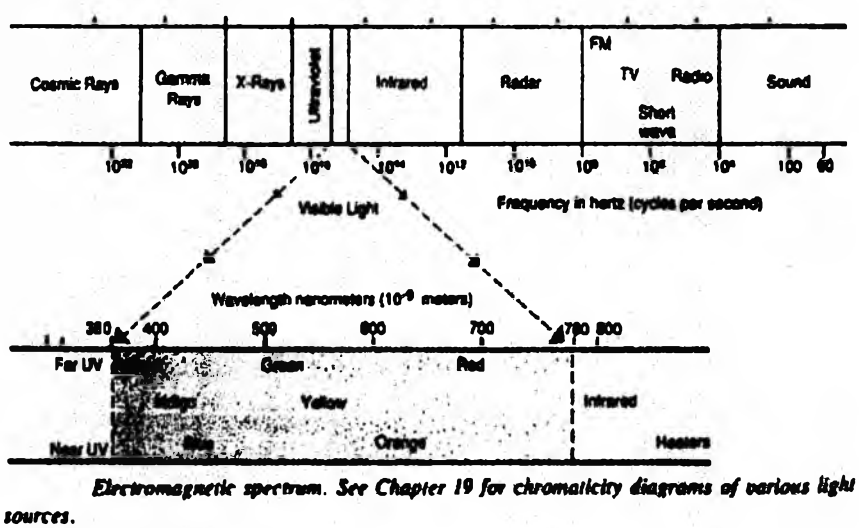
บทที่ 2
ทฤษฎี และแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้าฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือความถี่หรือความยาว คลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม , 2521) หากเราพิจารณา แสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) ในคุณสมบัติของคลื่น แสงจะมีคุณสมบัติ ของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงาน ที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (micron) หรือ 380–760 นาโนเมตร (nanomaters) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าวเมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา จะมีการกระตุ้น ของพลังงานกับประสาทตาปกติ ทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา

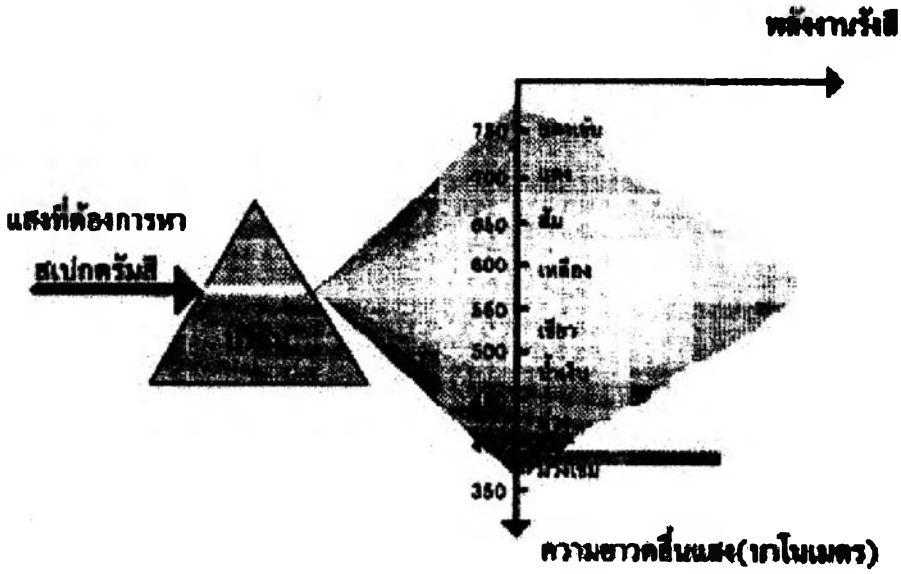


Electromagnetic spectrum. See Chapter 19 for chromaticity diagrams of various light sources.

รูปที่ 2.1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่าง ๆ

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp 122

คลื่นแสง (Visible Light) จะประกอบไปด้วยสเปกตรัม(spectrum) ของแสงที่ระดับความถี่ที่แตกต่างกัน และในแต่ละสเปกตรัมของแสงจะมีความแตกต่างกันของสี ซึ่งความเข้มแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป จะหาได้จากการผ่านแสงในช่วงที่ต้องการทดสอบผ่านปริซึม เพื่อให้เกิดการหักเหแสงของความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะทราบว่าแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ประกอบคลื่นความยาวแสงอะไรบ้าง และแต่ละความยาวคลื่นของแสงมีความเข้ม ที่แตกต่างกันอย่างไร ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีการหักเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสง จะเป็นตัวแสดงว่าแสงสีไหนมีมากกว่ากัน เช่น ถ้าแสงมีสีน้ำเงินมาก เมื่อส่องไปกระทบวัตถุที่มีสีน้ำเงินก็จะทำให้วัตถุสีน้ำเงินนั้นไม่เด่น แต่ถ้าวัตถุนั้นมีสีแดง และแสงที่ตกกระทบวัตถุเป็นสีแดงเข้ม วัตถุสีแดงก็จะเด่นขึ้นมาทันที เนื่องจากสีแดงมีความเข้มของแสงมาก ดังนั้นถ้าต้องการให้แสงที่ส่องถูกวัตถุทุกสีเด่นก็ต้องมีสเปกตรัม ของสีที่มีความเข้มมาก แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มหมด เมื่อนำไปส่องวัตถุใดวัตถุนั้นก็จะเด่นหมด



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น เกิดการหักเหไม่เท่ากัน ของความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

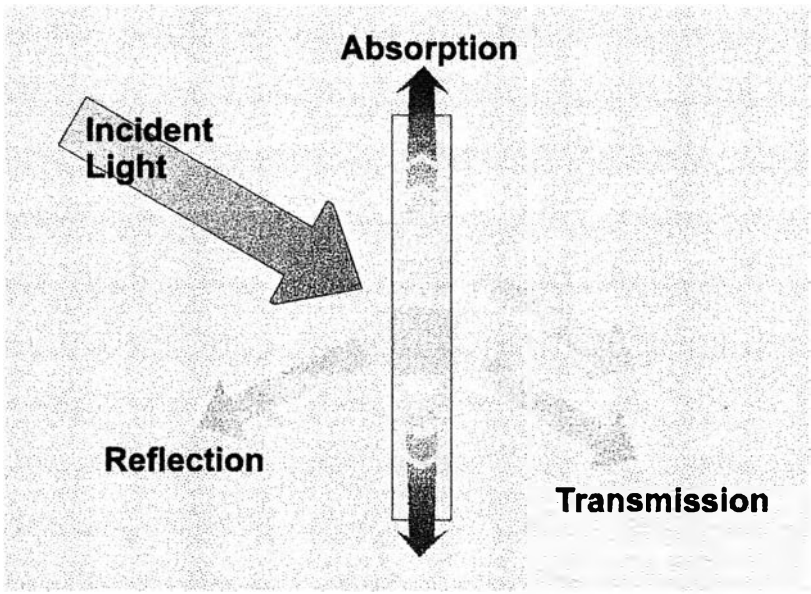
ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , pp 1-20

แสงนอกจากจะมีช่วงของสเปกตรัมที่แตกต่างกันแล้ว แสงยังมีคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา (Electromagnatic Radiation) เมื่อความยาวคลื่นที่แผ่ออกมามีความแตกต่างกัน ก็จะทำให้เห็นแสงสีที่แตกต่างกัน ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตามนุษย์ ตามีเซลล์โคนสามแบบ ที่สามารถตอบสนองกับสีแดง เขียว และน้ำเงิน และความสัมพันธ์ของสีทั้งสามจะทำให้มองเห็นแสงสีต่างๆ ได้ การผสมของแสงสีต่างๆ จะมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้ทราบว่า การให้แสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับสถานที่หรือวัตถุต่างๆ ที่มีสีสันต่างๆ กัน ควรให้แสงสีแบบใด สีของแสงที่เกิดจากการผสมของสีทั้งสามคือ แดง เขียว น้ำเงินในอัตราส่วนที่เท่ากันจะได้แสงสีขาว ดังนั้นเมื่อเราทราบว่าแสงสีขาวเกิดจากการผสมกันของสีต่างๆ เมื่อนำไปส่องวัตถุสีสันเดียวกัน จึงให้ผลออกมาไม่เหมือนกัน แสงสีขาว ที่เกิดจากการผสมสี ระหว่างสีน้ำเงินและเหลือง เมื่อนำไปส่องวัตถุ ที่มีสีเหลืองวัตถุนั้นก็จะเด่นขึ้นมา แต่ถ้านำไปส่องวัตถุสีแดง วัตถุนั้นก็จะไม่เด่น

แสงเมื่อผ่านแผ่นกรองแสง ซึ่งเป็นวัตถุโปร่งแสง หรือโปร่งแสงที่มีสี แผ่นกรองแสงจะยอมให้แสงที่มีสีเดียวกันกับแผ่นกรองแสง หรือสีประกอบของแผ่นกรองแสงผ่านไปได้ และจะดูดกลืนแสงสีอื่นเอาไว้หรือแสงเมื่อส่องกระทบถูกวัตถุ จะสะท้อนแสงที่เป็นสีเดียวกัน หรือสีองค์ประกอบออกมา และดูดกลืนแสงสีอื่นเอาไว้ ทำให้ไม่เห็นแสงสีอื่นเมื่อมองด้วยตาปกติ

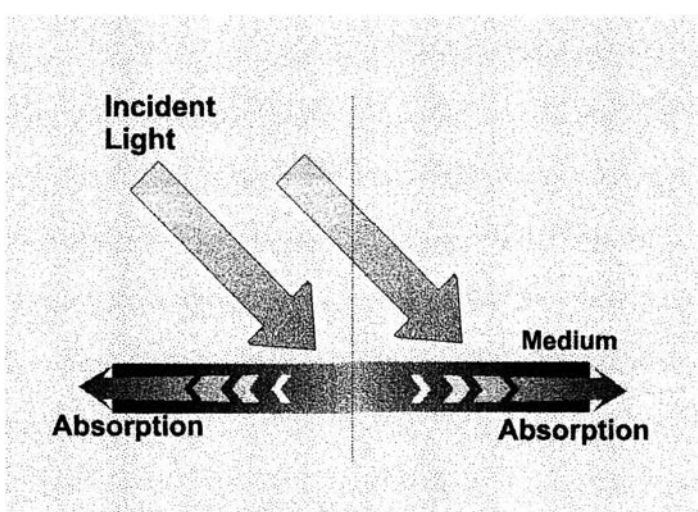
2.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง ผ่านตัวกลางต่างๆ (Medium) เช่น อากาศ น้ำ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง หรือละอองไอน้ำในชั้นบรรยากาศ ฯลฯ พฤติกรรมของแสง หรือแนวทางเดินของแสงจะเปลี่ยนไป เมื่อกระทบกับตัวกลางเหล่านั้น พฤติกรรมของแสง เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆ จะมีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ



