ค่า E, MF และ CU เป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดได้ตามมาตรฐานของบริษัทที่นำผลิตหลอดไฟ เช่น ค่า E เป็นค่าที่กำหนดมาตรฐานความสว่างภายในพื้นที่ส่วนนั้น ตามมาตรฐานของ IES หรือ CIE แล้วแต่การเลือกใช้ของผู้ออกแบบ เช่น ความสว่างของพื้นที่ทำงานในส่วนสำนักงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ 500 lux เป็นต้น

ค่า MF เป็นการพิจารณาถึงความบ่อยครั้งในการดูแลทำความสะอาดหลอดไฟ ซึ่งมีผลต่อการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า เช่น พื้นที่ที่ทำความสะอาดบ่อย จะมีค่า MF สูง เช่นห้องเด็กอ่อนในโรงพยาบาลมีค่า MF=0.9 ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีการทำความสะอาดเป็นครั้งคราวใช้ MF = 0.75 -0.80 แต่ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีการทำความสะอาดน้อย เช่น ห้องเก็บของ มีค่า MF =0.5 เป็นต้น

ในส่วนของค่า CU เป็นอัตราส่วนของสัดส่วนของปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมและ สะท้อน ผนัง ผนัง และเพดานก่อนลงมาถึงโต๊ะ ต่อปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอด โดยค่า CU เป็นค่าที่ผู้ผลิตระบุมาพร้อมกับตารางคุณสมบัติของหลอดนั้นๆ

ก่อนที่จะทราบถึงค่า CU จากตารางของผู้ผลิตหลอดไฟ ต้องทราบถึงค่า RCR (Room Cavity Ratio) สำหรับโคมมาตรฐานของประเทศอเมริกา หรือ ค่า K (K Index) ตามมาตรฐานของยุโรปและประเทศญี่ปุ่น เพื่อนำไปเปิดตารางหาค่า CU ได้อย่างถูกต้อง โดยที่ค่า RCR และ K คำนวณได้จากสมการ

$$RCR = 5 \times H \times (L+W) / (L \times W) \dots \dots \dots (2.17)$$

$$K = (L \times W) / (L \times W) \dots \dots \dots (2.18)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของห้อง มีหน่วยเป็นเมตร

W คือ ความกว้างของห้อง มีหน่วยเป็นเมตร

H คือ ความสูงจากโต๊ะทำงานถึงตำแหน่งของดวงโคม มีหน่วยเป็นเมตร

2. พลังงานไฟฟ้าจากการเพิ่มค่าความสว่างภายในอาคาร โดยคำนวณหาปริมาณพลังงาน ไฟฟ้าจากการเพิ่มค่าความสว่างภายใน โดยแสงประดิษฐ์ ซึ่งพิจารณาได้จากสมการคือ

$$\text{Total watt of lamp} = \frac{\text{illuminance} \times \text{Area}}{\text{Efficacy} \times (\text{CU} \times \text{LLF})} \dots\dots\dots(2.19)$$

โดย Total watt of lamp คือพลังงานที่ใช้ในส่วนของทำให้ความสว่างเพิ่ม ไม่รวมการสูญเสียพลังงานของบัลลาสต์ (วัตต์-ชั่วโมง)

Illuminance	คือ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งานที่ต้องการเพิ่ม (lx)
Area	คือ พื้นที่ที่พิจารณาเพิ่มค่าความสว่าง (ตารางเมตร)
Efficacy	คือ ประสิทธิภาพของดวงโคม หรือหลอดไฟ
CU	คือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน(coefficient of utilization)
LLF	คือ ค่าตัวประกอบที่มีผลทำให้ปริมาณแสงลดลง (light loss factor)
โดย	LLF = RSDD x LDD x LSD x LLD x BF x LAT x VLF x LBO.....(2.20)
RSDD	คือ ความเสื่อมของพื้นผิวห้องสกปรก (room surface dirt depreciation)
LDD	คือ ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของหลอดไฟ (lamp lumen depreciation)
LSD	คือ ความสกปรกของดวงโคม (luminaire surface depreciation)
LLD	คือ ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (luminaire dirt depreciation)
BF	คือ ค่าตัวประกอบของบัลลาสต์ (ballast factor)
LAT	คือ ค่าตัวประกอบอุณหภูมิโดยรอบของหลอด (luminaire ambient temperature)
VLF	คือ ค่าแรงดันกำลังไฟฟ้าของหลอด (voltage to luminaire)
LBO	คือ ค่าตัวประกอบของหลอดไฟเสีย (lamp burn out)

