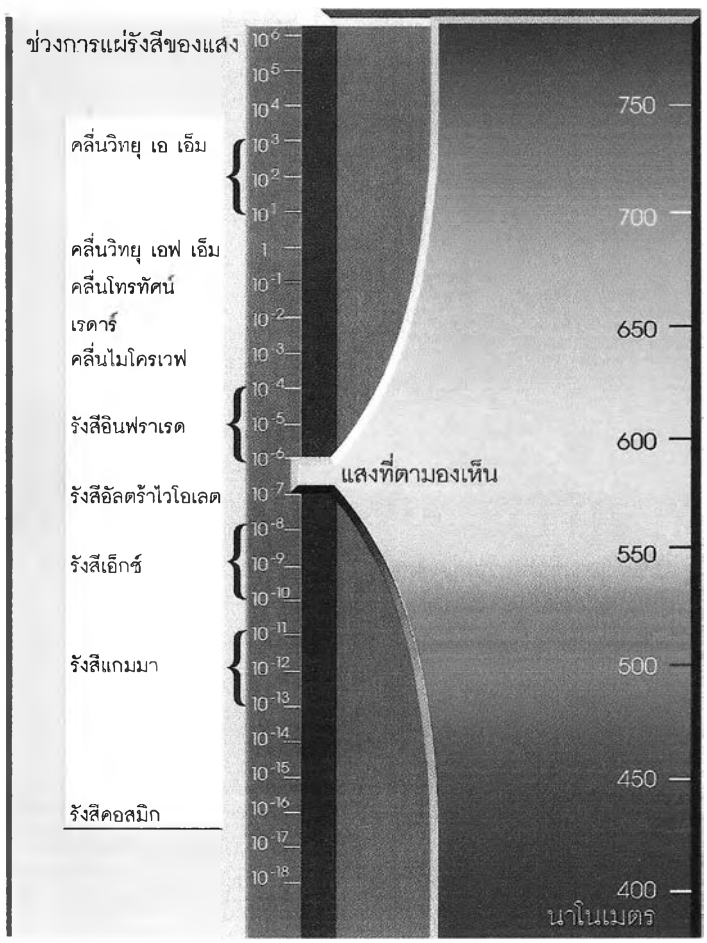
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของแสง

เราอาจนิยามความหมายของแสงได้หลายอย่าง เช่น แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือนิยามอื่น ๆ แล้วแต่นักวิทยาศาสตร์แต่ละสาขาจะกล่าวถึงแสงในแง่มุมใด สำหรับวิศวกรรมการส่องสว่างแล้ว แสง คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงที่ตาคนเราสามารถมองเห็นได้

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงแห่งแรกของมนุษย์ และเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรารู้จักกันทั่วเป็นอย่างดี เช่น รังสีคอสมิก รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตร้าไวโอเลต แสงรังสีอินฟราเรด เรดาร์ คลื่นโทรทัศน์ และคลื่นวิทยุ เป็นต้น



รูปที่ 2. 1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่าง ๆ

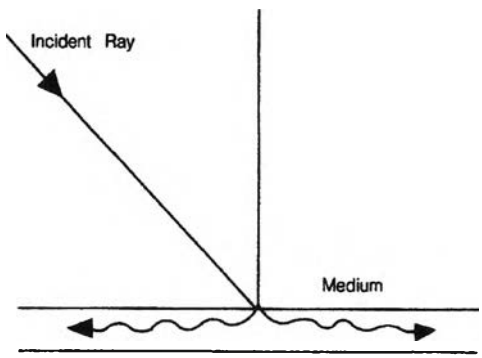
แหล่งที่มา: ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงสว่าง, 2547: 4

แสงสามารถเคลื่อนที่ได้ ผ่านวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง และเป็นสิ่งที่ทำให้มองเห็นรูปลักษณะและสีของวัตถุ ดังนั้นการที่แสงตกกระทบวัตถุต่าง ๆ จึงทำให้เกิดพฤติกรรมในรูปแบบที่ต่างกันไป

2.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านตัวกลาง (medium) ชนิดต่าง ๆ เช่น อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง ฯลฯ พฤติกรรมของแสงจะเปลี่ยนไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.2.1 **การดูดกลืน** (Absorption) เป็นปรากฏการที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง และเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน (heat)

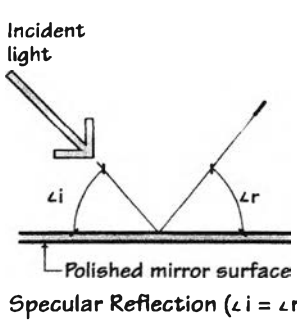


รูปที่ 2. 2 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง

แหล่งที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน, 2547: 4

2.2.2 **การสะท้อน** (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบตัวกลางแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นนั้นไม่เปลี่ยนไป ลักษณะของการสะท้อนสามารถพิจารณาออกได้เป็น

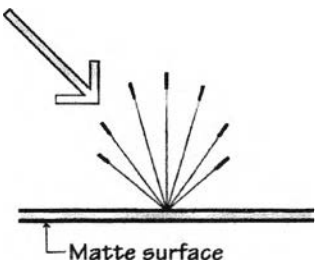
1) **การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา** (Specular Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (opaque material) มีลักษณ์เป็นผิวเรียบขัดมัน (polish surface) การสะท้อนจะมีลักษณะของมุมของแสงที่ตกกระทบ (angle of incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน



รูปที่ 2. 3 แสดงการสะท้อนเสมือนกระจกเงา

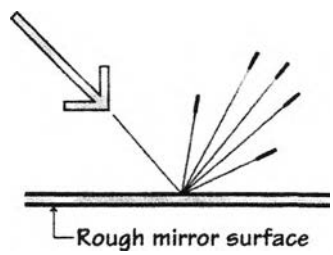
แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 57

2) **การสะท้อนแบบกระจาย** (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบวัตถุทึบแสงที่มีผิวหยาบไม่เรียบสม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะถูกสะท้อนออกไปในหลาย ๆ ทิศทาง ซึ่งส่วนมากมุมของแสงที่สะท้อน หรือกระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมที่ตกกระทบ หากผิววัตถุนั้นมีลักษณะไม่เรียบสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (perfect diffuse reflection) เป็นการสะท้อนที่ให้ความสว่างที่เท่า ๆ กันในทุกมุมสะท้อน แต่หากผิววัสดุกึ่งเรียบมัน (semi diffuse surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบที่ผสานรูปแบบการสะท้อน (semi diffuse refection) เช่น การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน (spread reflection)



รูปที่ 2. 4 แสดงการสะท้อนแสงแบบกระจายสมบูรณ์

แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 57



รูปที่ 2.5 แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน

แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 57

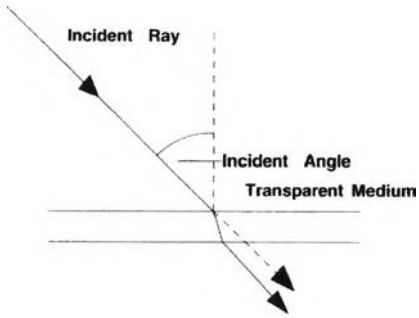
2.2.3 **การส่องผ่าน** (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อแสงกระทบด้านหนึ่งของตัวกลาง แล้วทะลุผ่านไปอีกด้านหนึ่ง โดยแสงตกกระทบตัวกลางที่ส่องผ่านได้ แสงบางส่วนอาจถูกดูดกลืนภายในวัตถุ และถูกสะท้อนออก ส่วนที่เหลือจะส่องผ่าน สรุปได้ว่า ปริมาณของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบวัตถุในส่วนหนึ่ง จะประกอบด้วย การดูดกลืน การสะท้อน และการส่องผ่านของแสง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

Absorptance + Reflectance + Transmittance = 1.....(2.1)

คุณสมบัติของการส่องผ่านมักขึ้นอยู่กับตัวกลาง ซึ่งลักษณะของแสงที่ทะลุผ่านตัวกลางแตกต่างกันออกไป สามารถจำแนกลักษณะของตัวกลางได้ ดังนี้

1) **ตัวกลางโปร่งใส** (Transparent medium) การส่องผ่านลักษณะนี้แสงจะเกิดการหักเห (refraction) หรือเปลี่ยนทิศทาง (bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสง

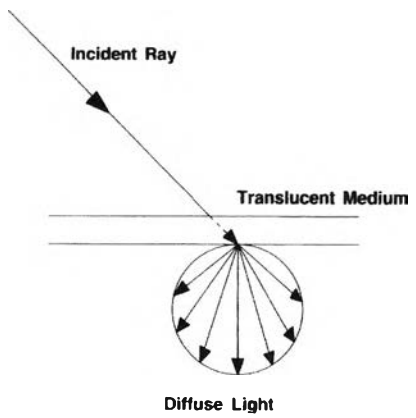
ที่ตกกระทบ โดยยังสามารถเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน ตัวกลางประเภทนี้ เช่น กระจกใส เป็นต้น



รูปที่ 2. 6 แสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วเกิดการหักเห ทะลุผ่านตัวกลางในทิศทางเดิม

แหล่งที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน, 2547 : 8

2) **ตัวกลางโปร่งแสง** (Translucent Medium) การส่องผ่านลักษณะนี้แสงที่ส่องผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงกระจาย และในกรณีนี้จะไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงอีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้ชัดเจน



รูปที่ 2. 7 แสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วเกิดการทะลุผ่านแบบกระจาย

แหล่งที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน, 2547: 8

2.3 **ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง** (Illumination)

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่ใด ๆ เป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่นั้น ๆ เราเรียกว่าการส่องสว่าง หรือ ความสว่าง (Illumination) ซึ่งมีนิยามที่เกี่ยวข้องกับการส่องสว่าง

2.3.1 **ปริมาณแสง** (Luminous Flux) คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง หรือตกลงบนพื้นที่รับแสง เป็นการบอกค่าพลังงาน หรือกำลังของแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen, lm) เช่น เทียนไข 1 เล่ม สามารถให้แสงเปล่งออกมาประมาณ 12.57 ลูเมน

หากพิจารณาโดยการนำแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมาเสมือนจุด (point source) และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา (เทียนไข 1 เล่ม) มาวางที่จุดศูนย์กลางของรัศมี 1 หน่วย

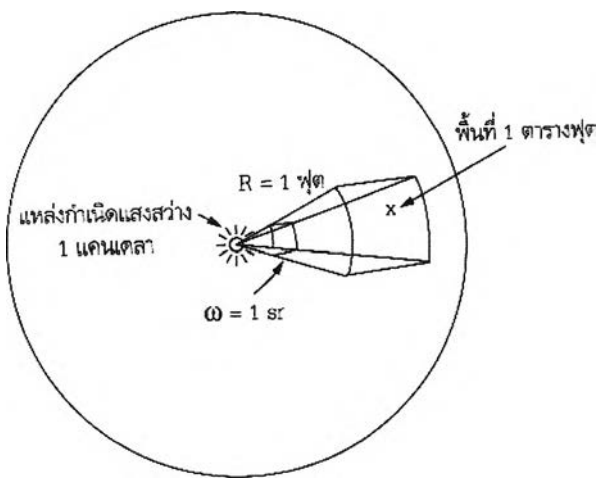
ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุก ๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่ บนพื้นผิวของทรงกลมนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (lm) และเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ เท่ากับ 12.57 ลูเมน

2.3.2 **Solid angle (ω)** เป็นการวัดแสงส่วนหนึ่งของพื้นผิวทรงกลมที่ถูกครอบคลุมด้วยพื้นที่สมมุติรูปทรงกรวย ที่มีส่วนแหลมของกรวยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม กล่าวคืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้น ๆ ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (steradian) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดย A คือ **พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม**

R คือ **รัศมีของทรงกลม**



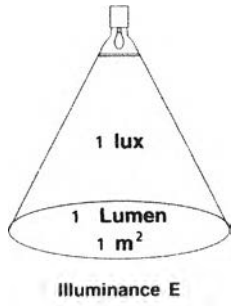
รูปที่ 2. 8 แสดงภาพของ Solid angle

แหล่งที่มา: ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545: 10

2.3.3 **ความเข้มแห่งการส่องแสง (Luminous intensity)** แหล่งกำเนิด (ในที่นี้เปรียบเป็นจุดศูนย์กลางวงกลม) ปล่อยแสงออกมาทุกทิศทาง ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง คือปริมาณแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงในโซลิดในทิศทางหนึ่งทางใด เป็นการบอกค่าความมากน้อยของพลังงาน ในรูปของความเข้มแห่งการส่องแสง (luminous intensity) หรือบางทีเรียกว่า กำลังส่องสว่าง (candlepower) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela) หรือ ลูเมนต่อสเตอเรเดียน (Lumen per steradian)

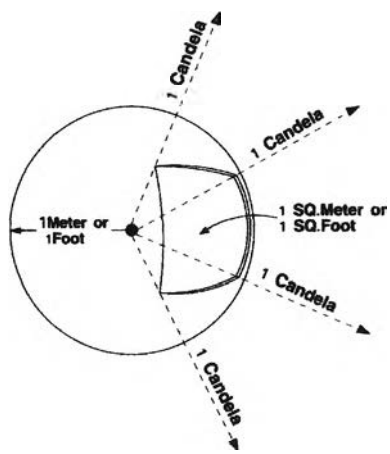
2.3.4 **ความส่องสว่าง (Illuminace,E)** เมื่อมีแสงตกกระทบลงบน 1 หน่วยพื้นที่ใด ๆ ผลที่ได้ คือความสว่างมีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหน่วยพื้นที่ (lumen per unit of area) เช่นเดียวกับการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในทรงกลม หากทรงกลมนั้นมีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งไปตกลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลมจะได้ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (Footcandle,fc)

ในกรณีเดียวกันถ้ารัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน ต่อตารางเมตร หรือ 1 ลักซ์ (lux, lx)



รูปที่ 2. 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสง 1 lumen ที่ตกลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร มีค่าความสว่าง 1 lx

แหล่งที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน, 2547: 16



รูปที่ 2. 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง candelas, lumens, lux และ Footcandle