รูป 2.3 พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ

2.2.1 การดูดกลืน (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง (Medium) จะถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง ซึ่งปริมาณการถูกดูดซึมเข้าไปในตัวกลาง จะขึ้นอยู่กับค่าการดูดซึม แสงของตัวกลาง ที่แตกต่างกันไปในแต่ละวัสดุ โดยทั่วไปเมื่อแสงถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง จะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน จากในรูปของพลังงานแสง (Light) เป็นพลังงานความร้อน (Heat)

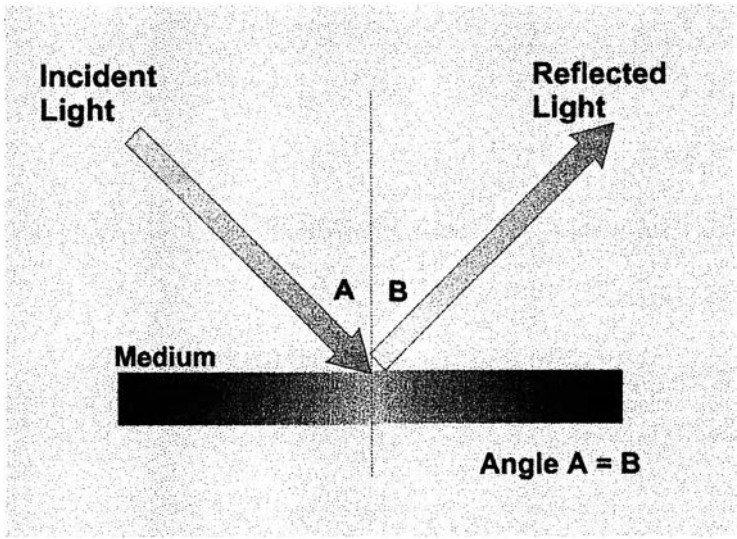


รูป 2.4 การดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง

2.2.2 การสะท้อนของแสง (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลาง แล้วเกิดการสะท้อนแสงออกมาโดยที่ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง การสะท้อนของแสงมีหลายลักษณะ และสามารถจำแนกออกได้เป็นแต่ละลักษณะดังนี้

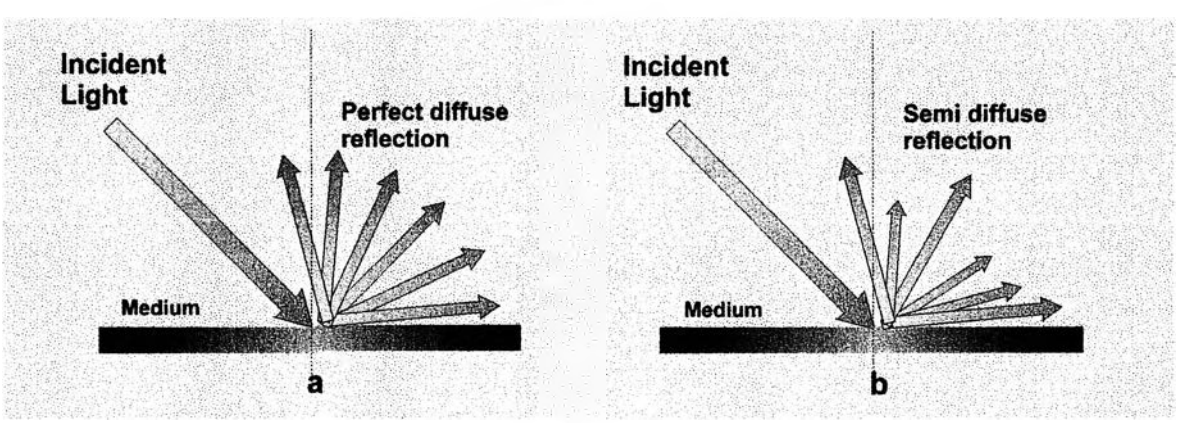
การสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา (Specula Reflection) เป็นลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบลงบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque material) ที่มีผิวเรียบมัน (Polish surface) อาทิ กระจกเงา

หรือผิวโลหะที่ขัดมัน แสงจะมีการสะท้อน ในลักษณะของมุมตกกระทบของแสง (Angle of Incident) เท่ากับมุมสะท้อนของแสง (Angle of Reflection)



รูป 2.5 การสะท้อนของแสงแบบ Specula Reflection

การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดขึ้น เมื่อแสงตกกระทบลงบนวัสดุหรือพื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือผิวด้าน แสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายไปในทุกทิศทาง มุมสะท้อนของแสงจะมีทิศทางที่ไม่แน่นอน และมุมตกระทบของแสง จะไม่เท่ากับมุมสะท้อนของแสงออกมา หากผิววัสดุนั้น มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ (Perfect Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่สะท้อนออกมา จะเป็นแสงสะท้อนที่มีการกระจายแสง อย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมสะท้อนเท่ากันทุกๆ มุมสะท้อน และมีค่าเฉลี่ยของแสงที่สะท้อนออกมาเท่ากัน แต่หากพื้นผิววัสดุไม่เรียบสม่ำเสมอ (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะ การสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (Semi Diffuse Reflection)

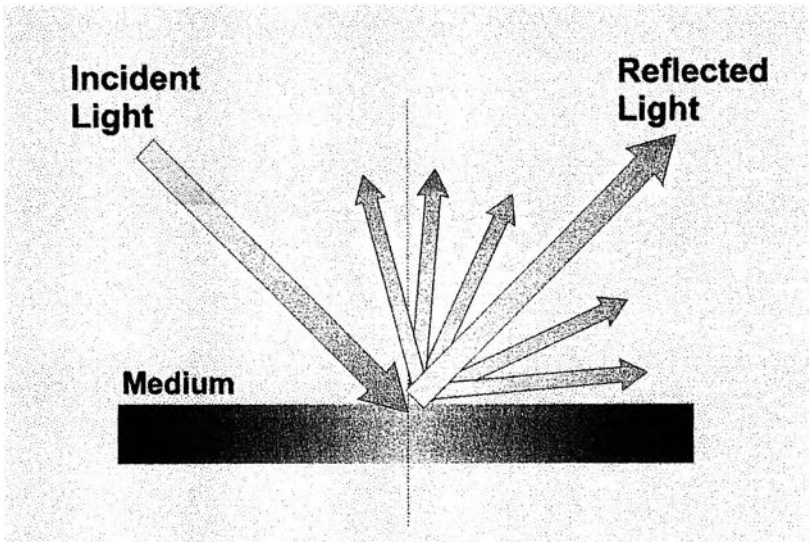


รูป 2.6 การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

(a) การสะท้อนแบบกระจกเงา Perfect diffuse reflection

(b) การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย Semi diffuse reflection

การสะท้อนแสงแบบผสม (Combined Specula and Diffuse Reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนแสงแบบผสม ที่เกิดจากการสะท้อนแสงแบบกระจกเงา (Specula) และแบบสะท้อนกระจาย (Diffuse Reflection) ซึ่งสภาพพื้นผิว โดยทั่วไปจะพบการสะท้อนแสงในลักษณะนี้มากที่สุด

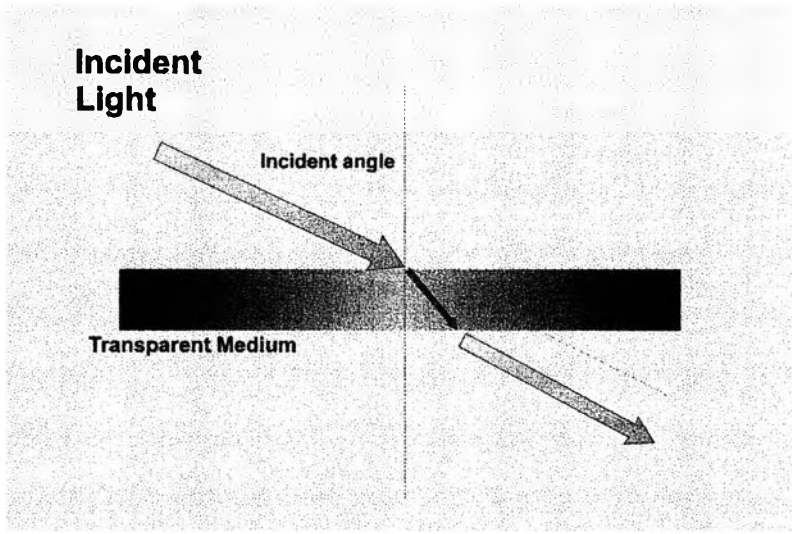


รูป 2.7 การสะท้อนของแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงา และแบบสะท้อนกระจาย

2.2.3 การส่องผ่าน (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อกับด้านใดด้านหนึ่ง ของตัวกลาง (Medium) แล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของตัวกลาง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติของตัวกลาง ที่แสงส่องผ่านแล้ว จากคุณสมบัติของแสง มุมที่แสงตกกระทบตัวกลาง จะเท่ากับมุม ที่แสงสะท้อนออก และปริมาณของแสง จะต้องคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงกระทบตัวกลางชนิดโปร่งแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง อีกส่วนจะสะท้อนกลับ ส่วนที่เหลืออีกส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านออกมา สามารถอธิบายด้วยสมการ

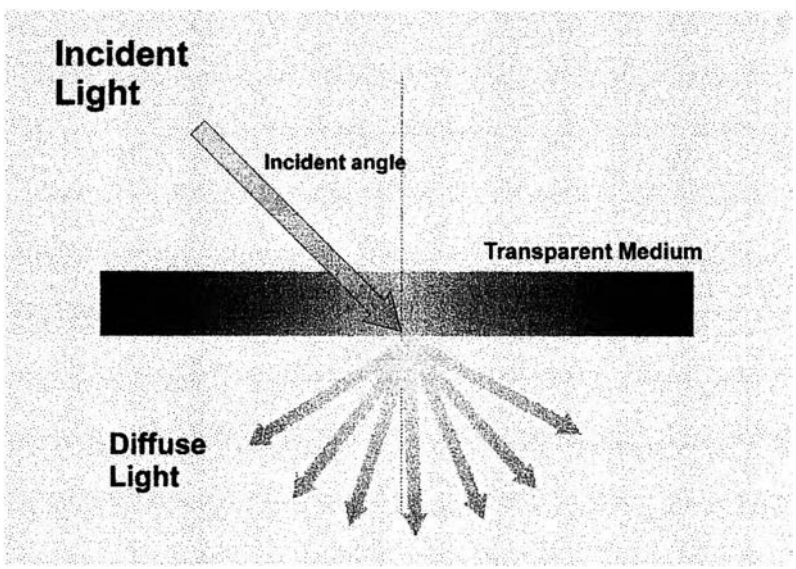
ปริมาณแสงทั้งหมด = ปริมาณแสงที่ถูกดูดซึม + ปริมาณแสงสะท้อน + ปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่าน
(Absorption) (Reflection) (Transmision)