ซึ่ง RSDD LDD และ LLD เป็นค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่วนค่า BF x LAT x VLF x LBO x LSD โดยทั่วไปนั้นมีค่าเท่ากับ 1

3. การคิด Heat gain ของแสงประดิษฐ์ และการประมาณการค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี

จากสูตร

$$\text{Heat gain from artificial light (Btu/hr.)} = \text{total (Watt)} \times \text{Uf}(0.8) \times 3.4 \text{ Btu/watt-hr} \dots\dots\dots(2.21)$$

โดย Utilization factor (decimal)	= 1
conversion of heat to space	= 0.8
conversion factor	= 3.4 Btu/watt-hr

$$\text{Lighting Energy load (kW)} = \text{total connected lighting (Watt)} \times \text{No.of hours} / 1000 \dots\dots\dots(2.22)$$



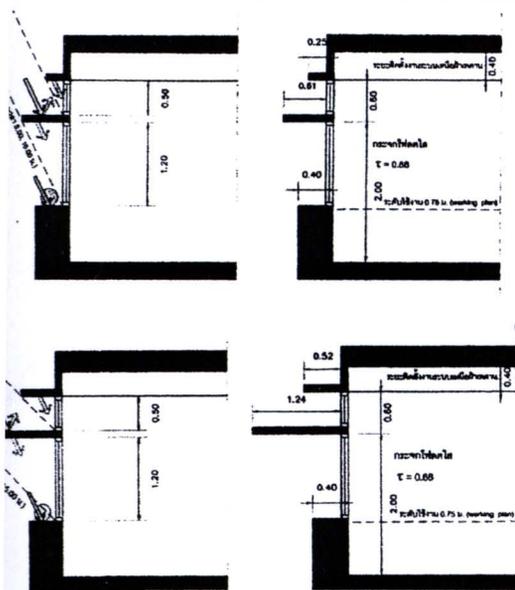
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

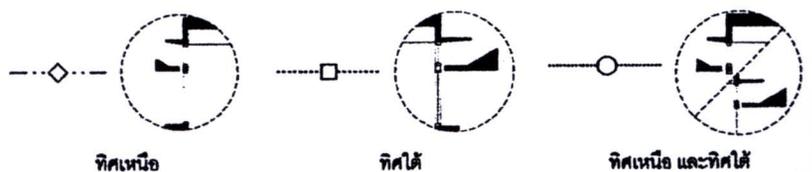
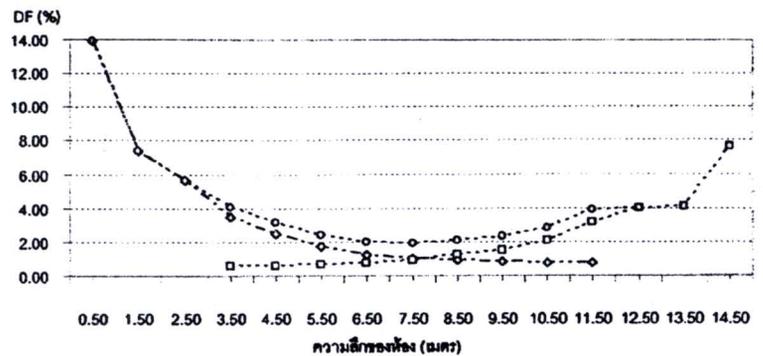
1. งานวิจัยของ ชัยวัฒน์ มุติศานต์ เรื่องปัจจัยกายภาพห้องสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

จากการศึกษางานวิจัยของ ชัยวัฒน์ มุติศานต์ สามารถสรุปรูปแบบตัวแปรของ light shelves ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อนำมาต่อยอดการศึกษาได้ดังนี้ ตารางที่ 2.8 สรุปผลการศึกษาดัชนีการกายภาพ และตัวแปรแวดล้อมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพห้องสะท้อนแสงของ ชัยวัฒน์ มุติศานต์ (ชัยวัฒน์ , 2548 : 134)