แหล่งที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน, 2547: 16

กำหนดให้จุดแหล่งกำเนิดแสงที่กำลังส่องสว่างสม่ำเสมอ 1 แคนเดลา อยู่ ณ. จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 เมตร หรือ 1 ฟุต โดยถือว่าค่าการสะท้อนที่ผิวของทรงกลมนั้นมีค่าเป็นศูนย์ (zero) ความสว่างที่เกิดบนจุดใด ๆ ของทรงกลมมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร และ ความสว่างที่เกิดบนจุดใด ๆ ของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 ฟุต (ดูรูปที่ 2.10 ประกอบ)

solid angle ที่ตรงข้ามกับพื้นที่รอบจุด A B C และ D มีค่าเท่ากับ 1 สเตอเรเดียน (steradian) และมีฟลักซ์ (flux) ของแสงเท่ากับ 1 ลูเมนต่อสเตอเรเดียน พื้นที่ผิวของทรงกลมทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 12.57 (4 π) ตารางเมตร หรือตารางฟุต และมีปริมาณแสง (luminous flux) ของทุก ๆ 1 ลูเมนที่ตกกระทบบนพื้นที่ทุก 1 ตารางเมตร หรือ 1 ตารางฟุตนั้น ๆ เท่ากับ 12.57 ลูเมน

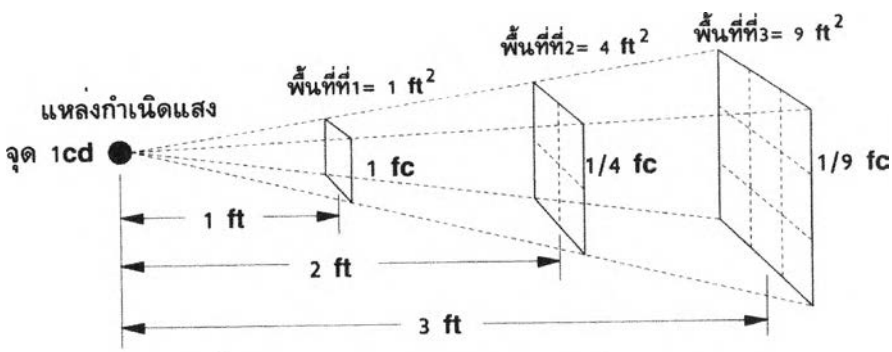
2.3.5 **การส่องสว่าง (Illumination)** ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ใด ๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังผกผัน (Inverse square law) มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc) เขียนได้เป็นสมการดังนี้

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

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

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทุกทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็น แคนเดลา (cd)

d คือ ระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร (m) หรือ ฟุต (foot, ft)



รูปที่ 2. 11 แสดงความสัมพันธ์ของกฎกำลังสองผกผัน

แหล่งที่มา: พรรณชลัท สุริโยธิน, 2547: 18

2.4 คุณสมบัติอื่น ๆ ของแสง

2.4.1 **ความจ้า (Brightness)** หรือ ความสว่าง (Luminance) เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุแล้วเกิดการสะท้อนหรือส่องผ่านของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตา ทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นแล้ว สายตายังรับรู้ความสว่าง หรือที่เรียกว่า ความจ้าของวัตถุอีกด้วย ความจ้าหรือความสว่างของวัตถุที่สายตารับรู้ขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบหลัก ดังนี้

1) ความสามารถในการสะท้อนหรือส่องผ่านของแสงของวัตถุทำให้วัตถุนั้น ๆ เปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 (Secondary light source)

2) ความสามารถในการปรับตัวของสายตา หากพิจารณาในเชิงปริมาณ ความจ้าที่เกิดขึ้นของวัตถุใด ๆ จะพิจารณาในรูปของ ปริมาณความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต (Foot-lambert) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$fL = fc * \rho \quad \text{.....(2.4)}$$

หรือ $fL = fc * \tau$ .....(2.5)

โดย fL คือ ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต

fc คือ ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

ρ คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ (%)

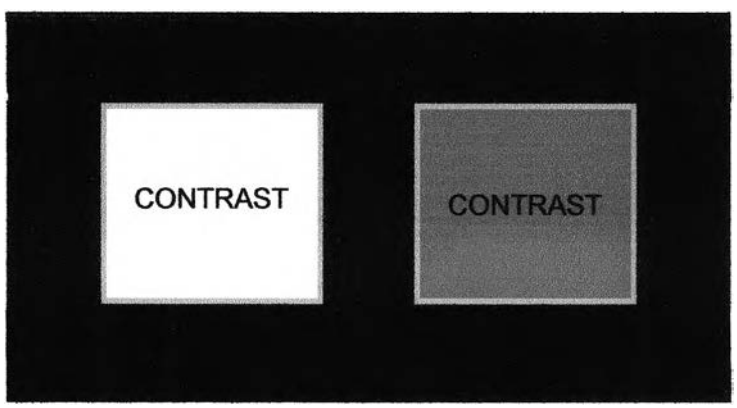
τ คือ ค่าการส่องผ่านของวัตถุ (%)

2.4.2 **ความเปรียบต่าง** (Contrast) ความแตกต่างจากจุดสังเกตกับสิ่งที่อยู่รอบข้าง หากมีความเปรียบต่างมากจะทำให้การมองเห็นง่ายขึ้น เช่น ตัวหนังสือดำบนกระดาษขาวย่อมเห็นได้ง่ายกว่าตัวหนังสือดำบนกระดาษเทา ซึ่งความเปรียบต่างสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Contrast = (L_B - L_T) / L_T \quad \text{.....(2.6)}$$

โดย L_B คือ ความสว่างของสภาพแวดล้อม

L_T คือ ความสว่างของวัตถุ



รูปที่ 2. 12 แสดงความเปรียบต่างระหว่างวัตถุที่พิจารณากับพื้นหลัง

แต่ถ้าความเปรียบต่างที่มากเกินไปจนสายตาเกิดการปรับตัวเป็นผลให้สายตาไม่สามารถมองเห็นได้อย่างอิสระ หรือเกิดการระคายของสายตา นั่นคือการเกิดแสงบาดตา

2.4.3 **แสงบาดตา** (Glare) คือ แสงที่เข้าตาทำให้มองเห็นวัตถุได้ยาก และเกิดความไม่สบายตา ซึ่งแสงบาดตามี 2 รูปแบบ คือ แสงบาดตาโดยตรง (direct glare) และแสงบาดตาจากการสะท้อน (reflected glare) (ดูรูปที่ 2.13 แสดงภาพเปรียบเทียบของประเภทแสงบาดตาประกอบ)

1) direct glare 2) reflected glare

รูปที่ 2.13 แสดงภาพเปรียบเทียบของประเภทแสงบาดตา

แหล่งที่มา: Egan and Olgyay , 2002: 27

ปริมาณของแสงบาดตามีผลต่อการมองเห็น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (disability glare) เป็นแสงส่องผ่านเข้ามามากจนไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้เลย

2) แสงบาดตาแบบไม่สบายตา (discomfort glare) จะเป็นการมองเห็นด้วยความยากลำบาก หรือเกิดความจ้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมc

2.4.4 **ประสิทธิภาพแสงหรือประสิทธิผล** (Luminous efficiecy) หมายถึง ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดแสงย่อมมีประสิทธิผลแตกต่างกัน เช่น

- หลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือหลอดไส้ทั่วไป มีค่าประสิทธิผลประมาณ 10-15 ลูเมน/วัตต์
- หลอดฟลูออเรสเซนต์ มีค่าประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมน/วัตต์
- แสงธรรมชาติ มีค่าประสิทธิผลประมาณ 110-115 ลูเมน/วัตต์

การให้แสงสว่างโดยคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงาน ควรเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีค่าประสิทธิผลสูง ซึ่งจะได้แสงที่มีปริมาณมาก เมื่อเทียบกับการใช้สูญเสียพลังงานเพียงส่วนน้อย

2.5 **แสงธรรมชาติ** (Daylighting)

แสงธรรมชาติ เป็นแสงที่ได้มาเปล่านำมาใช้ในอาคาร นอกจากจะไม่เสียค่าใช้จ่ายแล้ว ในเชิงจิตวิทยาแสงธรรมชาติส่งผลให้เกิดความรู้สึกมีชีวิตชีวาในการประกอบภารกิจ ช่วยกระตุ้นให้เกิดการตื่นตัว และเป็นแสงที่ให้พลังงานคลื่นแสงครบถ้วน โดยวัตถุที่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสงธรรมชาติจะให้สีของวัตถุที่ถูกต้องที่สุด (เมื่อเทียบกับแสงที่เกิดจากแสงประดิษฐ์) ในแสงธรรมชาติจะมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ แสงแดดตรง (direct sun) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse illuminance) ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำมาใช้ในอาคาร

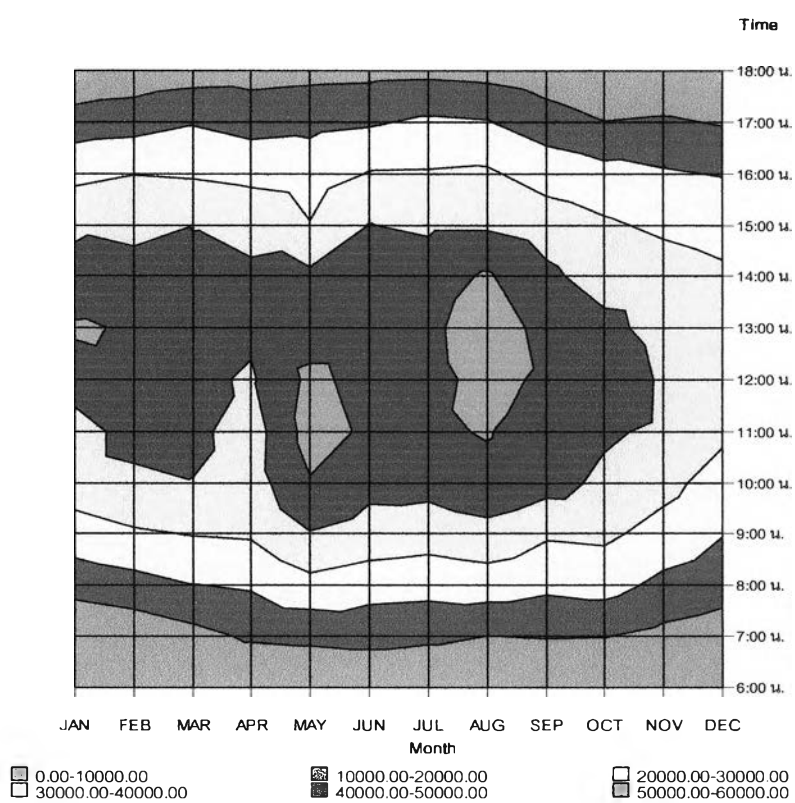
2.5.1 **แสงกระจายจากท้องฟ้า** (Diffuse Illuminance) เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศเขตร้อนแบบร้อนชื้น (tropical zone) ทำให้มีปริมาณแสงสว่างที่จ้าเกือบตลอดทั้งปี โดยปกติแล้วปริมาณของแสงแดดตรงนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณความส่องสว่าง หากปริมาณของแสงแดดตรงมากปริมาณความแสงสว่างก็มีค่ามากเช่นกัน การนำแสงธรรมชาติไปใช้ในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพ ต้องทำ

การป้องกันแสงแดดตรงที่ส่งผลให้เกิดความร้อน และแสงบาดตา ควรใช้เพียงความส่องสว่างจากแสงกระจาย ซึ่งได้นำข้อมูลสถิติการวัดค่าปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้า ในเขตกรุงเทพมหานคร (Jirattananon and Chaiwiwatworakul, 2001: A-3) มาใช้ในการศึกษาประเมินค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติ โดยจะแสดงปริมาณแสงกระจายตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม ในช่วงเวลา 6:00 – 18:00 น. มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้า ปี ค.ศ. 2001เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน

Month	Hourly mean values of diffuse illuminance (klux) by calendar month (Solar time)												
	6:00น.	7:00น.	8:00น.	9:00น.	10:00 น.	11:00 น.	12:00 น.	13:00 น.	14:00 น.	15:00 น.	16:00 น.	17:00 น.	18:00 น.
JAN	0.00	0.00	13.75	25.71	35.07	35.18	45.42	51.46	41.77	39.07	27.05	15.06	0.00
FEB	0.00	3.01	16.18	28.97	37.23	44.41	47.28	48.71	43.43	37.54	29.77	15.87	3.40
MAR	0.00	6.82	19.74	30.40	39.67	42.50	41.98	44.74	40.92	39.86	28.73	19.23	5.24
APR	0.00	11.43	20.96	31.02	35.52	35.48	38.92	41.80	41.16	37.98	27.12	16.53	5.86
MAY	0.00	12.46	26.98	39.38	49.31	54.23	52.30	44.84	41.94	30.47	25.47	17.54	6.99
JUN	0.00	13.47	24.10	36.10	42.77	48.27	46.57	44.91	46.39	40.24	30.46	18.80	7.14
JUL	0.00	12.01	23.32	34.36	43.17	48.07	47.25	47.66	45.33	38.49	30.80	21.78	7.62
AUG	0.00	9.92	24.78	36.61	46.87	50.76	52.72	55.57	51.22	38.49	31.44	20.66	6.58
SEP	0.00	10.42	22.23	31.06	43.77	43.98	48.48	47.04	42.25	35.19	25.91	14.82	3.95
OCT	0.00	10.31	23.53	32.02	37.70	41.56	48.90	43.12	35.00	31.32	23.52	10.22	0.00
NOV	0.00	7.36	17.51	26.11	33.44	37.94	38.28	35.75	34.18	28.34	21.22	11.30	0.00
DEC	0.00	4.75	14.35	20.30	24.76	32.53	33.32	33.03	31.65	26.49	19.47	9.24	0.00

แผนภูมิที่ 2.1 แสดงค่าปริมาณแสงสว่างของท้องฟ้า (lux) เฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน ปี ค.ศ. 2001