เมื่อ ปริมาณแสงทั้งหมด = 1
ชนิดของตัวกลางที่แสงส่องทะลุผ่านได้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ
ตัวกลางชนิดโปร่งใส (Transparent Medium) การส่องผ่านในลักษณะนี้ จะมีการหักเห (Refracted) ของแสงเกิดขึ้น หรือมีการเปลี่ยนทิศทางของแสง (Bent) ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลาง โดยสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดอีกด้านหนึ่งได้อย่างชัดเจน ตัวกลางประเภท นี้อาทิกระจกใส เป็นต้น



รูป 2.8 แสงตกกระทบตัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน

ตัวกลางชนิดโปร่งแสง (Translucent Method) การส่องผ่านของแสงในลักษณะนี้ จะเป็นแบบกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงในอีกด้านหนึ่งได้



รูป 2.9 แสงทะลุผ่านตัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย

การส่องผ่านของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่แสงตกกระทบมีค่าดัชนี การหักเหของแสงมากกว่า สภาพโดยรอบของวัสดุนั้น เช่น กระจกมีค่าดัชนีการหักเห 1.520 ซึ่งมากกว่าอากาศโดยรอบที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นแสงจะส่องทะลุผ่านกระจกออกมาได้ แต่เมื่อแสงผ่านตัวกลางผิวเรียบจะเกิดการหักเห หรือสะท้อนกลับ การหักเหหรือสะท้อนกลับของแสงจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ถ้ามุมตกกระทบของแสงน้อย แสงก็จะผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้ามุมตกกระทบของแสง มีค่ามากเกินกว่า ค่าของมุมวิกฤต แสงจะไม่ผ่านตัวกลางและไม่สะท้อนกลับด้วย (ในกรณีนี้มุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต) และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงจะสะท้อนออกมา

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ และมุมสะท้อนสามารถหาได้จากสมการดังนี้

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

เมื่อ n_1 , n_2 = ดัชนีการหักเหของแสง ของวัสดุ 1 และ 2 ตามลำดับ

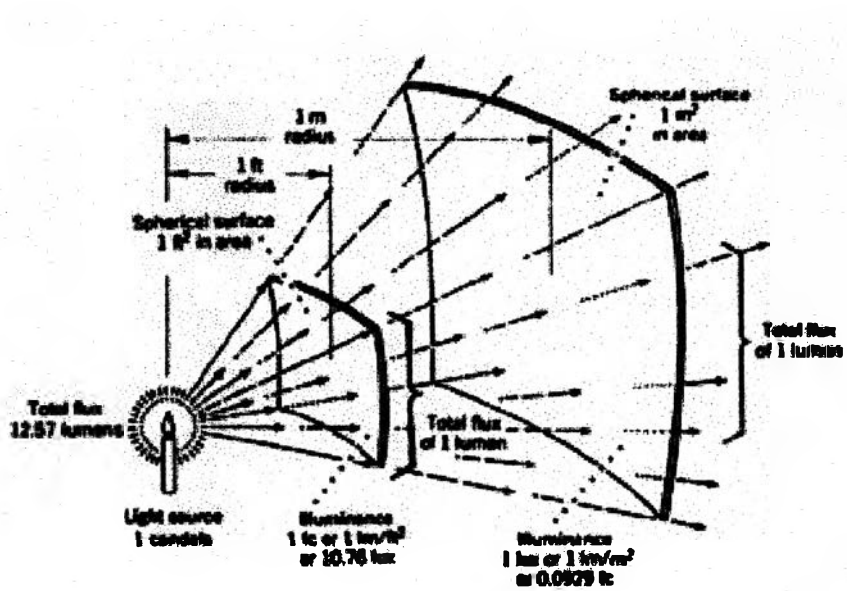
θ_1 = มุมตกกระทบของแสง

θ_2 = มุมสะท้อนของแสง

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง (Illuminance Theory)

แสงเมื่อส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง และตกกระทบกับวัตถุ หรือพื้นที่ใดๆ เป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา จะทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นที่แสงสะท้อนออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่มีการสะท้อนของแสงก็จะไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้นๆได้ ซึ่งปริมาณแสงที่ตกกระทบกับวัตถุ หรือตกกระทบพื้นที่นั้นๆ เรียกว่าการส่องสว่าง หรือความสว่าง (Illuminance) ของแสง

2.3.1 ปริมาณแสง (Luminous Flux) เป็นการบอกค่า พลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่าง หรือกำลังการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง(Power of Light Source)ในรูปของเส้นแรงปริมาณแสงที่เปล่งแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen)



รูป 2.10 ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , page 915

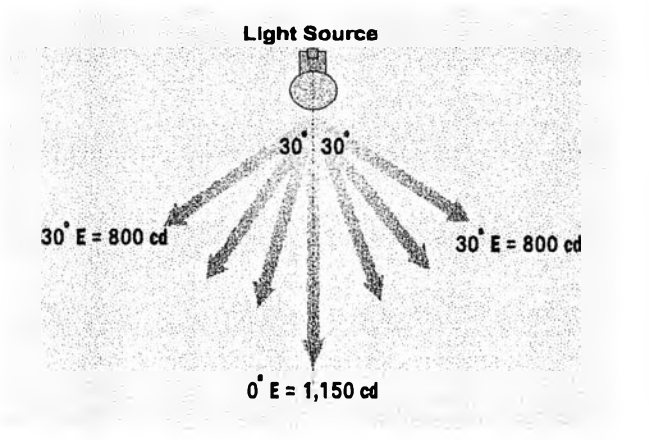
Solid angle (ω) เป็นการวัดพื้นที่ผิวของทรงกลม หนึ่งหน่วยที่สมมติเป็นทรงกรวย โดยมีส่วนแหลมสุด หรือโคนของกรวยที่จุดกำเนิดแสงหรือศูนย์กลางของวงกลมนั้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆ ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian)

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

เมื่อ A = พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

R = รัศมีของทรงกลม

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



รูป 2.11 ความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

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

1 Lux = 10.76 footcandle (หรือประมาณ 10 ฟุตแคนเดิล)

มาตราฐานความส่องสว่างสำหรับพื้นที่และการทำงานต่างๆกัน ตามมาตราฐาน CIE (International Commission on Illuminanation)

ความส่องสว่าง	ชนิดพื้นที่ใช้งาน
20 – 30 – 50	ทางเดิน และ พื้นที่ใช้งานภายนอก
50 – 100 – 150	ทางเดินภายใน และการแวะผ่านระยะเวลาสั้นๆ
100 – 150 – 200	ห้องที่ไม่ได้ใช้ทำงานแบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน
200 – 300 – 500	งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่นในโรงงาน ชิ้นงานขนาดใหญ่
300 – 500 – 750	งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่นงานสำนักงาน
500 – 750 – 1000	งานที่ใช้สายตามาก เช่นงานเขียนแบบ
750 – 1000 – 1500	งานที่ใช้สายตามากๆ เช่นห้องผ่าตัดของแพทย์
1000 – 1500 – 2000	งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ
มากกว่า 2000	งานที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานมากเป็นพิเศษ

ตาราง 2.1 แสดงค่าความส่องสว่าง ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตราฐาน CIE

ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , page 1-6

มาตรฐาน CIE ได้กำหนดค่าความส่องสว่าง จากตาราง ออกเป็นสามค่า โดยค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีกสองค่าใช้ในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีความแตกต่างออกไป อาจจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าขึ้นกับสภาพต่างๆดังนี้

- ถ้าการสะท้อนแสงของผิวผนัง มีค่าคอนทราสต์ (Contrast) ต่ำกว่าปกติ ให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าเป็นงานที่ต้องการความละเอียดเพื่อให้งานมีความถูกต้องมากขึ้น อาจจะใช้ค่าความส่องสว่างที่มากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ควรจะใช้ค่าความส่องสว่างที่สูงขึ้น
- ถ้าผู้ใช้งานเป็นผู้สูงอายุ หรือบุคคล ที่มีความผิดปกติทางสายตา ให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น

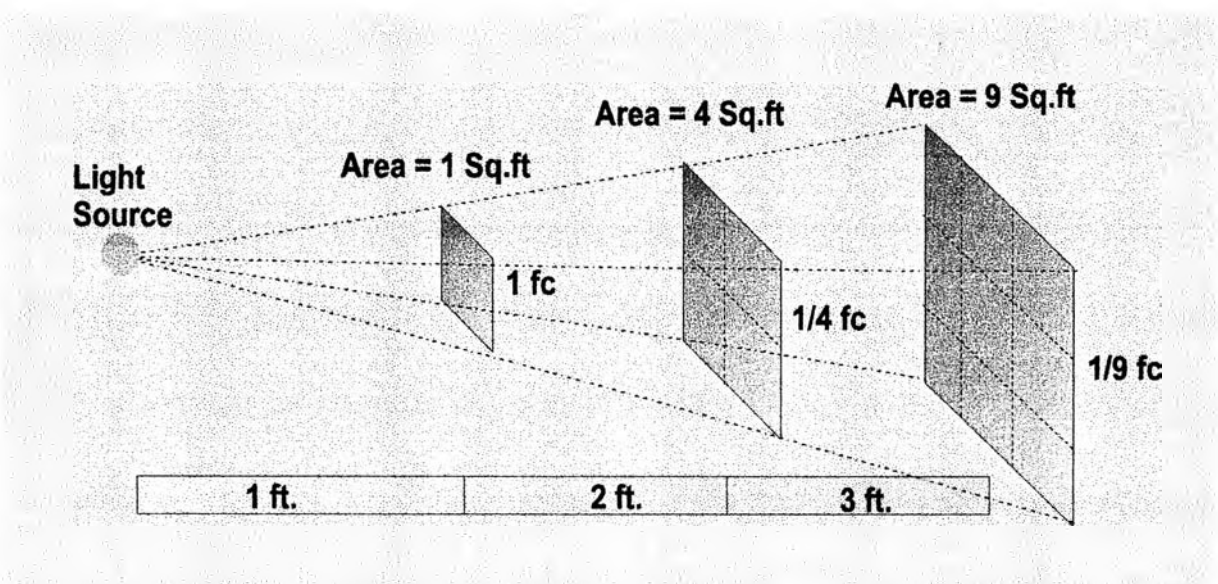
2.3.3 การส่องสว่าง (Illumination) เป็นค่าการส่องสว่างของแสง บนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงและจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง ที่เกิดจากระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นลักซ์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