ลำดับ	รูปแบบตัวแปร	สรุปผลการทดลอง	ระยะที่แสงธรรมชาติเพียงพอต่อการใช้งาน	
			ทิศเหนือ (m.)	ทิศใต้ (m.)
ตัวแปรกายภาพห้องสะท้อนแสง				
1.	รูปแบบห้องสะท้อนแสง	ห้องสะท้อนแสงแบบภายนอกอาคาร	4.18	3.59
2.	ระยะความลึกของห้องสะท้อนแสง	ขนาดปกติ		
3.	รูปแบบการสะท้อนของวัสดุ	Specular reflect.	4.80	4.03
4.	ระดับความสูงที่ใช้ในการติดตั้ง	ติดตั้งที่ความสูง 2.00 เมตร	4.18	3.59
5.	มุมองศาที่ใช้ในการติดตั้ง	ติดตั้งที่มุม 0 องศา	4.43	3.80
ตัวแปรแวดล้อมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพห้องสะท้อนแสง				
1.	ขอบหน้าต่าง	แบบภายนอกอาคาร	4.43	3.80
2.	มุมองศาขอบหน้าต่าง	0 องศา		
3.	อุปกรณ์บังแดดแนวนอน	แบบยื่นตรง	4.18	3.59
4.	กระจกช่องเปิด	กระจกโพลีใส		
การทดลองปรับองศาห้องสะท้อนแสงเพื่อหาต้นแบบห้องสะท้อนแสง				
1.	องศาห้องสะท้อนแสง	ห้องสะท้อนแสงมุม 30 องศา	5.18	4.61



ตัวแทนห้องสะท้อนแสง



ต้นแบบห้องสะท้อนแสงที่มีการปรับมุม 30 องศา

ภาพที่ 2.42 สรุปผลการศึกษาปัจจัยกายภาพห้องสะท้อนแสงของนายชัยวัฒน์ มุติศานต์ (ชัยวัฒน์ , 2548)

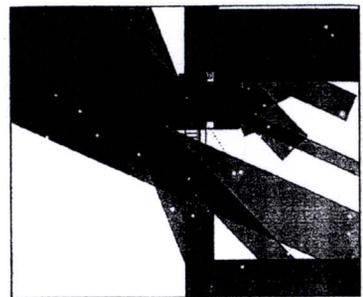
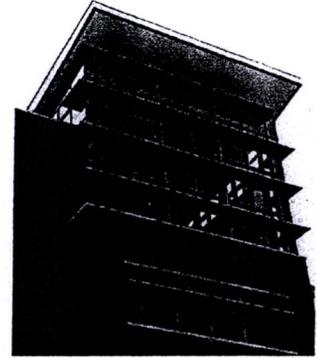
2.2.2 กรณีศึกษาพัฒนาการหึ่งสะท้อนแสงในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

1. กรณีศึกษาหึ่งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร

1) อาคาร Johnson center

ตารางที่ 2.9 แสดงการสรุปตัวแปรหึ่งสะท้อนแสงอาคาร Johnson center

กรณีศึกษา	รายละเอียด
1. ชื่ออาคาร	อาคาร Johnson center
2. สถาปนิกผู้ออกแบบ	William McDonough และทีมงาน Charlottesville Virginia
3. ประเภทของอาคาร	Office building
4. รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Light shelves แบบผสมรูปทรงเรียบตรง
5. ขนาด light shelves	1.00 เมตร
6. คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	พื้นผิวมันวาวสะท้อนแสงแบบเสมือน กระจกเงา (specular reflect.)
7. ตำแหน่งติดตั้ง Light shelves	2.00 ม.
8. สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ใช้ขอบหน้าต่างทั้งภายนอกและภายใน
9. รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านกระจกใสรอบช่องเปิดของสำนักงานเพื่อมุมมองที่ดีและให้ทุกพื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติ ใช้การบังแดดให้ช่องเปิดและสะท้อนแสงเข้าภายในผ่านช่องแสงส่วนบน (clerestory) ด้วยระบบหึ่งสะท้อนแสงและมีการบังแดดหึ่งสะท้อนแสงในอาคารด้วยระยະย่นเหนือหน้าต่างยาวประมาณ 45 cm.
10. วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ป้องกันแสงแดดตรง, ความร้อนและแสงจ้า ด้วยหึ่งสะท้อนแสงแบบแยกชั้น ข้อเสีย : กระจกช่องแสงส่วนล่างได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงเกิดเป็นความร้อนสะสม