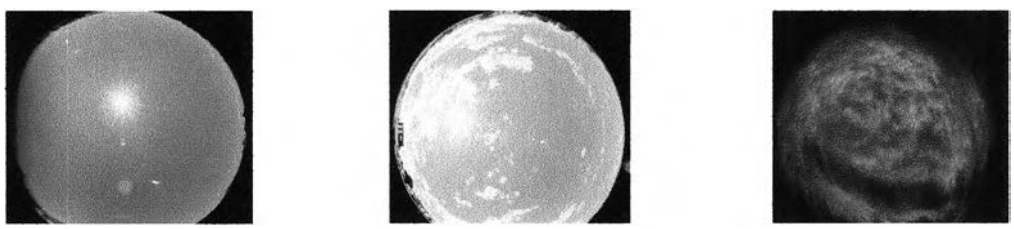


แหล่งที่มา: Jirattananon and Chaiwiwatworakul, 2001: A-3

โดยจะนำข้อมูลค่าปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าของกรุงเทพมหานคร มาคำนวณเปรียบเทียบหาค่า Daylight Factor (DF) ขั้นต่ำที่ค่าความสว่างผ่านเกณฑ์ 300 lx (ดูตางที่ 3.1 แสดงการพิจารณาค่า Daylight Factor (DF) ขั้นต่ำที่อยู่ในเวลาใช้งานประกอบ)

2.6 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

ปริมาณแสงสว่าง และความจ้าของท้องฟ้าจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เป็นผลจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ ปริมาณเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น ควัน หรือ ไอน้ำ โดยจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถแบ่งสภาพท้องฟ้าได้ 3 ลักษณะ คือ สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky) และสภาพท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (overcast sky)



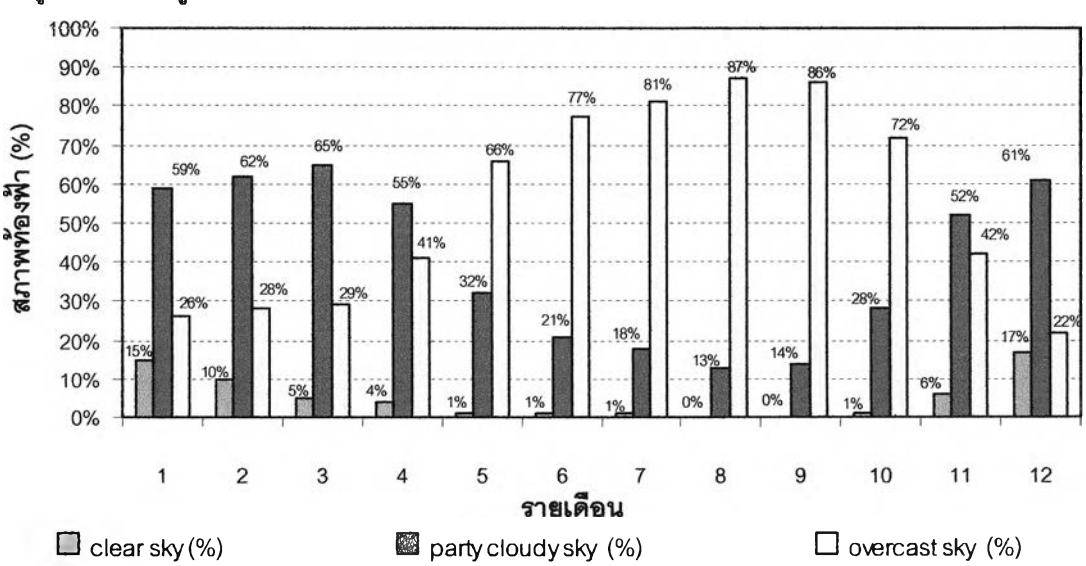
1) clear sky 2) party cloudy sky 3) overcast sky

รูปที่ 2.14 แสดงสภาพท้องฟ้า

แหล่งที่มา: Robbins, 1986: 231

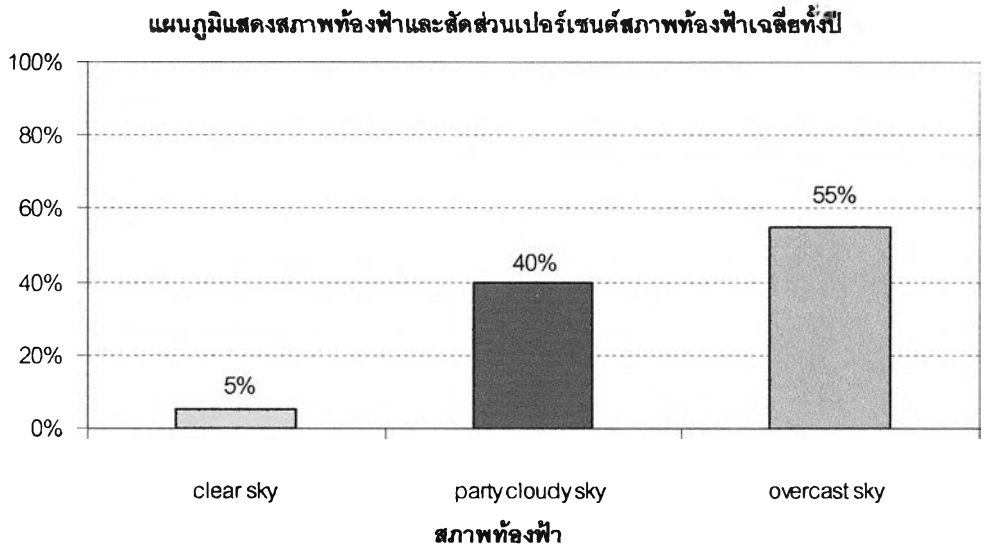
จากสถิติการวัดค่าสภาพท้องฟ้า ในเขตกรุงเทพมหานครของข้อมูลอากาศประเทศไทยสำหรับอนุรักษ์พลังงาน (ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ปี พ.ศ.2524 – 2541) นั้นพบว่าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้ามีลักษณะ ดังนี้

แผนภูมิที่ 2.2 แผนภูมิแสดงสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยรายเดือน



แหล่งที่มา: ธนิต จินดาวณิค และคณะ, 2543: 15

แผนภูมิที่ 2.3 แผนภูมิแสดงสภาพท้องฟ้าสัดส่วนของสภาพท้องฟ้าเฉลี่ยทั้งปี



2.6.1 **สภาพท้องฟ้าแจ่มใส** (Clear sky) ความสว่างจากภายนอก ในแนวนอนเมื่อไม่มีเมฆปกคลุม นั้นความสว่างจากท้องฟ้าได้จาก 2 องค์ประกอบ คือ แสงแดดตรง และแสงกระจายจากท้องฟ้า โดยความสว่างในแนวนอนมีค่า 3 เท่าของความสว่างที่จุดสูงสุด และพื้นที่ใกล้ดวงอาทิตย์มีความสว่างมากที่สุดในขณะที่พื้นที่ตรงข้ามดวงอาทิตย์มีความสว่างน้อยที่สุด (ดูรูปที่ 2.15 ประกอบ)

ความสว่างที่เกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว

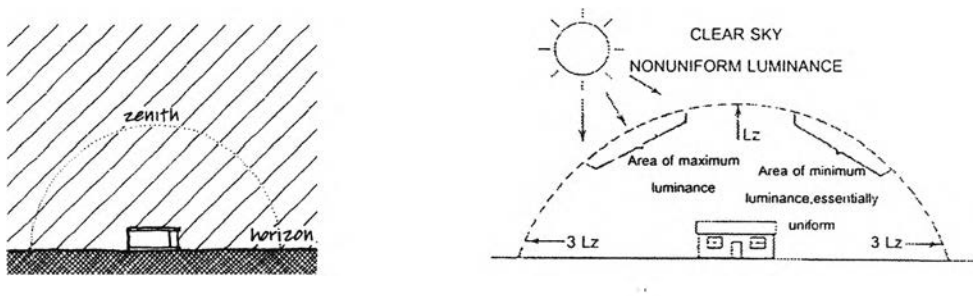
$$EH = 1345 + 14.795 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.7)}$$

กรณีเกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว สมการได้แก่

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

โดย EH คือ ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบ มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx)

A คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นราบ เป็นมุมในแนวระนาบตั้งฉาก (Solar Altitude)



1) 2)

รูปที่ 2.15 แสดงสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky)

แหล่งที่มา: 1) Brown and Dekey, 2001: 27 2) Stein and Reynolds, 1992: 974

2.6.2 **สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน** (Party cloudy sky) สภาพท้องฟ้าประเภทนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณเส้นศูนย์สูตร การหาค่าความสว่างจากท้องฟ้าลักษณะนี้ทำได้ยาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเมฆตลอดเวลา ในกรณีสภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมบางส่วน แสดงสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570\ A \quad \text{.....(2.9)}$$

โดย E_{HP} คือ ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบใต้ท้องฟ้าเมฆปกคลุมบางส่วนมีหน่วยเป็น ลักซ์

A คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นราบ เป็นมุมในแนวระนาบตั้งฉาก (Solar Altitude)

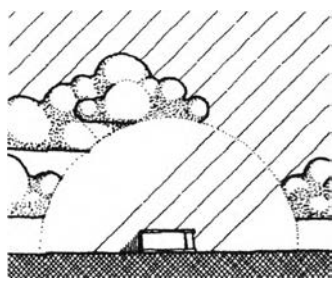
ในกรณีสภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาแน่น หรือมีเมฆฝนที่มีสีเข้มจะปิดกั้นแสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้า และแสงตรงจากดวงอาทิตย์ แสงจึงถูกดูดกลืนเป็นผลให้ค่าความสว่างน้อยลง แสดงสมการได้ดังนี้

$$E_H = 0.35\ E_S + 0.89\ E_C \quad \text{.....(2.10)}$$

โดย E_H คือ ค่าความส่องสว่างที่ระดับภายใต้ท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วยเป็น ลักซ์

E_S คือ ค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงแดดตรง (direct sun)

E_C คือ ค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงกระจายภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง (diffuse illuminance)



รูปที่ 2.16 แสดงสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky)

แหล่งที่มา: Brown and Dekey, 2001: 27

2.6.3 **สภาพท้องฟ้าเมฆมาก** (Cloudy sky **หรือ** Overcast sky) สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆมากจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง หรือดวงอาทิตย์ได้ โดยมากจะเป็นสภาพท้องฟ้าในแถบยุโรป เช่น ประเทศอังกฤษ ลักษณะของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทั้งหมด สามารถหาค่าความสว่างที่จุดใด ๆ ได้จากสมการ ดังนี้

$$L_A = L_Z\ (1+2\sin A) / 3 \quad \text{.....(2.11)}$$

โดย L_A คือ ความสว่างจากท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือแนวระนาบในทุกทิศทาง

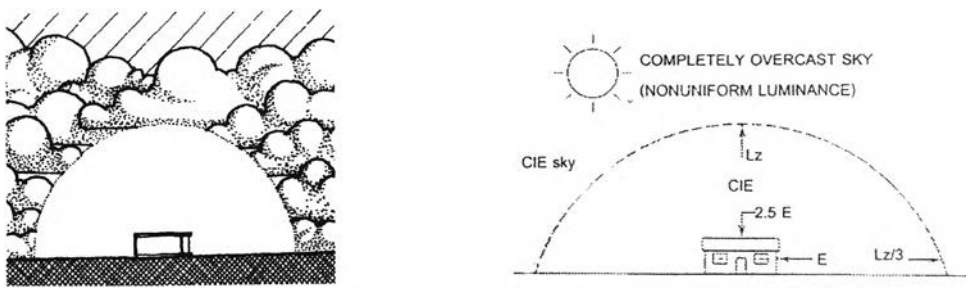
L_Z คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่จุดสูงสุด (Zenith)

ดังนั้นความสว่างที่ตำแหน่งแนวระนาบ หรือ ที่มุม A = 0 องศา มีค่า = L_Z / 3 ในส่วนของความสว่างในแนวระนาบภายนอก (exterior horizon illuminance) มีค่ามากกว่าระดับความสว่างในแนวตั้ง (exterior vertical illuminance) ประมาณ 2.5 เท่า (ดูรูปที่ 2.17 ประกอบ) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$E_H = 300 + 21000\sin A \quad \text{.....(2.12)}$$

โดย E_H คือ ค่าความส่องสว่างที่ระดับภายใต้ท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน มีหน่วยเป็น ลักซ์

A คือ มุมของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นราบ เป็นมุมในแนวระนาบตั้งฉาก (Solar Altitude)



1) 2)

รูปที่ 2.17แสดงสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (overcast sky)

แหล่งที่มา: 1) Brown and Dekey, 2001: 27 2) Stein and Reynolds, 1992: 974

2.7 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก

2.7.1 **การแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก (Terrestrial Radiation)** เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยน ระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก และวัตถุบนพื้นผิวโลกเป็นการแผ่รังสีคลื่นยาว ในช่วงคลื่นเหนืออินฟาเรด ซึ่งการพิจารณาการแผ่รังสีสามารถพิจารณาออกได้เป็น

1) รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (I_D : Direct Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง

2) รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ (I_d : Diffuses Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นรังสีอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่ได้รับจากท้องฟ้าทั้งหมด

3) รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์ (I_r : Reflected Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับจากพื้นผิวที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับ

4) รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (I_T : Total or Global Solar Radiation) คือ พลังงานรังสีอาทิตย์ของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีของดวงอาทิตย์บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_T = I_D + I_d + I_r \text{ (มีหน่วยเป็น Btu/hr/ft}^2\text{)} \quad \text{.....(2.13)}$$

2.8 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

ในการพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติ สามารถแยกพิจารณาได้ออกเป็น 2 แนวทาง คือ

2.8.1 **การพิจารณาจากปริมาณค่าความสว่างรวม (Absolute Illuminance)** เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายในอาคาร ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในความสูงที่กำหนดจากระดับพื้นห้องนั้น โดยวัดค่าความสว่างออกมาเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc) หรือ ลักซ์ (lx) ซึ่งค่าของความสว่างที่เกิดภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับเวลา ทิศทางการเปิดช่องแสง และสภาพของท้องฟ้า

2.8.2 **การพิจารณาโดยอาศัยอัตราส่วนของระดับความสว่างของภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance)** ภายใต้สภาพเมฆเต็มท้องฟ้า (overcast sky) ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งมีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามช่วงเวลา หรือทิศทางการเปิดของช่องแสง หากแยกการพิจารณาวิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารโดยการใช้แสงธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ Lumen Method, Daylight Factor Method และ Flux Transfer Method (ซึ่งในการศึกษานี้จะกล่าวเพียงวิธี Daylight Factor Method เท่านั้น)