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

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

I = ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)

d = เป็นระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณา กับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร หรือฟุต



รูป 2.12 แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ตามกฎกำลังสองผกผัน ที่ระยะทางต่าง ๆ จากแหล่งกำเนิดแสง

ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) คือปริมาณแสง ที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงใน (Solid Angle) ใดๆ ในทิศทางหนึ่งๆ แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยฟลักซ์ความสว่าง (Luminous Flux) ออกมารอบทิศทาง เรียกว่า ความเข้มความส่องสว่าง (Luminous Intensity) มีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen) ซึ่งจะแสดงถึงค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ หรือบางทีเรียกว่ากำลังการส่องสว่าง (Candle Power) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela) หรือลูเมนต่อสเตอเรเดียน (Lumen per steradian) ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเล็กมาก เสมือนแหล่งกำเนิดแสงนั้นเป็นจุด (Point source)

หากพิจารณานำแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสง ที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (lumen) และ เนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรง ของแสงออกมาได้ เท่ากับ 12.57 ลูเมน (นายคมกฤช ชูเกียรติมั่น, วิทยานิพนธ์ หน้า 19)

2.4 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง

2.4.1 ความจ้า (Brightness) หรือความสว่าง (Luminance) เมื่อแสงส่องกระทบถูกวัตถุใดๆ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตาของเราทำให้เกิดการเห็นวัตถุนั้นๆ หากแสงที่เข้าสู่ตามีค่าความสว่างมาก จะเรียกว่าความจ้าของแสงสว่าง ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการสะท้อนหรือส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุใดๆ ทำให้วัตถุนั้นเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงและความสามารถในการปรับตัวของสายตา

ความจ้า จะเป็นปริมาณที่เกิดขึ้นระหว่างความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Foot-lambert) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$FL = Fc \times \rho \quad \text{.....(2.4)}$$

$$FL = Fc \times \iota \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ FL = ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิรต์
Fc = ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล
ρ = ค่าการสะท้อนของแสงของวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)
ι = ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

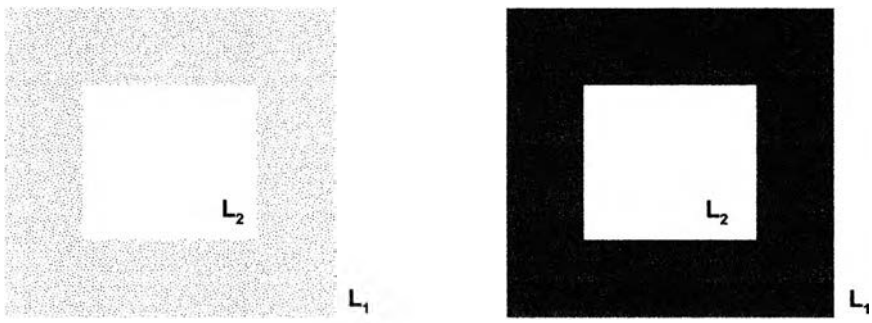
2.4.2 ความเปรียบต่าง (Contrast) คือค่าความส่องสว่างของวัตถุ หรือเหตุการณ์ที่ต้องการมอง เมื่อเทียบกับความสว่างของสภาพรอบข้าง ยิ่งมีความเปรียบต่างมาก การมองเห็นวัตถุนั้นก็จะง่ายขึ้นในขณะที่ความต้องการปริมาณแสงและเวลาในการรับภาพจะน้อยลง เช่น วัตถุสีขาวบนพื้นสีดำจะมองเห็นได้ง่ายกว่า วัตถุสีดำบนพื้นสีดำหรือสีเข้ม ซึ่งมีความเปรียบต่างน้อย อย่างไรก็ตามหากเหตุการณ์ที่เราพิจารณามีค่าความเปรียบต่างมากเกินไป เมื่อเทียบกับสภาพรอบข้าง ก็จะทำให้สายตาเกิดการปรับตัวมากเกินไป และอาจเป็นผลร้ายกับสายตาได้ ซึ่งลักษณะการที่สายตาต้องปรับตัวอย่างรวดเร็ว เราจะเรียกความสว่างในลักษณะนี้ว่า แสงจ้า (Glare)

ความเปรียบต่างสามารถกำหนด เป็นอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุ และของสภาพรอบข้างของวัตถุนั้นๆ เมื่อพิจารณาจากจุดสังเกต ได้ดังนี้

$$C = (L2 - L1) / L1 \quad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อ C = ความเปรียบต่าง (Contrast)
L1 = ค่าความสว่าง (Luminance) ของสภาพแวดล้อม
L2 = ค่าความสว่างของวัตถุ

ค่าความเปรียบต่างยิ่งมาก การมองเห็นวัตถุก็จะง่ายขึ้น แต่หากค่าความเปรียบต่าง มีค่ามากเกินไปก็จะเกิดเป็นแสงจ้า (Glare)



รูป 2.13 ความเปรียบต่าง (contrast) ความส่องสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียง ในการมองเห็นวัตถุ
ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , page 1-11

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

2.5.1 แหล่งกำเนิดแสงและการนำไปใช้งาน วันและฤดูกาลที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้นจะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทางและตำแหน่งต่างๆ ของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ แต่อย่างไรก็ตามนอกจากรูปแบบที่แน่นอนแล้ว ยังมีลักษณะของรูปแบบที่ไม่แน่นอน ของแสงธรรมชาติ ที่ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ด้วย ซึ่งจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และมลภาวะปริมาณ ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก มากกว่าร้อยละ 40 จะเป็นคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่นแสงที่ตามองไม่เห็น ได้แก่แสงในช่วงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและอินฟราเรด(infrared) ที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่า คลื่นแสง) เมื่อแสงธรรมชาติตกกระทบพื้นผิวต่างๆ ก็จะถูกดูดซับและแปรเปลี่ยนเป็น พลังงานความร้อนในทันที ซึ่งจะมากหรือน้อยตามความยาวและความถี่ของคลื่นแสงและสภาพบรรยากาศของโลกที่แสงส่องผ่าน เนื่องจากแสงจะเกิดการกระจายตัวและแปรเปลี่ยนเมื่อกระทบกับบรรยากาศในชั้นต่างๆโดย Commission International de l'Eclairage (CIE) ได้มีการแบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติ ออกเป็นประเภทต่างๆตามแหล่งกำเนิดแสง ได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

- แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์

การหมุนของโลก ตามแกนโลกที่เอียงตามมุมต่างๆ นั้น จะมีความสำคัญต่อการเกิดของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ ในตำแหน่งต่างๆ บนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้นโลก เราจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของท้องฟ้าจากพื้นโลกจาก

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

- แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า

การส่องผ่านของแสงอาทิตย์ ผ่านบรรยากาศในชั้นต่างๆ จะเกิดการกระจายตัว ของแสงไปทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่น ละอองไอน้ำ และสารแขวนลอยต่างๆ ในแต่ละชั้นบรรยากาศ การกระจายตัวของแสงในท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ทำให้เกิดเป็นลักษณะต่างๆ ของท้องฟ้าได้ ดังนี้

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

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

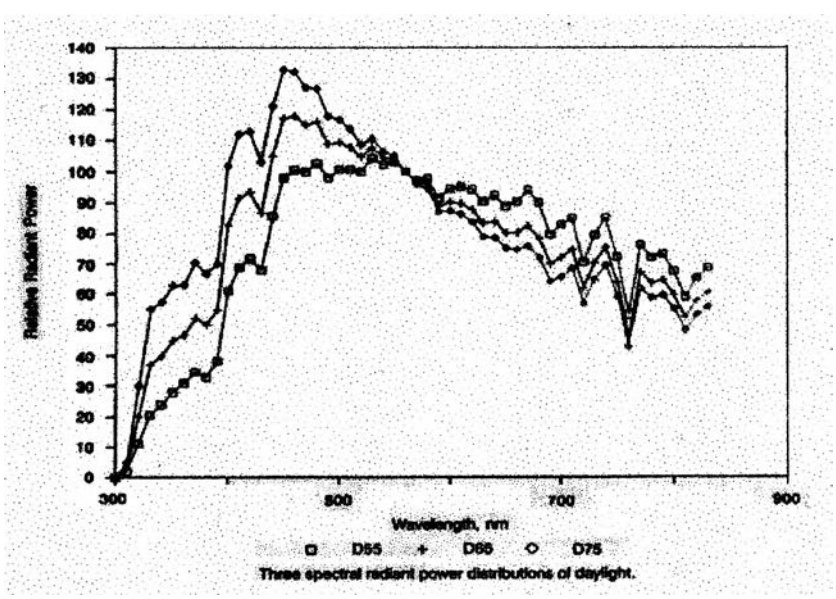
- แสงธรรมชาติจากพื้นดิน

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

หากปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร มีมากเกินความจำเป็นต่อการใช้งานก็อาจจะควบคุมปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านเข้าสู่อาคารด้วยอุปกรณ์บังแดดชนิดต่างๆ ตามความจำเป็น

2.5.2 การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน การคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติ จากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆนั้น จะมีความยุ่งยากในการคำนวณมากกว่าการคำนวณแสง ที่เกิดจากแสงจากการประดิษฐ์ การกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติที่ดกกระทบช่องเปิด (Window and Skylight) จะต้องคำนึงถึงช่วงเวลาต่างๆ ของท้องฟ้าและ ดวงอาทิตย์ ในการคำนวณด้วย ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ดวงอาทิตย์ และ แสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร

ส่วนของการใช้งานแสงธรรมชาตินั้นจะกล่าวถึงปริมาณของแสงธรรมชาติ จากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของ วัน เวลา และสภาพท้องฟ้า ในขณะนั้นๆ ซึ่งการศึกษาทางด้านแสงธรรมชาติ ได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลอย่างจริงจังมามากกว่า 60 ปีแล้ว และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ก็สามารถนำมาพยากรณ์ และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่ออธิบายถึงความสว่างจากแสงธรรมชาติได้เป็นอย่างดี