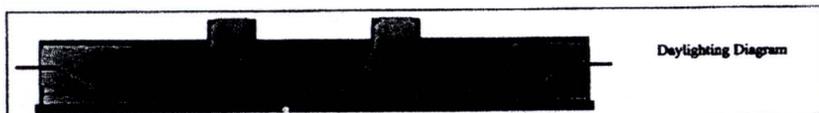
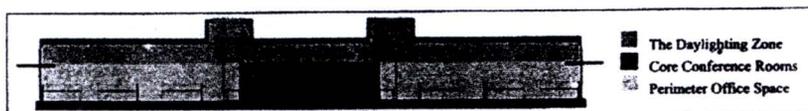
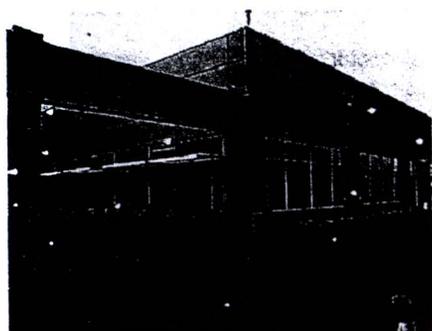
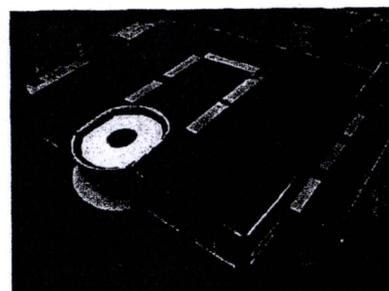


ภาพที่ 2.43 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร Johnson center (Ander, 1995 : 143 -147)

2) อาคาร Automotive industry office / Warehouse

ตารางที่ 2.10 แสดงการสรุปตัวแปรหึ่งสะท้อนแสงอาคาร Automotive industry office

กรณศึกษา	รายละเอียด
1. ชื่ออาคาร	อาคาร Automotive industry office / Warehouse
2. สถาปนิกผู้ออกแบบ	Group Mackenzie, Robert Thompson, Project Architecture, Portland, Oregon
3. ประเภทของอาคาร	Office building
4. รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Light shelves แบบผสมรูปทรงเรียบตรง
5. ขนาด light shelves	1.50 เมตร
6. คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	พื้นผิวด้านสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflect.)
7. ตำแหน่งติดตั้ง light shelves	2.00 ม.
8. สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ใช้ช่องแสงด้านบน top light เสริม
9. รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างของอาคารในทิศตะวันออก-ตะวันตก ที่ฝั่งลึกจากแนวผนังเข้าไป ใช้การบังแดดและสะท้อนแสงเข้าภายในอาคารด้วยหึ่งสะท้อนแสงแบบผสม นอกจากนี้ยังได้มีการนำช่องแสงด้านบน (sky light) เข้ามาผสมผสานการใช้งานกับช่องเปิดด้านข้างเพื่อให้ระดับการส่องสว่างภายในมีความสม่ำเสมอยิ่งขึ้น
10. วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : การใช้ top light เสริม side light ทำให้พื้นที่ภายในมีความสว่างมาก ข้อเสีย : อาคารเปิดช่องเปิดแนวออก-ตกทำให้ได้รับแดดและเกิดความร้อนมาก

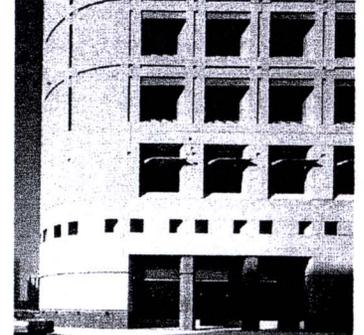
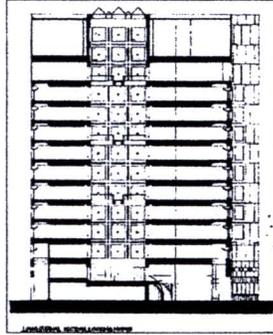
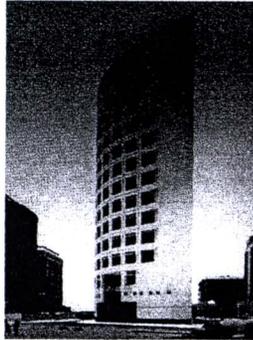