1) **Daylight Factor Method** เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคาร ที่ได้จากแสงธรรมชาติ ที่เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลักซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่าง และปริมาณความเข้มของแสงนอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่แต่ละที่ (altitude และ azimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวัน และเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติ โดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบ คือ

- องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component, SC) โดยสภาพของท้องฟ้าจะเห็นได้ว่าเกิดขึ้นได้ในหลากหลายสภาพ เช่น ท้องฟ้าแบบโปร่ง ไม่มีเมฆ (clear sky) หรือที่ปกคลุมด้วยเมฆจนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (completely overcast sky) เหล่านี้มีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น

- องค์ประกอบภายนอก (Externally Reflected Component, ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียง แสงสองผ่านเข่ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ

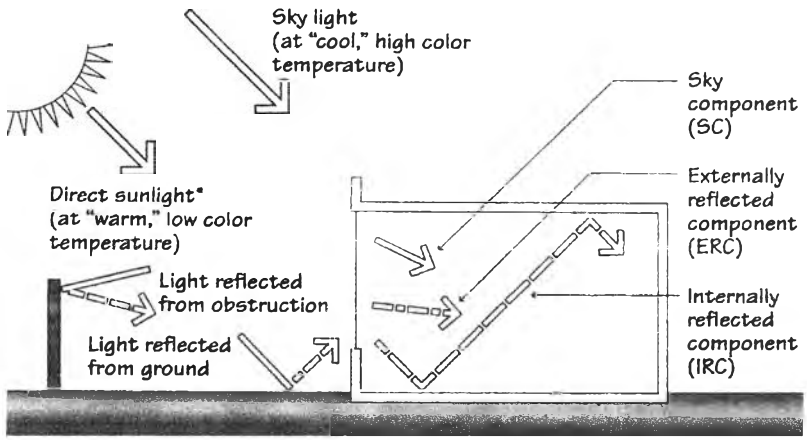
- องค์ประกอบภายใน (Internally Reflected Component, IRC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ ที่ตั้งอยู่ภายในอาคารโดยได้รับแสงจาก SC และ ERC และปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ เช่นเดียวกันกับ ERC

การกำหนดค่า Daylight Factor (DF) คือ ค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใด ๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ไม่รวมแสงจากดวงอาทิตย์

พิมพ์ต้นฉบับ สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DF (%) = ความสว่างภายใน (E_i) x 100 % .....(2.14)
ความสว่างภายนอก (Ee ไม่รวมแสงแดดตรง)

เช่น ค่า DF มีค่าเท่ากับ 10 % หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้น ๆ ได้รับปริมาณแสงเท่ากับ 10% ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับ ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่โปร่ง ไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ



รูปที่ 2.18 แสดง Daylight Factor (SC) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (ERC)องค์ประกอบภายนอก เช่น อาคารข้างเคียง และ (IRC) องค์ประกอบภายใน
แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 303

ถึงแม้ว่าค่า Daylight Factor (DF) สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของความสองสว่าง ที่เหมาะสมสำหรับลักษณะของกิจกรรมในพื้นที่นั้น จากการศึกษาพบว่าเกณฑ์ของการกำหนดช่วง ค่า DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ มีดังนี้ (ดูตารางที่ 2.2 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆประกอบ)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ

การใช้งาน	ค่า (DF%)
การอ่านหนังสือ การทำงานปกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5 - 2.5
การอ่านหนังสือ หรือการที่ต้องใช้สายตาในที่ ๆ หนึ่งในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่อาจจะต้องมีอุปกรณ์บางอย่างเข้าช่วย ซึ่งไม่มีอันตรายมาก	2.5 – 4.0
สำหรับการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่อาจต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดอันตราย	4.0 – 8.0

แหล่งที่มา: Stein and Reynolds, 1992: 197

2.8.3 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง การกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่าง ๆ กันนั้น โดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA) IES (BS) เป็นต้น (ดูตารางที่ 2.3 และ 2.4 ประกอบ)ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกันส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับ ประเทศใด ประเทศหนึ่ง ได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่น ๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย หรือน้อย

กว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่าง ๆ เช่น ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปรกติ ให้ใช้ความสว่างมากขึ้น เช่น ถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองอาจทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงหรือเสียหายมากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างในตารางมากขึ้น ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก หรือ ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน (a)	CIE (lx)	IES (lx)	**พื้นที่ใช้งาน (b)**
ทางเดิน และพื้นที่ทำงานภายนอก	20 – 30 - 50	20 – 30 – 50	Public spaces with dark surrounding
ทางเดินภายใน และการแวะผ่านระยะสั้น	50 – 75 - 100	50 – 75 – 100	Simple orientation for shot temporary visits
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100 – 150 - 200	100 – 150 – 200	Working space where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงานงานชิ้นใหญ่	200 – 300 – 500	200 – 300 – 500	Performance of visual tasks of high contrast or Large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300 – 500 - 750		
งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียนแบบ	500 – 750 - 1000	500 – 750 – 1000	Performance of visual tasks of medium contrast or small size
งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	750 – 1000 – 1500		
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000 – 1500 - 2000	1000 – 1500 – 2000	Performance of visual tasks or Very small size
		2000 – 3000 – 5000	Performance of visual tasks of low contrast and very small size, Prolonged period
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด	มากกว่า 2000	5000 – 7500 – 10000	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
		10000 up	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

แหล่งที่มา: (a) ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 1 – 6 (b) IES. Illuminating Engineerting Society : Reference Volume, 1983: A3

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิลแล้ว การกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องแสงระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน CIE (a)	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES (b)	ค่า Daylight Factor (%) (c)		
			เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
อาคารทั่วไป					
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
สำนักงาน					
พื้นที่ทั่วไป, พิมพ์ดีด คอมพิวเตอร์	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			
โถงทางเข้า		100 – 150 - 200	2.0	0.6	work plane
ห้องสมุด					
หิ้งหนังสือ	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

แหล่งที่มา: คมกฤช ชูเกียรติมั่น, 2540: 46 อ้างอิงใน (a) ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 1 – 6

(b)IES. Iluminating Engineerting Society : Reference Volume, 1983: A3 (c) BSI Draft for Development: 73 อ้างอิงใน Applications Manual window Design, 1987: 31

2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับการให้แสงธรรมชาติ

การให้แสงธรรมชาติในอาคารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการส่องสว่างอย่างมีคุณภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังช่วยให้เกิดความมีชีวิตชีวา ซึ่งก่อนจะทำการศึกษาเทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจำแนกตามทิศทางได้ 2 รูปแบบ คือ แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร (side lighting) และแสงธรรมชาติจากด้านบน (top lighting) ซึ่งจะศึกษาเฉพาะการให้แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร

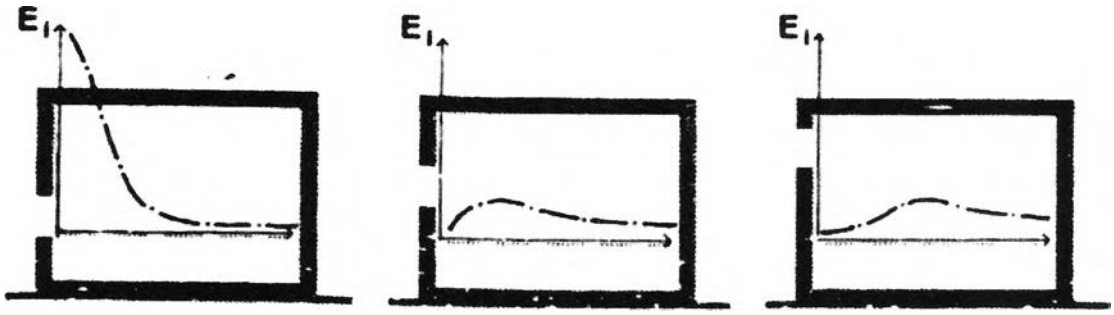
2.9.1 **แสงธรรมชาติจากด้านข้างอาคาร (side lighting)** เป็นแสงที่ผ่านเข้ามาจากแหล่งกำเนิดแสงที่มาได้หลายทาง เช่น แสงจากท้องฟ้า (SC) แสงจากพื้นดินภายนอกที่เป็นตัวสะท้อนแสง (ERC) และการสะท้อนแสงภายในอาคาร (IRC) จากการศึกษาพบว่า "ข้อดี คือ ช่วยสร้างทัศนะวิสัยที่ดีเหมาะสมแก่กับใช้งาน แต่มีข้อเสีย เนื่องจากหน้าต่าง หรือช่องเปิดประเภทนี้อยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถทนต่อความจ้าเมื่อมองระดับได้เพียง 170 ฟุตแลมเบิร์ตเท่านั้น" (สุนทร บุญญาธิการ, 2541: 94 อ้างถึงใน Flynn, 1988) ในการใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องใช้กระจกของช่องแสงที่ตัดแสงได้มาก (มีค่า SC ต่ำ) เพื่อให้เกิดความสบายตาในการมองออกสู่ภายนอก แต่จะส่งผลให้มีแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งานในระยะเพียง 2 - 3 ม. ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่า คือ การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้ลึกมากที่สุด ปริมาณความสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงาน (working Plane) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงกับระนาบนั้น ๆ โดยมุมองศามี่แสงตกกระทบนี้ จะแปรผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ ถ้ามุมยิ่งน้อยปริมาณแสงสว่างที่ระนาบของพื้นที่ใช้งานก็จะยิ่งมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางการนำแสงธรรมชาติการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่าที่สุดนั้นเอง

2.9.2 **ตำแหน่งของหน้าต่างด้านข้าง** มีผลต่อการแสงธรรมชาติ ซึ่งสามารถจำแนกตำแหน่งของช่องเปิด หรือเรียกว่าหน้าต่าง ได้ 3 แบบ ดังนี้

1) หน้าต่างช่วงล่าง (Lower Windows) มีความสูงจากพื้นประมาณ 0.90 – 1.50 ม. ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณที่อยู่ใกล้โดยรอบ หรือบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับสายตา เช่น แสงสะท้อนจากพื้นดิน และผิวสะท้อนแสง หน้าต่างช่วงล่างนี้ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องความจ้า และความร้อนของแสงแดด ข้อเสีย คือจะเกิดลักษณะของความเปรียบต่าง (contrast) ระหว่างแนวผนังช่วงบนเหนือหน้าต่างกับบริเวณฝ้าเพดานและยังจำกัดทัศนะวิสัยอีกด้วย

2) หน้าต่างช่วงกลาง (Middle Windows) พบเห็นโดยทั่วไป มีความสูงจากระดับพื้นห้องประมาณ 0.90 – 2.00 ม. ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณโดยรอบแต่ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงจากพื้นดินเข้ามาภายในจะไม่ดีเท่ากับหน้าต่างช่วงล่าง และประสิทธิภาพในการกระจายแสงไม่เท่ากับหน้าต่างช่วงบนที่มีปริมาณความสว่างที่เพียงพอต่อระดับการใช้งานในช่วงระยะ 2 – 3 ม. แต่มีลักษณะทัศนะวิสัยที่ดีกว่าแบบอื่นเนื่องจากอยู่ในระดับแนวสายตาปัญหาที่พบส่วนใหญ่ คือปริมาณความจ้าของแสงที่ได้รับโดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่างแนวทางการปรับแก้โดยการใช้อุปกรณ์บังแดด หรือการปรับความลาดเอียงของกระจก

3) หน้าต่างช่วงบน (Upper Windows) สูงจากพื้น 2.0 ม.ขึ้นไป ให้มีการส่องสว่างผ่านเข้ามาภายในได้ลึกกว่าทุกแบบ ทั้งจากแสงแดดตรง แสงกระจาย ท้องฟ้าปิดแจ่มใส และท้องฟ้ามีเมฆมาก ข้อเสียของหน้าต่างชนิดนี้ คือปริมาณของแสงที่ต้องผ่านเข้ามาภายในระดับของการใช้งานบริเวณที่อยู่ใกล้ช่องแสงจะมีปริมาณแสงที่ไม่เพียงพอ ทัศนะวิสัยด้อยกว่าช่องแสงชนิดอื่น แต่ไม่มีปัญหาเรื่องความจ้าของแสงเนื่องจากเป็นช่วงที่อยู่เหนือระดับสายตา

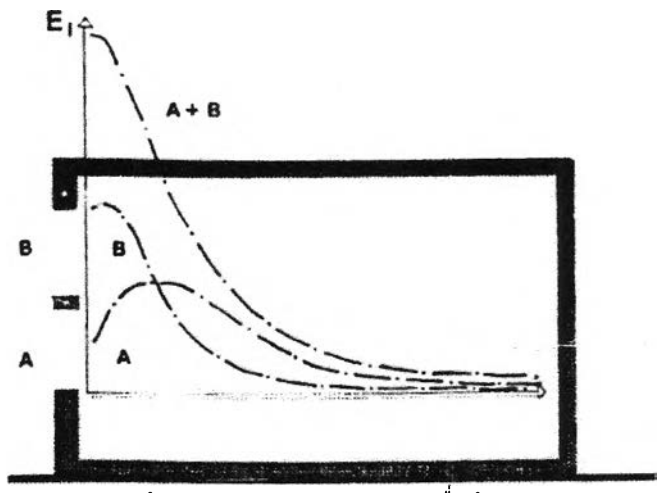


1) หน้าต่างช่วงล่าง 2) หน้าต่างช่วงกลาง 3) หน้าต่างช่วงบน

รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบปริมาณของค่าความสว่างภายในจากหน้าต่างแบบต่าง ๆ

แหล่งที่มา: Mojoros, 1998: 38

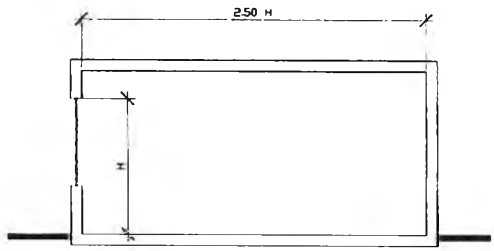
จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งของหน้าต่างที่มีประสิทธิภาพนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ลึกที่สุด ควรใช้หน้าต่างช่วงกลางผสานกับช่วงบน (ดูรูปที่ 2.20 ประกอบ)



รูปที่ 2.20 แสดงการผสานหน้าต่างช่วงกลาง และช่วงบนเพื่อนำค่าความสว่างภายในได้ลึกขึ้น