รูป 2.14 เสปกตรัมที่มาจากของรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีความยาวคลื่นต่างกันสามลักษณะ

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

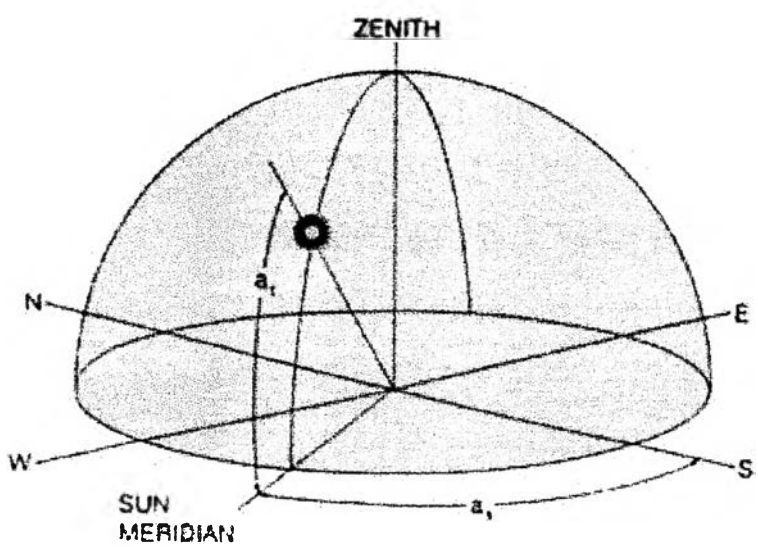
การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน จะต้องศึกษาถึงข้อมูลและองค์ประกอบต่างๆ ที่อธิบายในข้างต้น ซึ่งในการคำนวณนั้น จะไม่สามารถอธิบายลักษณะของปริมาณแสง และความเข้มของแสง ได้อย่างแม่นยำ แต่ค่าที่ได้จะเป็นค่ากลาง เนื่องจากเกณฑ์ในการคำนวณจะให้ผลของการคำนวณอย่างคร่าวๆ ซึ่งในความเป็นจริงค่าความส่องสว่างที่วัดจริงในช่วงเลานั้นๆ จะแตกต่างจากค่าที่คำนวณ ตามข้อกำหนดต่างๆ ของการนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน อย่างไรก็ตามค่าที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาขณะนั้น จะมีค่าเฉลี่ยมากกว่าสองเท่า หรือน้อยกว่าครึ่งของค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการออกแบบ

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

การคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งานในแต่ละบริเวณนั้น จะเริ่มต้นจาการทิศทางตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบอื่นๆ ดังนี้

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

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



รูป 2.15 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อัลติจูด (a_t , altitude) และมุมอะซิมุท (a_s , azimuth)

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

2.6.1 ตำแหน่งของที่ตั้ง ตำแหน่ง และที่ตั้ง ของบริเวณที่จะศึกษานั้น จะถูกกำหนดขึ้นจาก เส้นรุ้ง (Longitude , l) และ เส้นแวง (Latitude , L) ที่มีอยู่ และ ตำแหน่งของเส้นรุ้งและเส้นแวงของจังหวัดที่สำคัญ ในประเทศจะแสดงได้ดังตารางด้านล่าง

โดยที่ เส้นแวง หรือ เส้นละติจูด (Latitude) จะกำหนดให้ด้านเหนือของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นบวก และด้านใต้ของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นลบ
เส้นรุ้ง หรือเส้นลองติจูด (Longitude) จะกำหนดให้ด้านตะวันตกของเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน (Meridian , Greenwich, U.K.) เป็นลบ และ ด้านตะวันออกของเส้นแบ่งเวลา (Latitude) เป็นบวก

เมือง / จังหวัด	ละติจูด (Latitude) องศา-พิลิปดา	ลองติจูด (Longitude) องศา-พิลิปดา
ภาคกลาง		
กรุงเทพมหานคร	13° 44'	100° 30'
สุพรรณบุรี	14° 30'	100° 10'
นครสวรรค์	15° 48'	100° 10'
กาญจนบุรี	14° 01'	99° 32'
ภาคเหนือ		
เชียงราย	19° 55'	99° 50'
เชียงใหม่	18° 47'	98° 59'
เพชรบูรณ์	16° 25'	101° 08'
พิษณุโลก	16° 55'	100° 16'
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		
ขอนแก่น	16° 20'	102° 51'
อุบลราชธานี	15° 15'	104° 53'
สุรินทร์	14° 52'	103° 29'
นครราชสีมา	14° 58'	102° 07'
ภาคตะวันออก		
ชลบุรี	13° 22'	100° 59'
จันทรบุรี	12° 37'	102° 27'
ภาคใต้		
ชุมพร	10° 27'	99° 15'
นครศรีธรรมราช	08° 25'	99° 58'
สงขลา	07° 11'	100° 37'
ภูเก็ต	07° 58'	98° 24'

ตาราง 2.2 แสดงที่ตั้งของจังหวัดต่าง ๆที่สำคัญ ในประเทศไทย ในแต่ละภูมิภาค ตามแนวละติจูด และลองติจูด

ที่มา : เอกสารฝ่ายวิจัยการก่อสร้าง (Building Research Department) , หน้า 47 – 48

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.2 การบอกเวลา ในปัจจุบันนี้การบอกเวลาจะแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการบอกเวลาแบบปกติตามแต่ละท้องถิ่น แต่การบอกเวลาตามดวงอาทิตย์(Solar time) จะสามารถคำนวณได้จากเวลามาตราฐานโดยเริ่มจากการกำหนดจากเส้นแวง (Longitude) ของเส้นแบ่งเวลาในช่วงต่างๆและจากสมการของเส้นบอกเวลา (Equation of Time) โดยเวลาเทียบเท่า(Equation of time)จะมีความแตกต่างจากเวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และเวลานาฬิกา (Clock Time) เนื่องจาก

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

การบอกเวลาแบบ Equation of time จะอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

$$ET = 0.170 \sin(4\pi (J - 80) / 373) - 0.129 \sin(2\pi (J - 8) / 355) \quad \text{.....(2.7)}$$

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

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

ตารางแสดงเวลามาตราฐานตามเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน (Time Zone Standard Meridians)

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

ตาราง 2.3 แสดงที่ตั้งของเส้นแบ่งเวลาที่สำคัญของโลก

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

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

$$t_s = t_d - 1 \quad \text{.....(2.8)}$$

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

t_d = เวลาแสงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Daylight time in decimal hours)

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

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

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

t_s = เวลามาตราฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)

ET = เวลาที่ใช้ในการคำนวณ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Time in decimal hours)

SM = ระยะจากเส้นแบ่งเวลามาตราฐานเมริเดียน (standard meridian) หน่วยเรเดียน (rad)

L = ตำแหน่งตามเส้นแวง หน่วยเรเดียน (site longitude in rad)

2.6.3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar Position) ตำแหน่งและทิศทางต่างๆ ของดวงอาทิตย์จะถูกกำหนดโดยมุมอัลติจูล และมุมอะซิมุสของดวงอาทิตย์ (Solar altitude and Solar azimuth) ซึ่งจากลักษณะของมุมทั้งสองอิงกับ เส้นแวง ณ บริเวณนั้น , เวลาดวงอาทิตย์ (Solar time) และแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar declination) โดยแนวการเคลื่อนของดวงอาทิตย์ (Solar declination)จะประมาณได้จากสมการ ข้างล่างนี้

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

เมื่อ δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar declination in rad)

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

สมการของมุมละติจูด อธิบายได้ดังนี้ คือ

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

เมื่อ a_t = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)

l = ตำแหน่งละติจูล หน่วยเรเดียน (Site latitude in rad)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad)

t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

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

$$a_s = \arctan \frac{- [\cos\delta \sin (\pi\tau/12)]}{- [\cos l \sin + \sin l \cos\delta \cos(\pi\tau/12)]} \quad \text{.....(2.12)}$$

เมื่อ a_s = ระดับมุมอัลซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in radian)

l = ตำแหน่งของมุมละติจูล หน่วยเรเดียน (Site latitude in radian)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad)

t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

มุมอะซิมุท (Azimuth) จะเริ่มจากศูนย์องศา ในแนวของทิศใต้ และหมุนตามเข็มนาฬิกา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือ เป็นระยะทาง π และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงข้าม เมื่อเริ่มจากศูนย์องศาในแนวทิศใต้หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางเหนือผ่านทิศตะวันออกเป็นระยะทาง π จะให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่างๆนั้น จะต้องมีการคำนวณถึงแสงธรรมชาติบนพื้นผิวแนวตั้งเสมอ เช่นหน้าต่าง หรือผนังอาคาร ดังนั้นมุมอะซิมุท ที่เกิดขึ้นจะเป็นมุมในแนวนอน ระหว่างมุมที่อ้างถึง(ศูนย์องศาทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดขึ้นจริงของผนังที่ตั้งฉากนั้นๆ

มุมอะซิมุท ของดวงอาทิตย์ เมื่อตกกระทบกับผนัง หรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ จะพิจารณามุมอะซิมุท ได้จากสมการดังนี้

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

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

a_s = มุมอัลซิมุท หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in rad)

a_e = ความสูงมุมอัลซิมุท หน่วยเรเดียน (Elevation azimuth in rad)

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ จะเป็นมุมที่เกิดขึ้น ระหว่าง แนวระนาบปกติ กับมุมตกกระทบ ของดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

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

เมื่อ a_i = ค่ามุมอาร์คอร์ส , $\arccos(\cos a_t \cos a_z)$

a_i = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident angle in rad)

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude in rad)

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

มุม Profile angle เป็นมุมที่เกิดขึ้นจริงของมุมอะติจูด ในแนวตั้ง และพิจารณาได้จากสองสมการ ดังนี้

$$a_p = \arctan (\sin a_t / \cos a_z) \quad \text{.....(2.15)}$$

$$a_p = \arctan (\tan a_t / \cos a_z) \quad \text{.....(2.16)}$$

เมื่อ a_p = มุมโพรไฟล์ หน่วยเรเดียน (Profile angle in rad)

a_t = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)

a_i = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Incident angle in rad)

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

2.7 การแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์

สำหรับจุดมุ่งหมายโดยทั่วไปในการคำนวณแสงธรรมชาติ จะพิจารณาให้ดวงอาทิตย์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างคงที่ ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามวงโคจรของโลก ค่าความส่องสว่างคงที่ของดวงอาทิตย์หมายถึงผลรวมของค่าความส่องสว่าง โดยปกติที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวหนึ่งๆ บนโลกตามระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

$$Esc = Km \int_{380}^{770} G_\lambda V_\lambda \, d\lambda \quad \text{.....(2.17)}$$