ภาพที่ 2.44 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร Automotive industry office / Warehouse ด้วยเทคนิคการใช้ช่องแสงด้านข้างร่วมกับช่องแสงส่วนบน (Ander, 1995 : 130 – 136)

2. กรณีศึกษาหิ้งสะท้อนแสงภายในอาคารและเหนือระนาบใช้งาน

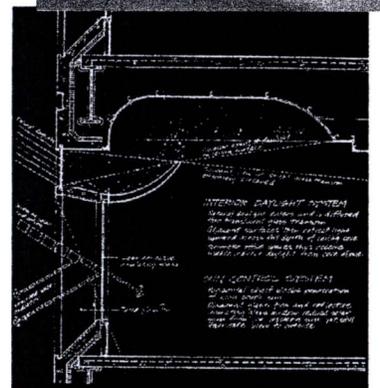
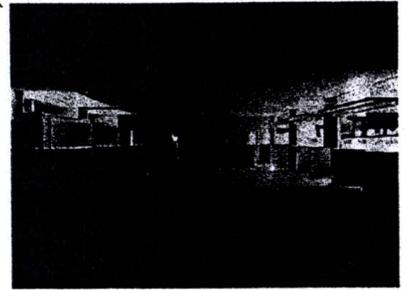
1) อาคาร United gulf bank

ภาพที่ 2.45 แสดงการนำเสนอ
ธรรมชาติผ่านด้านข้างอาคาร
ด้วย light shelves และ
controlled windows ในอาคาร
United gulf Bank (Gregg D.
Ander, 1995:117-120)

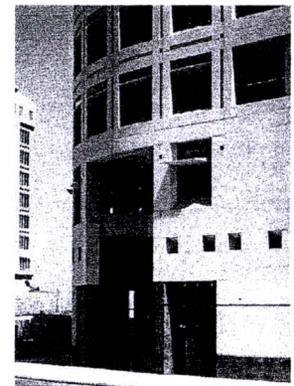


ตารางที่ 2.11 แสดงการสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงอาคาร United Gulf bank

กรณีศึกษา	รายละเอียด
1. ชื่ออาคาร	อาคาร United gulf bank
2. สถาปนิกผู้ออกแบบ	Skidmore,Owings & Merrill LLP (Adrain Smith, FAIA และทีมงาน)
3. ประเภทของอาคาร	Office building
4. รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Light shelves ภายในรูปทรงโค้ง
5. ขนาด light shelves	1.20 เมตร
6. คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	พื้นผิวมันวาวสะท้อนแสงเหมือนกระจก เงาบางส่วน (spread reflect.)
7. ตำแหน่งติดตั้ง light shelves	2.00 ม.
8. สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ปรับผ้าเพดานโค้งและปรับองศาของขอบ หน้าต่าง
9. รายละเอียดเกี่ยวกับการนำเสนอธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำเสนอธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างอาคารที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง ซึ่งมีผลทำให้ เปลี่ยนแสงตรงที่ผ่านกระจกไปรังแสงมาขึ้นเป็นแสงกระจาย ขึ้นสู่ผ้าเพดานโค้งด้านบน และกระจายความสว่างได้อย่างทั่วถึงพื้นที่ใช้งานด้านล่าง
10. วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ให้แสงที่นุ่มนวล จากผิวโค้งของหิ้งสะท้อนแสงและผ้าเพดานภายใน ข้อเสีย : กระจกช่องแสงส่วนล่างได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงเกิดเป็นความร้อนสะสม



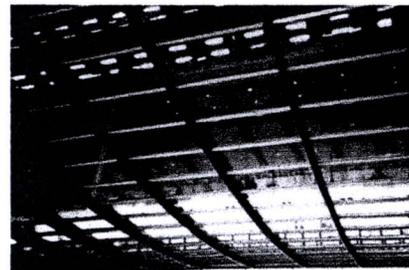
ภาพที่ 2.46 แสดงการใช้ interior
curved lightshelves ในอาคาร
United gulf bank (Gregg D.
Ander, 1995:117-120)