แหล่งที่มา: Mojoros, 1998: 38

2.9.3 **หลักการออกแบบหน้าต่างด้านข้าง** สิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อให้แสงธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม ต้องคำนึงถึงทิศทางหน้าต่าง (orientation) เป็นอันดับแรก ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร แม้จะเป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน แต่ในขณะเดียวกันก็ควรระมัดระวังในเรื่องของความร้อน และผลกระทบทางการมองเห็นที่ตามมา ความสัมพันธ์ของขนาดหน้าต่างมีผลต่อสภาพการส่องสว่างภายใน โดยทั่วไปสัดส่วนของหน้าต่างมีความสัมพันธ์กับลักษณะการส่องสว่าง 2 กรณี คือ ความสัมพันธ์กับปริมาณแสง และลักษณะการกระจายแสง ที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายในแนวกว้าง แนวยาว และแนวตั้งโดยความลึกของห้องนั้นไม่ควรเกิน 2.5 H เมื่อ H คือ ความสูงของช่องแสง (ดูรูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ของหน้าต่าง ที่มีผลต่อการส่องสว่างภายในห้องประกอบ)

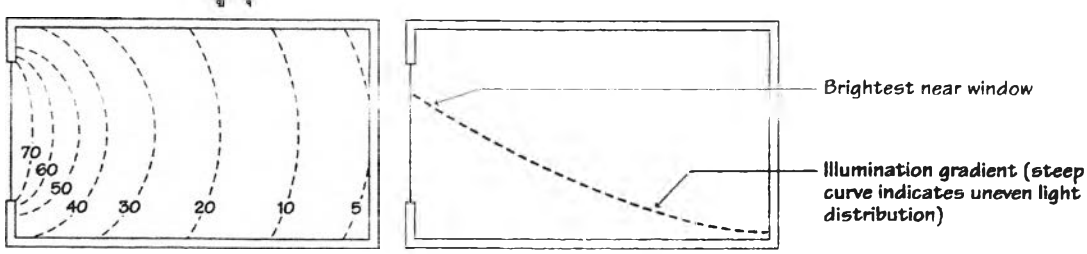


รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ของหน้าต่าง ที่มีผลต่อการส่องสว่างภายในห้อง

ซึ่งความสูง และความกว้างของหน้าต่าง หรือช่องแสงจะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความลึกในการส่องสว่างของแสงที่ผ่านเข้ามาภายใน ส่วนความกว้างจะมีผลต่อปริมาณการส่องสว่างภายใน ตัวอย่างเช่น หน้าต่างที่กว้างและสูง จะมีประสิทธิภาพในการส่องสว่างที่ดีกว่าหน้าต่างที่แคบกว่านั้นเอง

2.9.4 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบหน้าต่างของอาคาร

1) การเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารนั้น ทำได้โดยการติดตั้งหน้าต่างที่ตำแหน่งสูง และกำหนดระยะฝ้าเพดานที่สูง จะช่วยกระจายแสงไปได้ไกลขึ้น (ดูรูปที่ 2.19 c) เปรียบเทียบปริมาณของค่าความสว่างภายในจากหน้าต่างแบบต่าง ๆ ประกอบ) นอกจากนั้นหน้าต่างแนวนอนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้มากกว่าทางแนวตั้ง ซึ่งพื้นที่หน้าต่างควรมากกว่า 20 % ของพื้นห้อง (Lechner, 2001: 376) ซึ่งปริมาณแสงสว่างจะมีปริมาณสูงสุดบริเวณหน้าต่าง และลดลงตามระยะที่มากขึ้น



รูปที่ 2.22 แสดงหน้าต่างแนวนอนช่วยให้แสงเข้ามาได้ลึกขึ้น

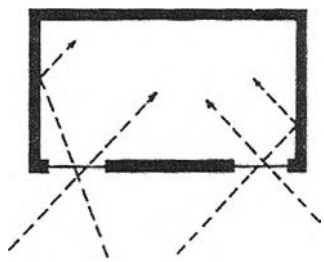
แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 319

2) การนำแสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มปริมาณการส่องสว่าง และลดความจ้าภายในอาคารควรติดตั้งหน้าต่างตั้งแต่ 2 ด้านขึ้นไป จะมีประสิทธิภาพดีกว่าหน้าต่างเพียงด้านเดียว

รูปที่ 2.23 แสดงความส่องสว่างของหน้าต่างด้านเดียวกับสองด้าน

แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 112

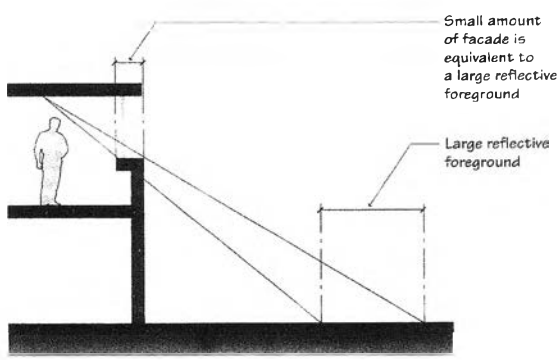
3) ควรติดตั้งหน้าต่างไว้ใกล้กับผนังภายในอาคาร เนื่องจากผนังภายในจะเป็นเสมือนตัวสะท้อนแสงที่ช่วยสะท้อนรังสีตรงของแสงอาทิตย์ให้เป็นแสงกระจายทำให้ห้องนั้นสว่างมากขึ้น และนอกจากนั้นยังช่วยลดอัตราส่วนความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังลง ส่งผลต่อการลดแสงบาดตาที่เกิดขึ้นภายในห้อง



รูปที่ 2.24 แสดงการติดตั้งช่องแสงไว้ใกล้กับผนังภายในอาคาร

แหล่งที่มา : Lechner, 2001: 376

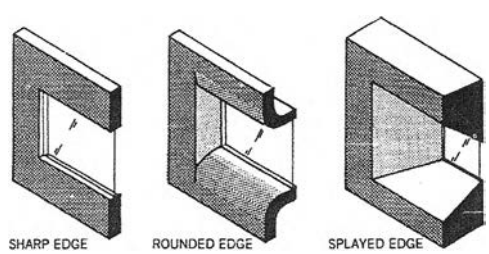
4) ปริมาณแสงสะท้อนจากการขยายขอบหน้าต่างแนวนอนจะเท่ากับแสงสะท้อนจากพื้นดินด้านล่าง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างภายใน



รูปที่ 2.25 แสดงสัดส่วนของแสงสะท้อนจากขอบหน้าต่างจะเท่ากับแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก

แหล่งที่มา : Egan and Olgyay, 2002: 93

5) การขยายขอบหน้าต่างไม่ว่าจะเป็นลักษณะแบน หรือโค้งช่วยกระจายแสงจากภายนอกก่อนเข้าสู่ห้อง ช่วยลดแสงบาดตาและความจ้าภายในอาคารได้ดี



ภาพที่ 2.26 แสดงการใช้ขอบหน้าต่างแบบแบนหรือโค้งเพื่อช่วยลดแสงบาดตาและความจ้า

แหล่งที่มา : Lechner, 2001: 377

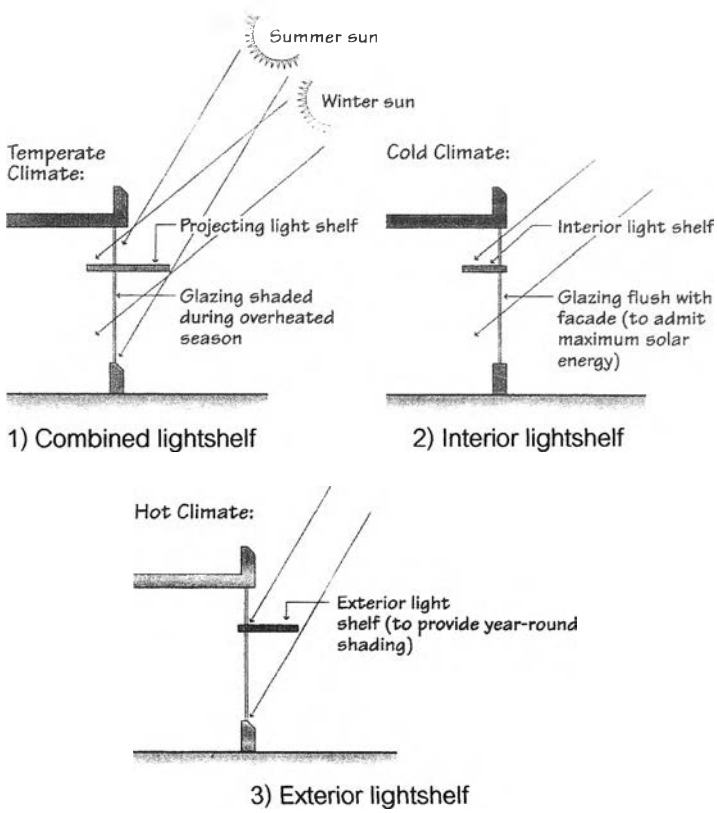
6) แสงที่จะเข้ามาภายในอาคารควรจะเป็นแสงกระจาย ที่มีอุปกรณ์บังแดด และหิ้งสะท้อนแสงเพื่อป้องกันรังสีตรงจากแสงอาทิตย์ และช่วยสะท้อนแสงขึ้นบนฝ้าเพดานเพื่อกระจายแสงให้เกิดความสม่ำเสมอ

2.10 **หิ้งสะท้อนแสง** (Lightshelf)

จากแนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ ระหว่างบทบาทของหน้าต่างหรือช่องเปิดกับปัจจัยภายนอกนั้นพบว่าปัญหาในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางด้านข้างนั้นอยู่ที่ความลึกของห้องเป็นสำคัญ ทำให้ต้องหาแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้หิ้งสะท้อนแสง เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการเพิ่มปริมาณแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคาร ช่วยสะท้อนแสงขึ้นสู่ฝ้าเพดาน และพื้นที่ใช้สอยภายในแล้ว ยังสามารถช่วยป้องกันแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์และช่วยลดแสงจ้าบาดตาอีกด้วย

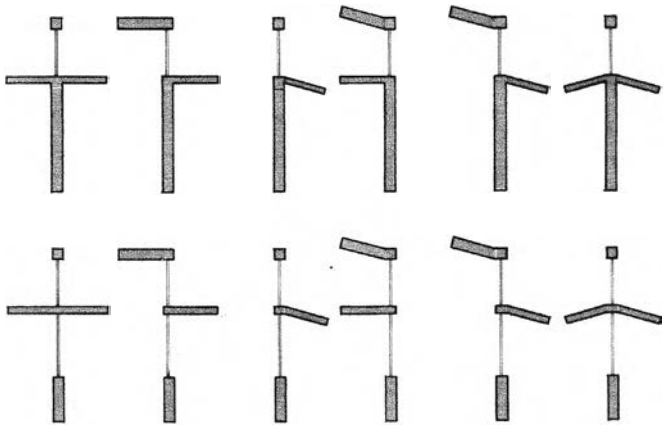
2.10.1 **รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง** จะมีความแตกต่างกันไป โดยการใช้หิ้งสะท้อนแสงกับอาคารควรจะพิจารณาให้เกิดความเหมาะกับสภาพภูมิอากาศเป็นหลัก โดยจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

1. หิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (Exterior lightshelf) เหมาะกับภูมิอากาศเขตร้อน
2. หิ้งสะท้อนแสงภายในอาคาร (Interior lightshelf) เหมาะกับภูมิอากาศเขตหนาว
3. หิ้งสะท้อนแสงภายผสม (Combined lightshelf) เหมาะกับภูมิอากาศเขตอบอุ่น



รูปที่ 2.27 แสดงรูปแบบทั่วไปของ Lightshelf

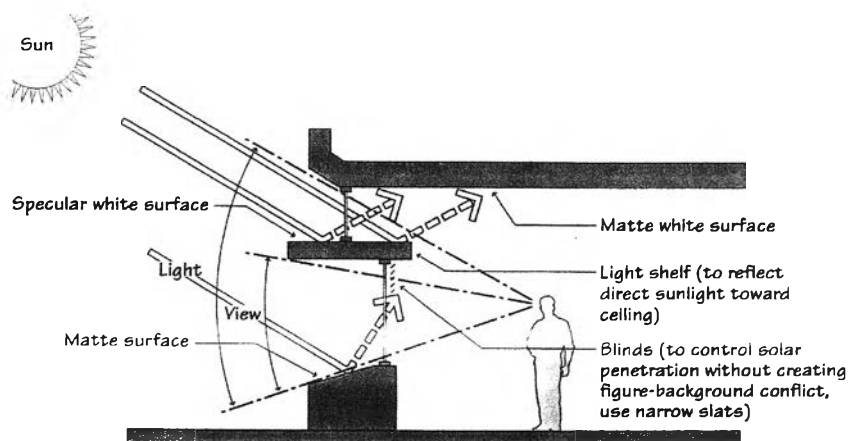
แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 120



รูปที่ 2.28 แสดงหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบต่าง ๆ

แหล่งที่มา: Claude, 1986: 121

2.10.2 **แนวทางการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง** ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังต่อไปนี้



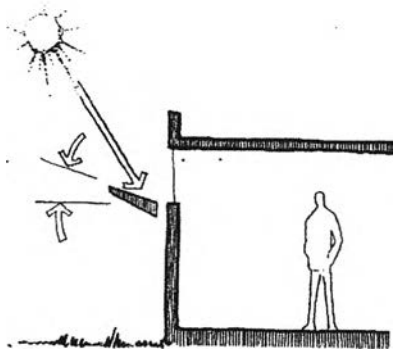
รูปที่ 2.29 แสดงปัจจัยที่เหมาะสมในการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง

แหล่งที่มา: Egan and Olgyay, 2002: 117

1) ความสูง ในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง จะต้องคำนึงถึงการสะท้อนของแสงแดดที่มีต่อฝ้าเพดาน ในการให้แสงสว่างผ่านเข้ามาเป็นสำคัญ ควรติดตั้งที่ระดับ 1.65 - 2.00 ม. ซึ่งเป็นระดับเหนือสายตา และเป็นระดับความสูงโดยทั่วไปของประตูหน้าต่าง จะเป็นช่วงระดับความสูงที่ดีที่สุด ในขณะที่ตัวแปรอื่น ๆ เป็นแนวทางในการพิจารณา