เมื่อ Esc = ค่าคงที่ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

Km = spectral luminous ของ flux รังสีจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (lm/W)

G_λ = แถบความยาวคลื่น ของรังสีแสงอาทิตย์ หน่วยเป็นวัตต์ (W)

V_λ = ประสิทธิผลความสว่างในแต่ละช่วงความยาวคลื่น (Photopic Vision Spectral Luminous Efficiency at Wavelehgth)

λ = ความยาวคลื่น หน่วยเป็น นาโนเมตร (สำหรับความยาวคลื่นแสง ที่ 380-770 นาโนเมตร)

ค่าคงที่ต่างๆ ของปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ ตามสมการข้างต้น

ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Solar Illumination Constant)	:	128	klx
ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (Solar Irradiation Constant)	:	1350	W/m^2 (126 W/ft^2)
ประสิทธิผลความสว่างดวงอาทิตย์ (Solar Luminous Efficacy)	:	94.2	lm/W

การพิจารณาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบลงสู่พื้นผิวโลก จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์ ดังนี้

- ระยะทางที่แตกต่างระหว่างดวงอาทิตย์ และพื้นผิวโลก ที่เกิดจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
- ผลกระทบของแสงธรรมชาติ จากการส่องผ่านบรรยากาศของโลกในชั้นต่างๆ

ค่าความส่องสว่างของ แสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial solar illuminance) จะมีความสัมพันธ์กับวงโคจร ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนี้

$$E_{xt} = E_{sc} \left(1 + 0.034 \cos \left(2\pi \left(J - 2 \right) / 365 \right) \right) \quad \text{.....(2.18)}$$

เมื่อ. Ext = ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลก หน่วยเป็น กิโลลักซ์ (klx)

Esc = ค่าคงที่ของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

J = วันตามวงโคจรของโลก (Julian date)

เมื่อปริมาณแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ ส่องผ่านบรรยากาศของโลกในชั้นต่างๆ จะมีผลทำให้ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ มีค่าความสว่างน้อยลง ซึ่งความสว่างของดวงอาทิตย์ ณ ระดับน้ำทะเล (E_{dn}) จะมีค่าความสัมพันธ์กับความสว่างของแสงอาทิตย์ในระบบสุริยะ ดังนี้

$$E_{dn} = E_{xt} e^{-cm} \quad \text{.....(2.19)}$$

เมื่อ Edn = ค่าความส่องสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์ ที่ระดับน้ำทะเล หน่วยเป็น klx
Ext = ค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในระบบสุริยะ หน่วยเป็น klx
C = สัมประสิทธิ์ของท้องฟ้าในแต่ละประเภท
m = ค่ามวลอากาศ (Optical air mass , Dimensionless)

ค่าคงที่ปริมาณแสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการคำนวณ

ลักษณะของท้องฟ้า	c	A (klx)	B (klx)	C
Clear sky	0.21	0.8	15.5	0.5
Partly Cloudy sky	0.80	0.3	45.0	1.0
Cloudy	*	0.3	21.0	1.0

* No direct sun ; Edn = 0

ค่าของ optical air mass ที่ใช้ในการคำนวณ เท่ากับ

$$m = 1 / \sin a_t \quad \text{.....(2.20)}$$

เมื่อ m = ค่ามวลอากาศ (Optical air mass , Dimensionless)
a_t = มุมอัลติจูลดวงอาทิตย์ (Solar altitude in rad)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวราบ (direct horizontal solar illuminance) จะมีความสัมพันธ์ ตามสมการดังนี้

$$Edh = Edn \sin a_t \quad \text{.....(2.21)}$$

เมื่อ Edh = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวราบ (Direct horizontal solar illumination) หน่วยกิโลลักซ์
Edn = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล (Direct normal solar illuminance) หน่วยกิโลลักซ์
a_t = มุมอัลติจูล ของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ ในแนวตั้ง (Direct vertical solar illumination) จะมีความสัมพันธ์ ตามสมการดังนี้

$$Edv = Edn \cos a_t \quad \text{.....(2.22)}$$

เมื่อ Edv = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวตั้ง (Direct vertical solar illuminance) หน่วยกิโลลักซ์
Edn = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล (direct normal solar illuminance) หน่วยกิโลลักซ์
a_i = มุมตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

2.8 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า

วิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า จะจำแนกออกตามวิธีการ ได้สองวิธีการคือ

1. การจำแนกท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของท้องฟ้า (The sky ratio method) เป็นการแบ่งประเภทของท้องฟ้า ด้วยอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณรังสีตกกระทบของท้องฟ้าบนพื้นราบ (Horizontal sky irradiance) ต่อปริมาณรังสีตกกระทบบนพื้นราบทั้งหมด (Global Horizontal Irradiance) ดังนั้นหากสัดส่วนของการจำแนกท้องฟ้าเท่ากับ 1.0 แสดงว่า มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์จะเท่ากับศูนย์ แต่การแบ่งประเภทของท้องฟ้า ด้วยวิธีการนี้จะมีความคลาดเคลื่อน ถ้ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ มีค่าต่ำมากๆ

การจำแนกประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธี sky ratio method จะแบ่งประเภทของท้องฟ้าออกตามอัตราส่วนต่างๆได้ 3 ลักษณะคือ

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : Sky ratio <= 0.3

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

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy) : Sky ratio >= 0.8

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

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : 0 - 3

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy) : 4 - 7

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy) : 8 - 10

ค่าความสว่างในแนวราบของท้องฟ้า และ มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ จะแสดงความสัมพันธ์ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน ในรูปแบบของสมการ ได้ดังนี้

$$E_{kh} = A + B \sin^{C} a_t \qquad \text{.....(2.23)}$$

เมื่อ Ekh = ค่าความส่องสว่างในแนวราบของท้องฟ้า ที่ปราศตาสิ่งปกคลุม หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

A = ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ขณะดวงอาทิตย์ขึ้น และดวงอาทิตย์ตก หน่วยกิโลลักซ์ (klx)

B = ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

C = ค่าเอกซ์โปเนนท์เชียล ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

a_t = มุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

โดยรูปแบบของสมการในข้างต้นจะใช้ได้กับลักษณะของท้องฟ้าทั้งสามประเภท แต่จะมีความแตกต่างกันบ้าง ตามตัวแปรคงที่บางตัวที่จะเปลี่ยนแปลง ตามลักษณะของท้องฟ้า ซึ่งจะทำให้สมการ และค่าความส่องสว่าง ที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีข้อพิจารณา ดังนี้

- ค่าความส่องสว่างของแสงจะมีความกระจายมากหรือน้อย ตามค่าความส่องสว่างที่มุมเซนิท (Zenith Illuminance) ของท้องฟ้า
- ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท

วิธีการ ที่ใช้ในการคำนวณ ค่าความสว่างที่เซนิท จากความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ จะขึ้นกับค่าความสว่างของท้องฟ้าท้องฟ้าที่มุมเซนิท ตามสมการ

$$L_z = E_{kh} ZL \quad \text{.....(2.24)}$$

เมื่อ Lz = ค่าความสว่างที่เซนิท หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)

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

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

ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิทที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับลักษณะของชั้นบรรยากาศ และ แสดงรายละเอียดต่างๆของค่าความสว่างที่เซนิท ได้จากตารางต่อไปนี้

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

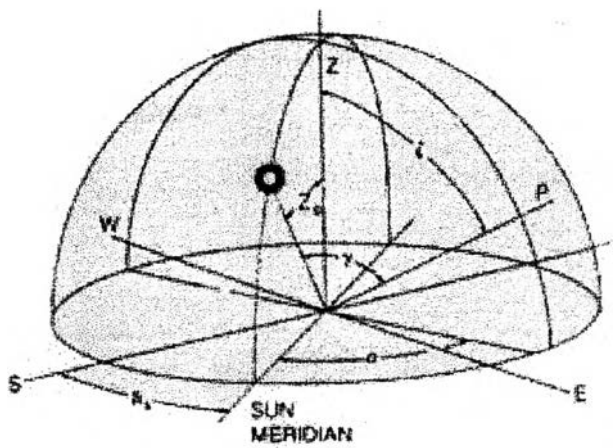
ตาราง 2.4 ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท (Sky zenith illuminance) สำหรับท้องฟ้าในลักษณะ Overcast sky , ZL = 0.409 ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

ความสัมพันธ์ของมุมต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดค่าความสว่างของท้องฟ้าจะแสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ จะมีความสัมพันธ์กับมุมเซนิท ที่ศูนย์องศาและมุมเซนิท ที่ศูนย์องศาจะหาได้จากสูตร

$$Z_0 = \pi/2 - at \quad \text{.....(2.25)}$$

ตำแหน่งที่จุด P จากรูป จะแสดงตำแหน่งของท้องฟ้า ที่ต้องการคำนวณความสว่าง ซึ่งจะประกอบด้วย มุม ζ ของเซนิท (หน่วยเป็น rad) และ มุม α เป็นมุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์



รูป 2.16 ค่าของมุมต่าง ๆ มีใช้ในสมการ

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

ค่าความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) ของท้องมาตราฐาน (CIE)

$$L_{\zeta,\alpha} = \frac{Lz\ (0.91 + 10e^{-3\gamma} + 0.45\cos^2\gamma)\ (1 - e^{-0.32/\cos\zeta})}{(0{,}91 + 10e^{-3Z_o} + 0.45\cos^2 Z_o)\ (1 - e^{-0.32})} \quad \text{.....(2.26)}$$

เมื่อ $L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่ง P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลมที่เกิดจาก คอร์ดดิเนต (coordination) ระหว่าง ζ และ α หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

Lz = ความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท หน่วยกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

γ = มุมระหว่างดวงอาทิตย์ และตำแหน่ง P บนท้องฟ้า หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ζ = มุมเซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุท จากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

Z_0 = มุมเซนิทของดวงอาทิตย์ (Zenithal sun) หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ของมุม γ จะกำหนดขึ้นจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของจุด P บนท้องฟ้า

$$\gamma = \arccos(\cos Z_0 \cos\zeta + \sin Z_0 \sin\zeta \cos\alpha) \quad \text{.....(2.27)}$$