2) อาคาร Hong Kong Shanghai bank , Hong Kong

ตารางที่ 2.12 แสดงการสรุปตัวแปรหนึ่งสะท้อนแสงอาคาร Hong Kong Shanghai bank

	กรณีศึกษา	รายละเอียด
1.	ชื่ออาคาร	อาคาร Hong Kong Shanghai bank , Hong Kong
2.	สถาปนิกผู้ออกแบบ	Norman Foster
3.	ประเภทของอาคาร	Office building
4.	รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Reflectors (another way of thinking about light shelves)
5.	ขนาด light shelves	ทั้งฝ้าเพดานภายในอาคารส่วน Atrium
6.	คุณสมบัติของวัสดุ light shelves	Specular reflectors สะท้อนแสงแบบกระจกเงา
7.	ตำแหน่งติดตั้ง light shelves	บนฝ้าเพดานภายในอาคาร
8.	สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ light shelves	ใช้ฝ้าเพดานโค้งและระดับในการบังคับแสงสู่ส่วนที่ต้องการ
9.	รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาด้านข้างอาคารผสมผสานกับการใช้ reflectors วัสดุ specular ภายใต้แนวคิดเดียวกับระบบ light shelves ในการสะท้อนแสงลงสู่พื้นที่ใช้งานด้านล่างของส่วน atrium
10.	วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ช่วย reflect แสงที่ผ่านมาจากด้านข้างอาคารตกบนพื้นที่ใช้งานภายในอาคารมากขึ้น ข้อเสีย : วัสดุ specular อาจทำให้เกิดแสง glare บริเวณใกล้ช่องแสง

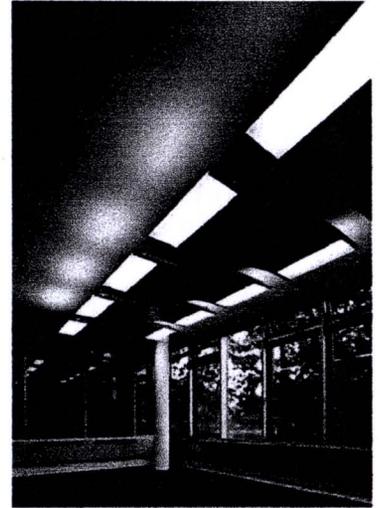


ภาพที่ 2.47 แสดงการใช้ specular reflectors (another way of thinking about light shelves) บน atrium อาคาร Hong Kong Shanghai bank (Alison G.Kwok and Walter T. Grondzik : 84)

3) อาคาร KfW Ostarkade bank building Ostarkade, Frankfurt

ตารางที่ 2.13 แสดงการสรุปตัวแปรหึ่งสะท้อนแสงอาคาร KfW Ostarkade Bank

	กรณีศึกษา	รายละเอียด
1.	ชื่ออาคาร	อาคาร KfW Ostarkade bank building Ostarkade, Frankfurt
2.	สถาปนิกผู้ออกแบบ	
3.	ประเภทของอาคาร	Office building
4.	รูปแบบ light shelves ที่ใช้	Interior daylighting panels แบบ curve
5.	ขนาดของ lighting panels	1.50 เมตร
6.	คุณสมบัติวัสดุของ panels	ใช้พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจาย
7.	ตำแหน่งติดตั้ง lighting panels	2.50 ม.
8.	สิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ lighting panels	ช่องแสงลักษณะ split windows เพื่อแยกส่วนรับแสงกับทัศนียภาพ
9.	รายละเอียดเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร	นำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาทางด้านข้างอาคาร ผสานกับการใช้ interior daylighting panels รูปแบบโค้งในการสะท้อน แสงธรรมชาติให้กระจายร่วมกับแสงประดิษฐ์ลงสู่พื้นที่ทำงานภายในอาคาร
10.	วิเคราะห์ข้อดี/ข้อเสีย	ข้อดี : ทำให้แสงธรรมชาติตกบนระนาบทำงานหรือ task area มากขึ้น ข้อเสีย :



ภาพที่ 2.48 แสดงการ Integration daylighting and artificial light โดย interior daylighting panels (ซึ่งพัฒนามาจาก light shelves) ในอาคาร KW Ostarkade bank building Ostarkade , Frankfurt (Higher education course on lighting system design and simulation , 2552)