2) ความลึก ขึ้นอยู่กับพื้นที่ใช้สอยภายใน ตลอดจนความสูงของ ทิศทาง และตำแหน่งของหน้าต่าง ที่ต้องการให้เกิดเงาในการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่มีความลึกมาก ๆ นอกจากจะช่วยป้องกันความร้อน และให้ร่มเงากับอาคารแล้ว ยังช่วยลดปริมาณแสงที่มีความจ้ามากเกินไปบริเวณใกล้หน้าต่าง

3) การปรับให้หิ้งสะท้อนแสงมีมุมเอียงขึ้น ช่วยสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในมากขึ้น



รูปที่ 2.30 การปรับมุมเอียงขึ้นของหิ้งสะท้อนแสง

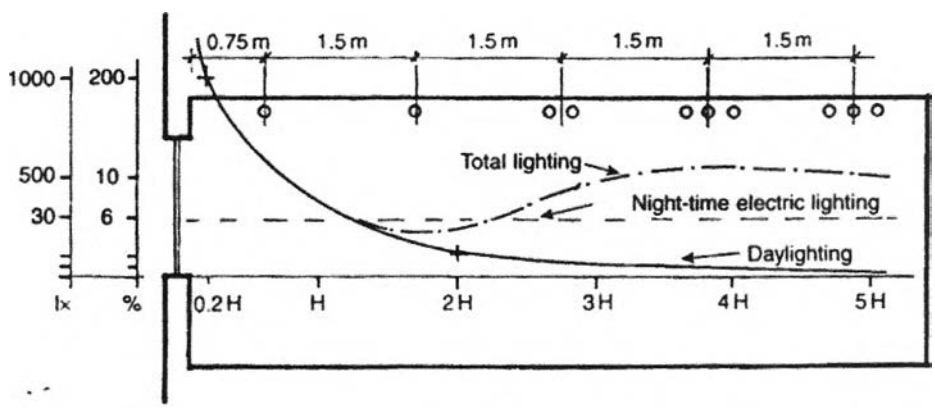
แหล่งที่มา: Moore, 1991: 89

4) **พื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง** ควรจะมีความมันเงา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในให้มากขึ้น

5) ความสะอาดของพื้นผิว ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการสะท้อนแสงของหิ้งสะท้อนแสง ควรมีการเลือกวัสดุที่เหมาะสมและดูแลรักษาง่าย

2.11 การผสานระหว่างแสงธรรมชาติกับแสงไฟฟ้า

ความแปรปรวนของแสงธรรมชาติทำให้ความสว่างภายในอาคารสำนักงานไม่คงที่ จึงไม่สามารถตอบสนองความต้องการทางด้านความสบายทางสายตาได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการเลือกใช้ระบบแสงไฟฟ้าช่วยเสริมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก ซึ่งการผสานการใช้งานระหว่างแสงธรรมชาติกับแสงไฟฟ้า



รูปที่ 2.31 แสดงการผสานการใช้งานระหว่างแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

แหล่งที่มา: The Luminous Environment, 1986: 141

2.11.1 **การออกแบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร** ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารโดยใช้แสงประดิษฐ์ จัดเป็นสิ่งสำคัญมากในการให้ความสว่างแก่ภายในอาคาร ต้องมีความเหมาะสมแก่การใช้งานทั้งในแง่ของปริมาณความส่องสว่าง และคุณภาพของแสง รวมถึงตำแหน่งการจัดวางดวงโคมด้วย ในการออกแบบระบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคารมีวิธีการคำนวณหลายรูปแบบ ซึ่งแล้วแต่ผู้ออกแบบเลือกใช้วิธีการ

คำนวณระบบแสงประดิษฐ์ภายในอาคารมีวิธีคำนวณหลายรูปแบบ ซึ่งแล้วแต่ผู้ออกแบบเลือกใช้ วิธีการคำนวณระบบแสงประดิษฐ์นั้นแบ่งออกเป็นหลายวิธี ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ การวิธีการคำนวณการส่องสว่างแบบลูเมน

1) การคำนวณการส่องสว่างแบบลูเมน ส่วนมากใช้กับพื้นที่ที่ต้องการความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ และรวมถึงผลกระทบของการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้เป็นผนัง พื้นและเพดาน เหมาะสำหรับอาคารประเภทที่ควบคุมการใช้ปริมาณแสงมากเช่น ห้องเรียน สำนักงาน ห้องประชุม เป็นต้น การคำนวณวิธีนี้มีข้อเสียตรงที่ค่อนข้างเสียเวลามาก การคำนวณการส่องสว่างแบบลูเมนใช้สมการการคำนวณดังนี้

$$E = N \times L \times MF \times CU / A \quad \text{.....(2.15)}$$

โดย E คือ ความส่องสว่าง มีหน่วยเป็นลักซ์ (lx)
N คือ จำนวนหลอด
L คือ ปริมาณแสง มีหน่วยเป็น ลูเมน/หลอด
MF คือ เฟคเตอร์การบำรุงรักษา
CU คือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน
A คือ พื้นที่ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

ค่า E MF และ CU เป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานของบริษัทที่นำผลิตหลอดไฟ เช่น ค่า E เป็นค่าที่กำหนดมาตรฐานความสว่างภายในพื้นที่ส่วนนั้นตามมาตรฐานของ IES หรือ CIE แล้วแต่การเลือกใช้ของผู้ออกแบบ เช่น ความสว่างของพื้นที่ทำงานในส่วนสำนักงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 500 ลักซ์ เป็นต้น

ค่า MF เป็นการพิจารณาถึงความบ่อยครั้งการดูแลทำความสะอาดหลอดไฟ ซึ่งมีผลต่อการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า เช่นพื้นที่ที่ทำความสะอาดปอย จะมีค่า MF สูง เช่นห้องเด็กอ่อนในโรงพยาบาลมีค่า MF = 0.9 ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีการทำความสะอาดเป็นครั้งคราวใช้ MF = 0.75 – 0.8 แต่ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีการทำความสะอาดน้อย เช่น ห้องเก็บของ มีค่า MF = 0.5 เป็นต้น

ในส่วนของค่า CU เป็นอัตราส่วนของสัดส่วนของปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมและสะท้อนพื้น ผนัง และเพดานก่อนลงมาที่โต๊ะ ต่อปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอด โดยค่า CU เป็นค่าที่ผู้ผลิตระบุมาพร้อมกับตารางคุณสมบัติของหลอดนั้นนั้น

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

$$RCR = 5xHx(L+W)/(LxW) \quad \text{.....(2.16)}$$

$$K = (LxW) / (LxW) \quad \text{.....(2.17)}$$

โดยที่ L คือ ความยาวของห้อง มีหน่วยเป็นเมตร

W คือ ความกว้างของห้อง มีหน่วยเป็นเมตร

H คือ ความสูงจากโต๊ะทำงานถึงตำแหน่งของดวงโคม มีหน่วยเป็นเมตร

2.11.2 **พลังงานไฟฟ้าจากการเพิ่มค่าความสว่างภายในอาคาร** โดยคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากการเพิ่มค่าความสว่างภายในโดยแสงประดิษฐ์ ซึ่งพิจารณาได้จากสมการ คือ

$$\text{Total Watt of Lamp} = \frac{\text{Illuminance} * \text{Area}}{\text{Efficacy} * (\text{CU} * \text{LLF})} \quad \text{.....(2.18)}$$

โดย Total Watt of Lamp คือ พลังงานที่ใช้ในส่วนของการให้ความสว่างเพิ่มไม่รวมการสูญเสียพลังงานของบัลลาส์ต (วัตต์-ชั่วโมง)

Illuminance คือ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งานที่ต้องการเพิ่ม (lx)

Area คือ พื้นที่ที่พิจารณาเพิ่มค่าความสว่าง (ตารางเมตร)

Efficacy คือ ประสิทธิผลของดวงโคม หรือ หลอดไฟ

CU คือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน (coefficient of utilization)

LLF คือ ค่าตัวประกอบที่มีผลทำให้ปริมาณแสงลดลง (light loss factor)

LDD คือ ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของหลอด (lamp lumen depreciation)

โดย $\text{LLF} = \text{RSDD} * \text{LDD} * \text{LSD} * \text{LLD} * \text{LBF} * \text{LAT} * \text{VLF} * \text{LBO}$ .....(2.19)

RSDD คือ ความเสื่อมของพื้นผิวห้องสกปรก (room surface dirt depreciation)

LSD คือ ความสกปรกของดวงโคม (luminaire surface depreciation)

VL คือ ค่าแรงดันกำลังไฟฟ้าของหลอด (voltage to luminaire)

LBO คือ ค่าตัวประกอบของหลอดไฟเสีย (lamp burn out)

LLD คือ ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (luminaire dirt depreciation)

BF คือ ค่าตัวประกอบของบัลลาสต์ (ballast factor)

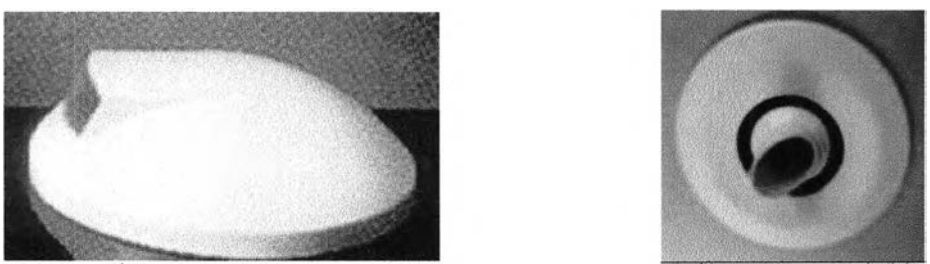
LAT คือ ค่าตัวประกอบอุณหภูมิโดยรอบของหลอด (luminaire ambient temperature)

ซึ่ง RSDD LDD และ LLD เป็นค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด ส่วนค่า BF*LAT*VLF*LBO*LSD โดยทั่วไปนั้นมีค่าเท่ากับ 1

2.11.3 **การควบคุมโดยการเชื่อมต่อกับแสงธรรมชาติ** การเชื่อมต่อกับระดับการส่องสว่างของแสงสว่างธรรมชาติผ่านการควบคุมโดยเซลล์ไวแสง photocell ซึ่งการปรับเปลี่ยนจะสัมพันธ์กับระดับการส่องสว่างของแสงธรรมชาติ เพื่อให้ได้ระดับความส่องสว่างภายในอาคารที่เหมาะสม การควบคุมนั้นสามารถใช้ร่วมกับการตั้งเวลาและการควบคุมโดยผู้ใช้อาคาร อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปิด – ปิดนั้นมีความเรียบง่าย ราคาไม่แพง ระบบยังสามารถควบคุมความเข้มแสงอาทิตย์ สร้างความสบายทางสายตาให้กับผู้ใช้อาคาร และลดภาระการ

ทำความเย็นภายในอาคารได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งระบบนี้มีการใช้งานสะดวก โดยการติดตั้งได้ทั้งบริเวณภายนอก ภายใน หรือแผงกันแดด

โดยตัวรับสัญญาณแสงมี 2 ชนิด คือ ตัวรับสัญญาณแสงที่ทำด้วยแคดเมียมซัลไฟด์ (cadmium sulfide) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการตรวจสอบแสง เมื่อแคดเมียมซัลไฟด์ตอบสนองแสงจากภายนอกแล้ว จะเปลี่ยนแปลงความต้านทานกระแสไฟฟ้าและจะไปกำหนดเวลาในการปิด – เปิด สวิตช์ ตัวรับสัญญาณแสงนี้ ได้มีการปรับเปลี่ยนการส่งสัญญาณด้วยเซลล์ไวแสง (photocell) เพื่อให้เปิดไฟเร็วขึ้นในช่วงเย็นและปิดไฟให้ช้าลงในช่วงเช้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะขยายเวลาในช่วงการทำงาน ส่วนอีกชนิด คือ อิเลคโทรนิค โฟโต้ เซ็นเซอร์ (Electronic photo sensors) ซึ่งใช้ซิลิโคน ไดโอด (silicon diode) ในการตรวจสอบแสงธรรมชาติและมีความแม่นยำกว่า ถึงแม้ว่าอิเลคโทรนิค โฟโต้ เซ็นเซอร์จะมีราคาแพงกว่าแบบแคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า.