สมการสำหรับท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จะมีความคล้ายคลึงกับสมการความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง แต่จะแตกต่างกัน เฉพาะค่าคงที่บางตัว ของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน

$$L_{\zeta,\alpha} = \frac{Lz\ (0.526 + 5e^{-1.5\gamma})(1 - e^{-0.80/\cos\gamma})}{(0{,}526 + 5e^{-1.5Z_o}) + (1 - e^{-0.80})} \quad \text{.....(2.28)}$$

สมการสำหรับท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)

$$L\zeta,\alpha = Lz \left(\left(0.864 \frac{e^{-0.52/\cos\zeta}}{e^{-0.52}} + 0.136 \left(\frac{1 - e^{-0.82/\cos\zeta}}{1 - e^{-0.52}} \right) \right) \right) \quad \text{.....(2.29)}$$

จากรูปแบบของสมการของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky) จะมีการแบ่งสมการออกเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรก จะเป็นความสว่าง ที่กระจายตัวจากก้อนเมฆ และส่วนที่สองจะเป็นความสว่างของแสง ในชั้นบรรยากาศ ระหว่างชั้นล่างสุดของเมฆและพื้นดิน ซึ่งสมการดังกล่าวจากการเก็บข้อมูลทำให้สามารถสรุปรูปแบบของสมการ (Mark–Spencer) ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบที่ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้น ได้ดังนี้

$$L\zeta,\alpha = (Lz/3)(1 + 2\cos\zeta) \quad \text{.....(2.30)}$$

เมื่อ $L\zeta,\alpha$ = ค่าความสว่างของท้องฟ้า หน่วยเป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

Lz = ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่ Zenith หน่วยเป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

ζ = มุมเซนิท (Zenithal point angle) หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

สมการความสว่างของท้องฟ้า บนพื้นระนาบ จากการดิฟเฟอร์เรน (Differential) องค์ประกอบของท้องฟ้า จะได้สมการต่างๆ ของท้องฟ้าในประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

$$dEkh = L\zeta,\alpha \cos\zeta \, d\omega = L\zeta,\alpha \cos\zeta \sin\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{.....(2.31)}$$

เมื่อ Ekh = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวแนวระนาบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$L\zeta,\alpha$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดของมุม ζ และมุม α หน่วย เป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

$d\omega$ = ค่าดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differiantial) ของมุมโซลิท (Solid angle) ในทิศทางของจุด P

ζ = มุม เซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

พิกัดของมุมต่างๆ ในสมการจะอิงจาก ท้องฟ้าในแบบครึ่งวงกลม และหาก Integrated สมการข้างต้น จะได้สมการของความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ

$$Ekh = 1/\pi \iint L\zeta,\alpha \sin\zeta \cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{.....(2.32)}$$

เมื่อ Ekh = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวในแนวราบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$L\zeta,\alpha$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดของมุม ζ และมุม α หน่วยเป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

ζ = มุม เซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ขอบเขตของการอินทิเกรต (Integration) จะขึ้นกับตำแหน่ง และแนวเขตของท้องฟ้า ซึ่งจะเป็นขอบเขตของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 2π และ 0 ถึง $\pi / 2$

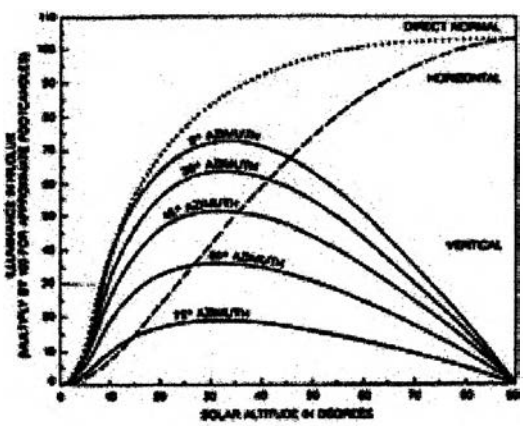
สมการแสดงค่าความสว่างของพื้นแนวระนาบ

$$Ekh = 1/\pi \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L\,\zeta,\alpha \sin\zeta \cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{.....(2.33)}$$

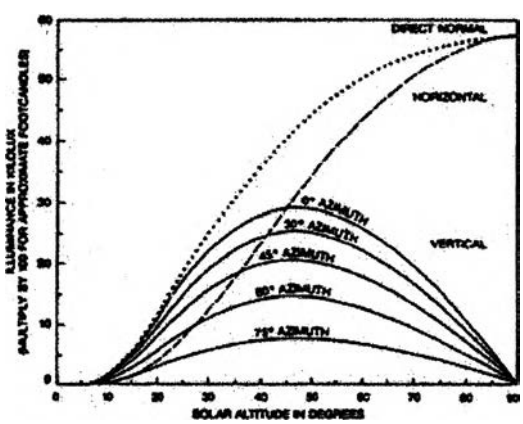
สมการแสดงค่าความสว่างของพื้นแนวระนาบตั้ง

$$Ekv = 1/\pi \int_{\alpha z+\pi/2}^{\alpha z+\pi/2} \int_0^{\pi/2} L\,\zeta,\alpha \sin\zeta \cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{.....(2.34)}$$

สมการ Ekh และ Ekv จะเป็นการคำนวณค่าความสว่างของแสงด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนท์(Differentials) และดีสครีส (Discrete)เพื่อหาตำแหน่งของความสว่าง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ บนระนาบพื้นราบแนวนอนและแนวตั้งที่ปราศจากสิ่งกีดขวางซึ่งค่าความสว่างของท้องฟ้าที่คำนวณได้จากสมการจะสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟในท้องฟ้าแต่ละประเภทได้ดังนี้



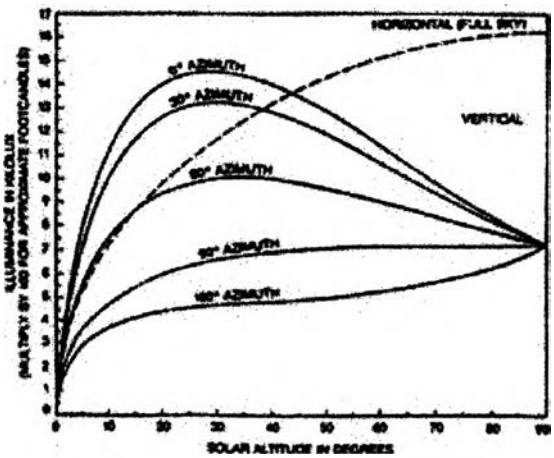
(a) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



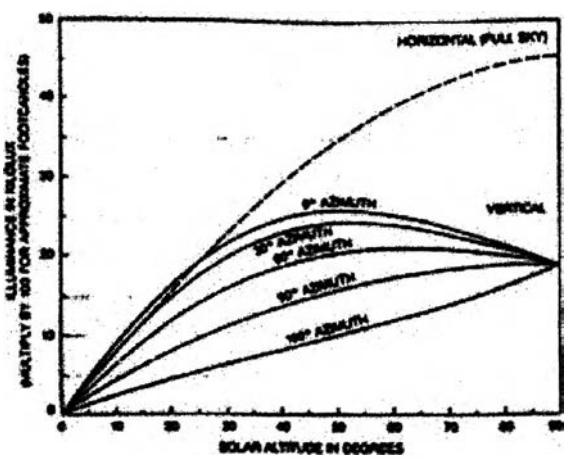
(b) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

รูป 2.17 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูด และ มุมอัลซิมุท ของดวงอาทิตย์

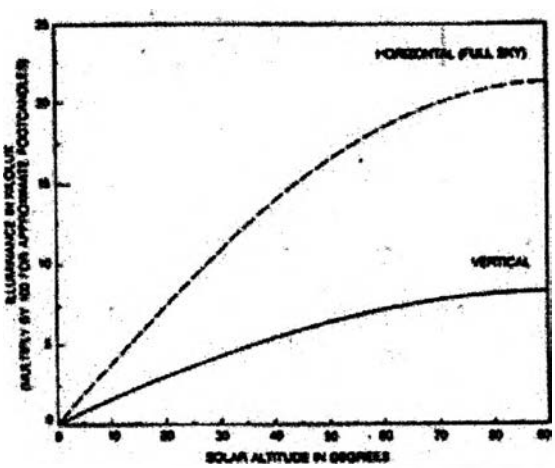
ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building pp. 679



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



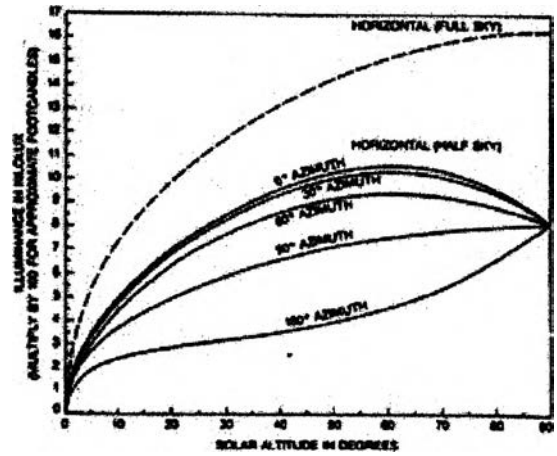
(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



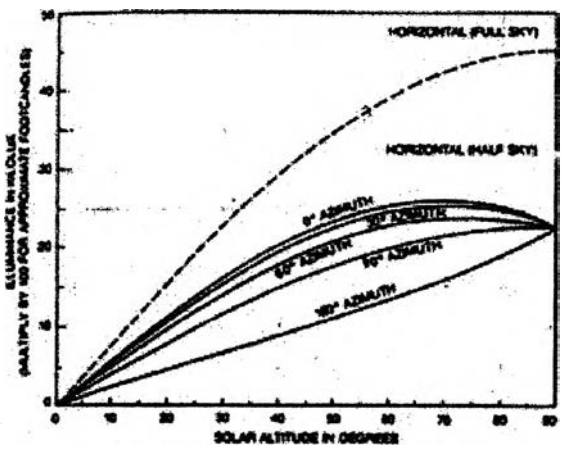
(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

รูป 2.18 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบตั้ง ตามมุมอัลติจูด และมุมอัลซิมุทของดวงอาทิตย์

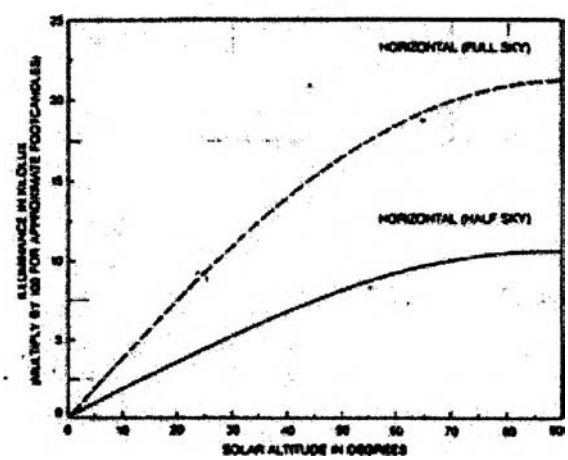
ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building pp. 680