รูปที่ 2.32 ตัวรับสัญญาณแสงของระบบการควบคุมโดยการเชื่อมต่อกับแสงธรรมชาติ

แหล่งที่มา: http://www.leam.londonmet.ac.uk/packages/daymedia./costas/controls/leo_8.html

ตำแหน่งติดตั้งเครื่องรับสัญญาณแสงอิเลคโทรนิค โฟโต้ เซ็นเซอร์ (Electronic photo sensors)

1) ไม่ควรติดตั้งไว้บริเวณตำแหน่งสูงหรือต่ำเกินไป

2) หากห้องนั้นมีการใช้งานเพียงอย่างเดียวควรติดตั้งตัวเครื่องรับสัญญาณแสง เหนือบริเวณพื้นที่ใช้งานนั้น

3) หากห้องนั้นประกอบด้วยหลายพื้นที่ใช้งาน ควรติดตั้งเครื่องรับสัญญาณแสง บริเวณเหนือพื้นที่ใช้งานที่มีการส่องสว่างของแสงธรรมชาติได้ชัดเจนที่สุด

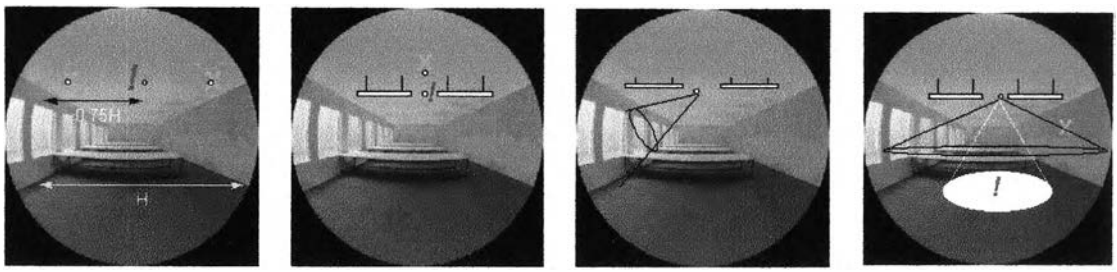
4) เครื่องควบคุมบางอย่างนั้นต้องใช้เครื่องรับสัญญาณแสง หลายตัวในการช่วยรับสัญญาณ กับระบบการให้แสงสว่างทั้งทางอ้อมและทางตรง โดยทางอ้อม เครื่องรับสัญญาณแสงควรติดตั้งไว้ในระนาบที่สามารถติดตั้งได้เพื่อที่จะรับสัญญาณในส่วนล่าง

5) สำหรับระบบการส่องสว่างโดยตรงนั้น ควรติดตั้งเครื่องรับสัญญาณแสง ในช่องของฝ้าเพดาน

6) ขอบเขตของการควบคุมไม่ควรที่จะแคบไปหรือเครื่องรับสัญญาณแสง นั้นควรที่จะมีความไวต่อการกระทบเพียงเล็กน้อย

7) เครื่องรับสัญญาณแสง วงแหวนที่ติดตั้งบนฝ้าเพดานควรที่จะมีขอบเขตการควบคุมที่กว้างและควรป้องกันการสัมผัสแสงแดดโดยตรงจากหน้าต่าง

8) ควรติดตั้งเครื่องตรวจจับไว้ในระบบสวิตซ์ ซึ่งมันจะเห็นทั้งแหล่งแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร ควบคู่กับแสงไฟฟ้าภายใน เพื่อช่วยในการปรับระดับการส่องสว่างให้สมดุล และสอบถามข้อแนะนำอื่น ๆ กับบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 2.33 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่อง Photo sensors

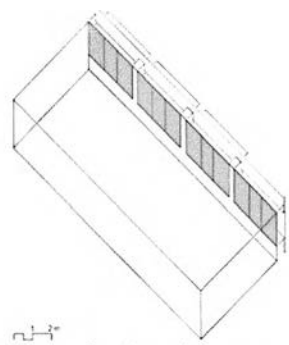
แหล่งที่มา: http://www.leam.londonmet.ac.uk/packages/daymedia./costas/controls/leo_8.html

2.12 กรณีศึกษาการใช้หิ้งสะท้อนแสงในอาคาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

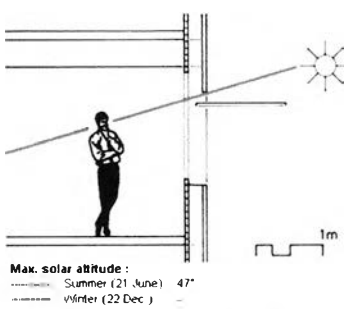
แนวทางการนำแสงธรรมชาติเข้าผ่านหน้าต่างร่วมกับหิ้งสะท้อนแสง ซึ่งศึกษาจากอาคารตัวอย่าง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจะสรุปตัวแปรของหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการออกแบบ

2.12.1 อาคาร Asmac in Bussigny สถาปนิกผู้ออกแบบ J.D. Baechier เป็นอาคารสำนักงานขนาดเล็ก 2 ชั้น ใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทำจากวัสดุโปร่งแสง (translucent) ซึ่งมีการศึกษาปริมาณค่า DF แสงที่ผ่านเข้ามา โดยพบว่าบริเวณช่องเปิดค่า DF ที่มีค่าสูงสุด คือ 3.3 % และ 8/10 ของพื้นที่ภายในมีค่า DF น้อยกว่า 2.0 %

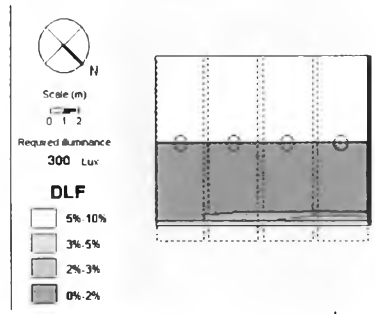
1) ทัศนียภาพภายนอก



2) รูปทรงของพื้นที่ห้องที่ใช้ศึกษาทดลอง



3) รูปตัดแสดงแสงแดดตรงที่เข้าสู่พื้นที่ภายใน



4) การประเมิน ค่า DF ของอาคาร ที่ 300 lx

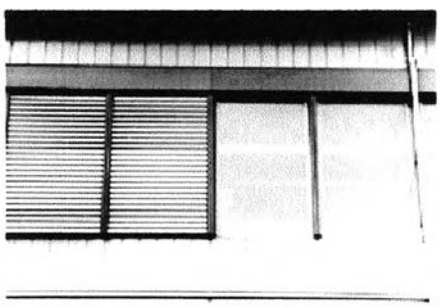
รูปที่ 2.34 แสดงรูปของอาคารอาคารสำนักงาน Asmac in Bussigny

แหล่งที่มา: Program LesoDAIL Lexicon Version 2.0, Multimedia Toolbook – M16. EXE

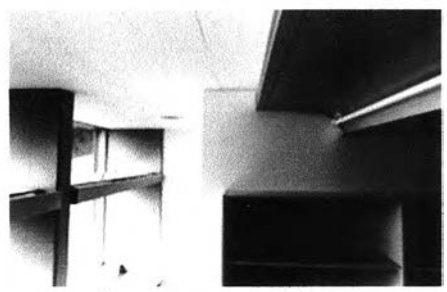
ตารางที่ 2.5 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Asmac in Bussigny ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบนอก รูปทรงเรียบตรง	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	1.40 ม.	โดยประมาณ
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	วัสดุโปร่งแสง (translucent)	-
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.00 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนแสง	-	-
ข้อดี : มีรูปแบบที่เรียบง่าย ข้อเสีย : หิ้งสะท้อนแสง นำแสงธรรมชาติผ่านเข้ามาได้น้อย		

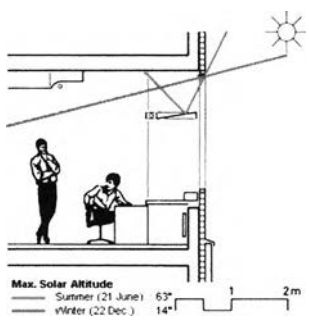
2.12.2 อาคาร Institute of Virology in Mittelhausem สถาปนิกผู้ออกแบบ Itten & Brechbuhl (Berne - CH) เป็นอาคารเก่า สร้างขึ้นมาตั้งแต่ ค.ศ.1973 มีการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้หิ้งสะท้อนแสง และขอบหน้าต่างที่ติดตั้งภายใน ซึ่งมีการศึกษาปริมาณค่า DF แสงที่ผ่านเข้ามา โดยพบว่าบริเวณช่องเปิดค่า DF ที่มีค่าสูงสุด คือ 12.0 % และ 8/10 ของพื้นที่ภายในมีค่า DF น้อยกว่า 2.0 %



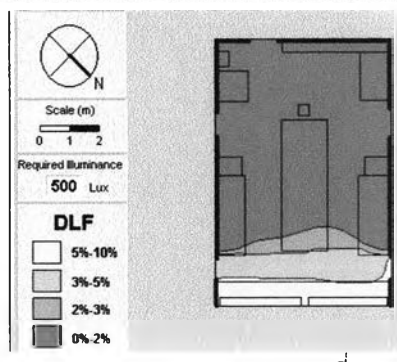
1) แสดงลักษณะรูปทรงหน้าต่างจากภายนอก



2) แสงที่ผ่านช่องเปิด และหิ้งสะท้อนแสง



3) รูปตัดแสดงแสงแดดตรงที่เข้าสู่พื้นที่ภายใน



4) การประเมิน ค่า DF ของอาคาร ที่ 500 lx

รูปที่ 2.35 แสดงรูปของอาคาร Institute of Virology in Mittelhausem

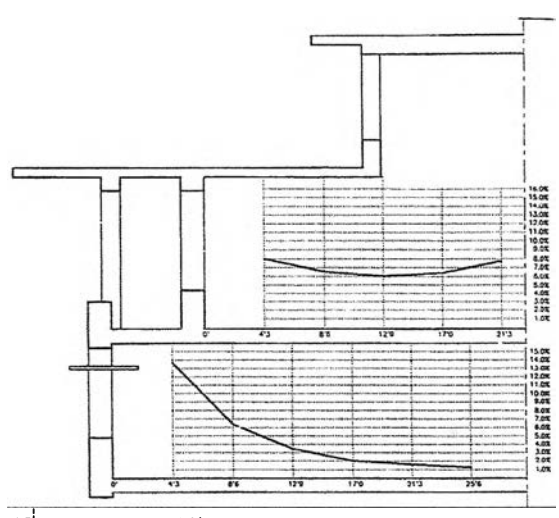
แหล่งที่มา: Program LesoDAIL Lexicon Version 2.0, Multimedia Toolbook – M10. EXE

i11661780

ตารางที่ 2.6 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร Institute of Virology in Mittelhausem ที่สามารถวิเคราะห์ได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบภายใน รูปทรงเอียง 14 องศา	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	0.80 ม.	-
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	อลูมิเนียม ผิวมัน สะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน	-
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.10 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนแสง	ขอบหน้าต่าง	กว้าง 1.00 ม.
ข้อดี : มีรูปแบบที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ข้อเสีย : ช่องเปิดกระจกจะป้องกันแสงตรงเป็นบางส่วนของ		

2.12.3 อาคาร Nike European Headquarters สถาปนิกผู้ออกแบบ William Mcdonough และทีมงาน ซึ่งกำหนดให้การจัดวางตำแหน่งอาคารจะคำนึงถึงทิศทาง โดยนำแสงธรรมชาติจากช่องเปิดทิศเหนือ - ใต้ เนื่องจากได้รับแสงแดดไม่รุนแรงมาก ใช้ช่องเปิดด้านข้างประกอบกับหิ้งสะท้อนแสง เพื่อให้แสงเข้ามาได้ลึกขึ้น ในบริเวณส่วนของสตูดิโอชั้นบนสุดเป็นส่วนที่ต้องการแสงสว่างมาก จึงได้เพิ่มพื้นที่หน้าต่างเป็นกระจกทั้งชั้น และได้มีการป้องกันความร้อนโดยใช้อุปกรณ์บังแดดแนวนอน (overhang) ยื่นออกมาปกคลุมส่วนกลางของสำนักงานใช้ช่องเปิดแบบ Clerestory ช่วยให้แสงภายในมีความสม่ำเสมอมากขึ้น บริเวณโถงบันไดใช้ช่องแสงด้านบน (skylight) เพื่อส่องสว่างได้ทั่วถึง นอกจากการเลือกใช้ช่องเปิดให้เหมาะสมกับแต่ละหน้าที่การใช้งาน เลือกใช้กระจกฉนวนที่มีค่าการส่องผ่านของแสงปริมาณ 60 % และมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) 0.40 โดยจะสรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการศึกษา ดังนี้



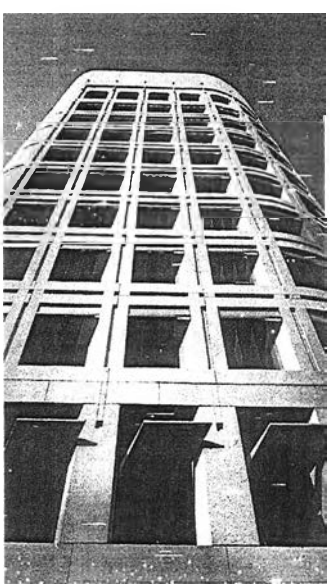
รูปที่ 2.36 แสดงรูปตัดอาคารแสดงค่า Daylight Factor ภายในส่วนสำนักงาน

แหล่งที่มา: Ander, 1995:106 - 112

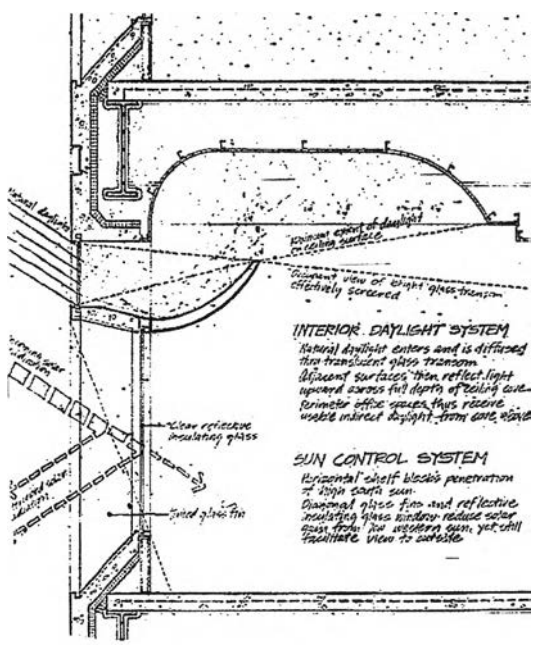
ตารางที่ 2.7 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของ Nike European Headquarters ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสม รูปทรงเรียบตรง	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	1.20 ม.	โดยประมาณ
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	-	-
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.00 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนแสง	ใช้ช่องแสงด้านบน	-
ข้อดี : มีรูปแบบที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ข้อเสีย : ช่องเปิดกระจกจะป้องกันแสงตรงเป็นบางส่วนของ		

2.12.4 **อาคาร United Gulf Bank** สถาปนิกผู้ออกแบบ Skidmore , Owings & Merrill LLP (Adrain Smith, FAIA และทีมงาน) แนวความคิดในการออกแบบอาคาร โดยนำแสงธรรมชาติเข้าจากด้านข้างผ่านหิ้งสะท้อนแสง โดยลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกโปร่งแสงด้านบนเข้ามาภายในจะกระทบกับหิ้งสะท้อนแสงโค้ง ซึ่งทำให้แสงตรงนั้นเป็นแสงกระจายขึ้นสู่ฝ้าเพดานโค้งด้านบนและกระจายความสว่างได้ทั่วถึงพื้นที่ด้านล่าง



1) การใช้หิ้งสะท้อนแสงจากภายนอก



2) ภาพตัดแสดงของหิ้งสะท้อนแสง

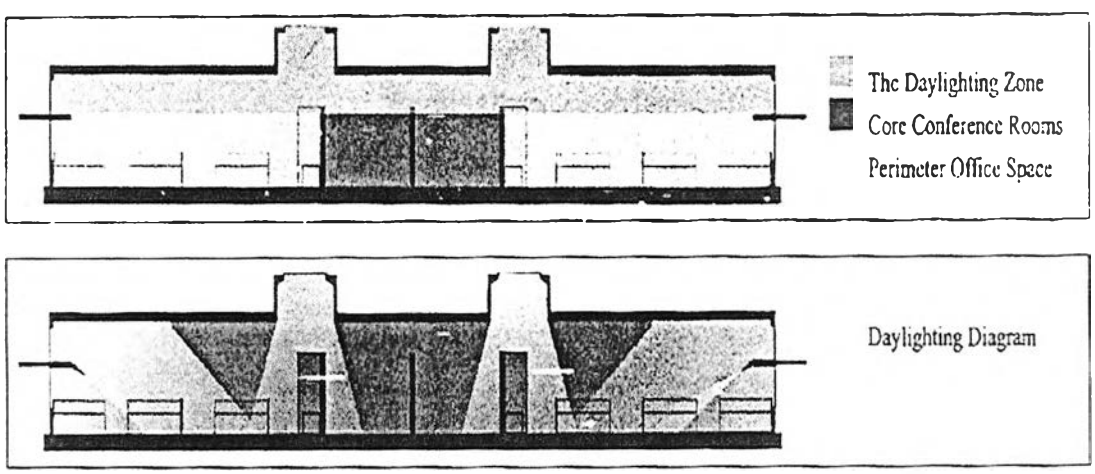
รูปที่ 2.37 แสดงหิ้งสะท้อนแสงของอาคาร United Gulf Bank

แหล่งที่มา: Ander,1995: 117 - 120

ตารางที่ 2.8 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของ United Gulf Bank ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ภายใน รูปทรงโค้งขึ้น	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	1.20 ม.	โดยประมาณ
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	พื้นผิวมันวาว สะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงาบางส่วน	โดยประมาณ
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.00 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง	การปรับฝ้าเพดานโค้ง และปรับมุมขอบหน้าต่าง	-
ข้อดี : .ให้แสงที่นุ่มนวล จากผิวโค้งของหิ้งสะท้อนแสง ฝ้าเพดาน ข้อเสีย : กระจกช่องแสงได้รับแสงแดดโดยตรงจะเกิดความร้อนสะสม		

2.12.5 **อาคาร** Automotive Industry Office / Warehouse สถาปนิกผู้ออกแบบ : Group Mackenzie, Robert Thompson, Project Architecture, Portland, Oregon การออกแบบในส่วนสำนักงานมีการให้แสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านข้างทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ซึ่งมีการบังแดดด้วยอุปกรณ์บังแดดแนวนอน (overhang) ภายนอกที่ยื่นออกมามาก ประกอบกับการใช้หิ้งสะท้อนแสงภายใน ช่องเปิดด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะอยู่ลึกจากแนวผนังเข้าไป ได้มีการนำช่องแสงด้านบน (skylight) เข้ามาผสานการใช้งานกับช่องเปิดด้านข้างเพื่อให้ระดับการส่องสว่างภายในมีความสม่ำเสมอมากขึ้น



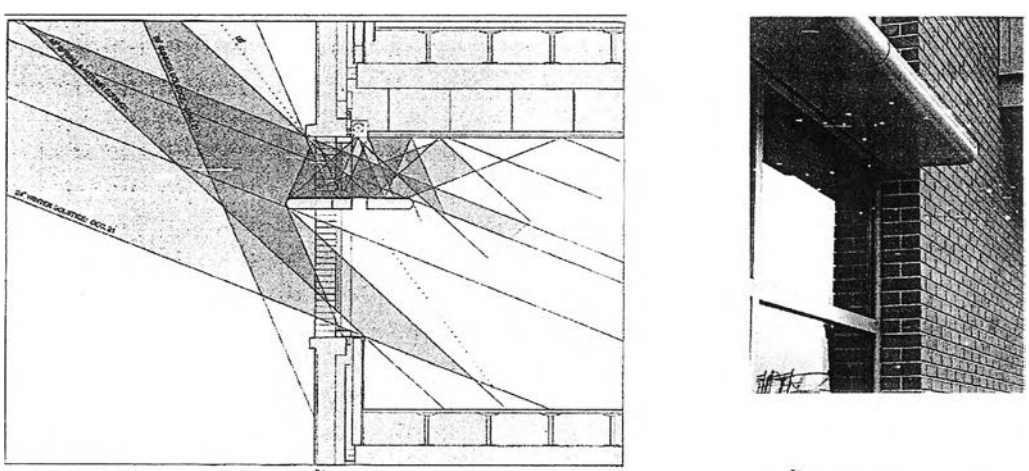
รูปที่ 2.38 แสดงรูปตัดภายในสำนักงาน มีการให้แสงจากส่วนบนช่วยในการกระจายแสงให้ทั่วถึงภายในมากขึ้น ส่วนช่องแสงด้านข้างมีการใช้หิ้งสะท้อนแสงประกอบ

แหล่งที่มา: Ander,1995:130 - 136

ตารางที่ 2.9 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของ Automotive Industry Office / Warehouse ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสม รูปทรงเรียบตรง	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	1.50 ม.	โดยประมาณ
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	พื้นผิวด้าน สะท้อนแสงแบบกระจาย	โดยประมาณ
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.00 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง	ใช้ช่องแสงด้านบน	-
ข้อดี : พื้นที่ภายในมีความสว่างมาก ข้อเสีย : การใช้ช่องเปิดในทิศตะวันออก และตะวันตกจะมีแสงตรงมาก อีกทั้งความร้อนที่แฝงมาด้วย		

2.12.4 **อาคาร Johnson Center** สถาปนิกผู้ออกแบบ : William Mcdonough และทีมงาน , Charlottesville Virgina เป้าหมายแรกของการออกแบบ คือ ให้ทุกพื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติและได้เห็นทัศนียภาพได้ทั่วถึง ใช้ กระจกใสรอบช่องเปิดของสำนักงานทำให้ได้รับแสงและมุมมองที่ดี สำหรับผู้ที่ทำงาน ซึ่งจะต้องระมัดระวังในเรื่องของสีและคุณภาพของแสงแดดในช่วงกลางวัน ดังนั้นควรมีการป้องกันโดยการบังแดด หิ้งสะท้อนแสงที่ใช้ในอาคาร ยื่นออกมาจากอาคารเหนือหน้าต่างยาวประมาณ 45 ซม. พื้นผิวด้านบนของหิ้งสะท้อนแสงมีสีขาวซึ่งช่วยสะท้อนแสงผ่านเข้าไปยังหน้าต่างส่วนบน(Clerestory) แล้วสะท้อนกับฝ้าเพดาน หิ้งสะท้อนแสงนี้ยังสามารถบังแดด ช่วยลดการได้รับความร้อนของกระจกลงได้ เนื่องจากรังสีตรงจากแสงอาทิตย์เข้ามาภายในอาคารได้น้อยลง นอกจากนั้นยังช่วยลดความจ้าและแสงบาดตาภายใน



1) รูปตัดของหิ้งสะท้อนแสง 2) หิ้งสะท้อนแสงภายนอก

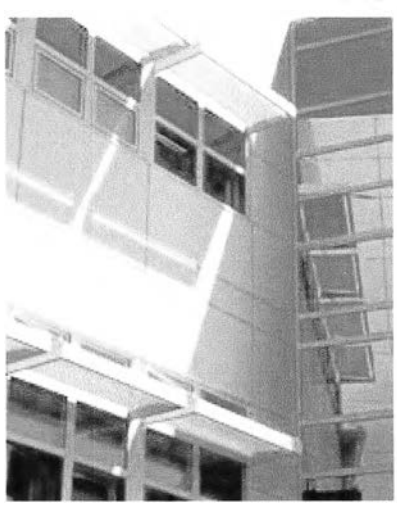
รูปที่ 2.39 การทำงานของหิ้งสะท้อนแสง

แหล่งที่มา: Ander,1995:147 - 143

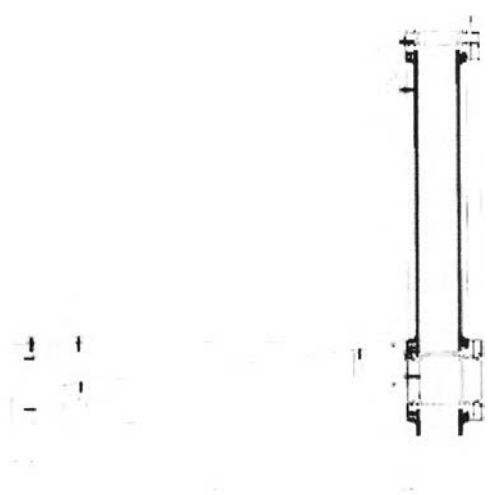
ตารางที่ 2.10 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของ Johnson Center ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบผสม รูปทรงเรียบตรง	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	1.00 ม.	โดยประมาณ
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	พื้นผิวมัน สะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา	โดยประมาณ
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.00 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง	ใช้ขอบหน้าต่างทั้งภายนอก และภายใน	-
ข้อดี : เห็นทัศนียภาพ ป้องกันแสงตรง และหิ้งสะท้อนแสงแยกชิ้น ป้องกันการนำความร้อน ข้อเสีย : ช่องเปิดกระจกจะได้รับแสงตรงได้		

2.12.5 อาคาร University of Victoria - Engineering Lab Wing สถาปนิกผู้ออกแบบ The Wade Williams Young & Wright joint venture ออกแบบหิ้งสะท้อนแสงแบบภายนอก โดยวัสดุเป็นอลูมิเนียม ติดตั้งบริเวณหน้าต่างเหนือระดับสายตาเพื่อให้ตกกระทบแล้วสะท้อนไปยังเพดาน เพื่อทำให้ห้องมีความสว่าง และช่วยบังแสงแดดตรงเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร



1) หิ้งสะท้อนแสงจากภายนอกอาคาร



2) รายละเอียดรูปแบบ light shelves

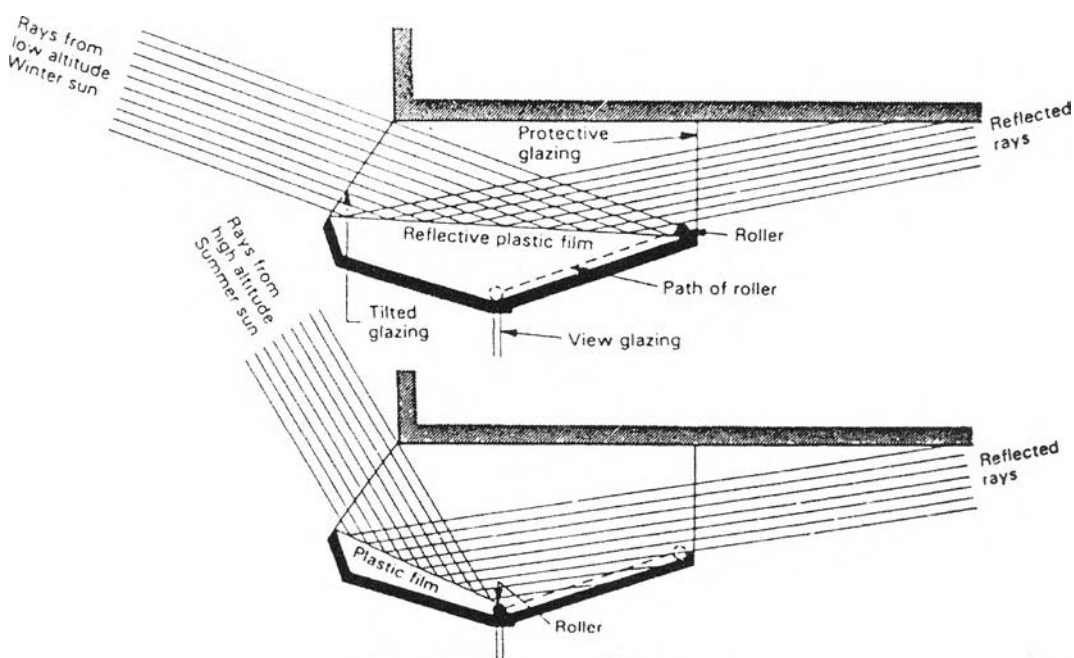
ภาพที่ 2.40 การติดตั้ง light shelf

แหล่งที่มา: http://www.louvrecompany.co.uk

ตารางที่ 2.11 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของ University of Victoria - Engineering Lab Wing ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	แบบภายนอก รูปทรงเรียบตรง	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	1.00 ม.	โดยประมาณ
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	วัสดุโปร่งแสง	-
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.00 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง	ใช้ขอบหน้าต่างทั้งภายนอก และภายใน	-
ข้อดี : เห็นทัศนียภาพ ป้องกันแสงตรง ข้อเสีย : ช่องเปิดกระจกจะได้รับแสงตรงได้ หิ้งสะท้อนแสงชิ้นเดียวจะเกิดการนำความร้อน การดูรักษา		

2.12.5 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** Majoros, The University of Queensland เป็นการศึกษาหาหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดด และสามารถปรับแผ่นฟิลม์พลาสติกที่ช่วยสะท้อนแสงได้ตามฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลง และคำนึงถึงความสะอาดเพื่อคงประสิทธิภาพในการสะท้อน โดยออกแบบหิ้งสะท้อนแสงให้อยู่ภายในอาคาร



รูปที่ 2.41 แสดงรูปตัดของหิ้งสะท้อนแสง

ที่มา : Light: The Luminous Environment, 125

ตารางที่ 2.12 สรุปตัวแปรหิ้งสะท้อนแสงของ Majoros, The University of Queensland ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตัวแปรหิ้งสะท้อนแสง	รูปแบบ	หมายเหตุ
1. รูปแบบหิ้งสะท้อนแสง	ผสม รูปทรงตัดแปลงตามมุมองศาที่ปรับได้	-
2. ขนาดของหิ้งสะท้อนแสง	-	โดยประมาณ
3. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้	แผ่นฟิล์มพลาสติก สะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา	โดยประมาณ
4. ตำแหน่งการติดตั้ง	2.00 ม.	-
5. ตัวแปรเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง	-	-
ข้อดี : หิ้งสะท้อนแสงสามารถป้องกันความร้อนจากแสงตรง และนำแสงสะท้อนได้ดีตลอดทั้งปี ข้อเสีย : เสียพื้นที่ใช้งานบริเวณหน้าต่าง และหิ้งสะท้อนแสงมาก ไม่เหมาะกับรูปแบบอาคารในปัจจุบัน		