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

รูป 2.19 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบนอน ในแต่ละมุมอัลติจูด และมุมอัลซิมุท ของดวงอาทิตย์

ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building page. 681

2.9 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

เมื่อพิจารณาการแบ่งประเภทของท้องฟ้า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ซึ่งมีดัชนีของปริมาณเมฆในท้องฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 10

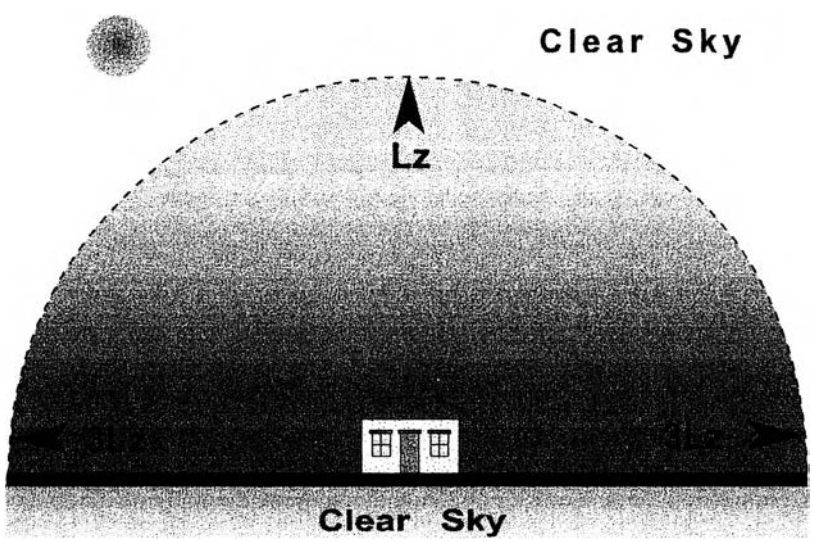
การแบ่งประเภทของท้องฟ้า จะมีวิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทของท้องฟ้าหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้คือการแบ่งประเภทของท้องฟ้าจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า

2.9.1 สภาพท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆคลุม (Clear Sky)

2.9.2 สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

2.9.3 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ (Overcast Sky)

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



รูป 2.20 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky

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

จากการที่ความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง มีความแปรผัน ตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์เหนือ แนวระนาบ ดังนั้นสมการที่ในการคำนวณจะหาได้จาก

$$LA = LZ (1 + 2 \sin A) / 3 \quad \text{.....(2.35)}$$

เมื่อ LA = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่งมุม A องศาเหนือแนวระนาบของดวงอาทิตย์

LZ = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุด

ความสว่างที่ตำแหน่งมุม A = 0 องศา จะมีค่าเท่ากับ = LZ / 3

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

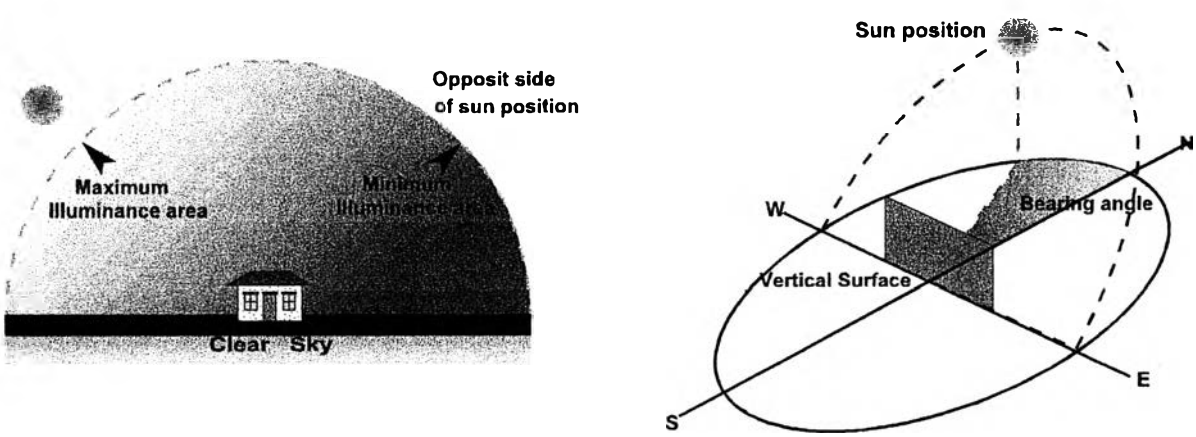
กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

$$Eh = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.36)}$$

กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงกระจายของท้องฟ้า

$$Eh = 1345 + 14{,}795 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.37)}$$

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



รูป 2.21 รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริ่ง (Bearing Angle)

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

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

$$E_{HP} = 570\ A \quad \text{.....(2.38)}$$

เมื่อ E_{HP} = ความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบ ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ มีหน่วยเป็นกิโลลักซ์
A = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) ของดวงอาทิตย์

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

$$E_H = 0.35\ Es + 0.89\ Ec \quad \text{.....(2.39)}$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)
Es = ความส่องสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์
Ec = ความส่องสว่างที่ได้จากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์

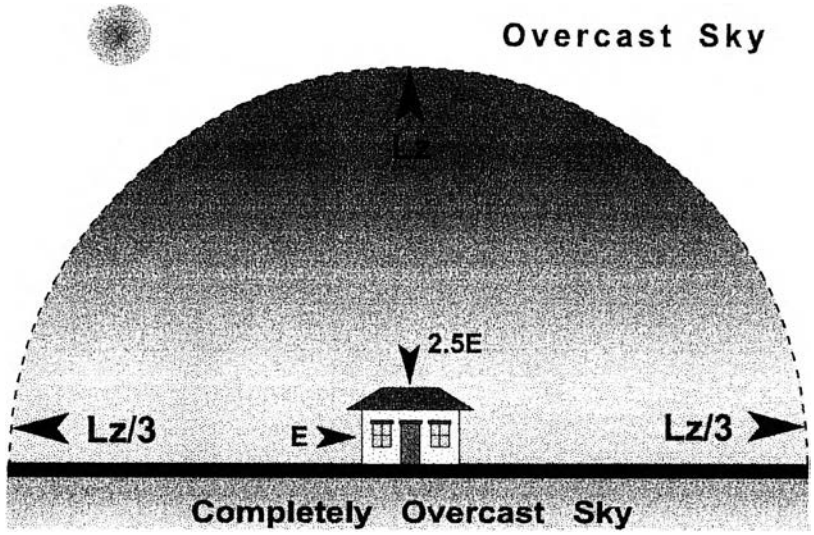
2.9.3 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนไม่สามารถมองเห็นแสงจากดวงอาทิตย์ (Overcast Sky หรือ CIE Sky) ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้า ในแถบสแกนดิเนเวียน (Scandinavia) และตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก เช่นประเทศอังกฤษ ความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก (Non-uniform Brightness Distribution) โดยความสว่าง จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากระนาบพื้น (Horizon-Brightness) ความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับสูงสุดของท้องฟ้า ที่ระดับเซนิท (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ ซึ่งจะมีค่ามากกว่า ความสว่างที่ระนาบพื้นประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้า ที่เกิดขึ้นที่จุดใดๆ จะพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณาจากมุมอัลซิมุทของดวงอาทิตย์ โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_A = L_Z\ (1 + 2 \sin A) / 3 \quad \text{.....(2.40)}$$

เมื่อ L_A = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือระดับในแนวระนาบ (Horizon) ในทุกๆทิศทาง
L_Z = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ระดับสูงสุด ที่ระดับเซนิท (Zenith)

ดังนั้นความสว่าง ณ ตำแหน่งในแนวระนาบ หรือที่มุม A = 0 องศา จะมีความสว่าง มากกว่าเพียงหนึ่งในสามของความสว่างที่ระดับสูงสุด LA = Lz / 3

I18702521



รูป 2.22 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky

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

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

$$E_H = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.41)}$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)

A = มุมอัลติจูลดวงอาทิตย์

2.10 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

การกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร จะพิจารณาจาก ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกอาคารที่มีต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร ซึ่งมีลักษณะการแปรผันคล้อยตามกัน (แปรผันตรง) โดยทั่วไปวิธีการคำนวณจะมีหลายวิธี ตามลักษณะของเทคนิค ในการคำนวณที่แตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณที่เป็นที่นิยมใช้ทั่วไป จะแยกได้เป็น 3 วิธีการหลัก คือ

1. Lumen Transfer Method
2. Daylight Factor Method

ซึ่งการศึกษาวิธีการทั้งสามแบบนั้น จะแยกกล่าวดังนี้

2.10.1 Lumen Transfer Method หรือเรียกว่า Lumen input Method หรือ Total flux method ตามลักษณะของพื้นฐานของการคำนวณ ในการหาค่าความส่องสว่าง ในแต่ละจุด (station point, SP) ภายในอาคาร วิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Method) ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกที่มหาวิทยาลัย Southern Methodist University สหรัฐอเมริกา ในปี คศ. 1953 และถูกพัฒนาต่อมา ในปี 1956 โดยในหลักการของวิธีการดังกล่าวจะเป็นการพิจารณา ค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ในแต่ละระยะความลึก ที่กำหนดภายในอาคารนั้น อันเนื่องมาจากปริมาณของแสงสว่างภายนอกที่กระทำกับผ่านช่องเปิด หรือช่องแสงต่างๆ เข้ามาภายในอาคาร

การพิจารณาด้วยวิธีการแบบลูเมนนั้น จะสามารถพิจารณาถึงปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารเป็นลักษณะของแต่ละตำแหน่งต่างๆ ภายในอาคารที่ระดับการทำงานปกติ(Worked plane) ประมาณ 2.5 ฟุต (feet) หรือ 0.75 เมตร (m.) เนื่องจากที่ระดับความสูงอื่นๆ จะไม่มีผลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณมากนักและจุดต่างๆ ที่กำหนดจะแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ จำนวน 3-5 จุด ที่ใช้ในการอ้างถึงระดับของปริมาณความส่องสว่างภายในห้องที่ตั้งตรงในแนวตั้งฉากจากเส้นกลางของช่องแสงหรือช่องเปิด โดยมีการกำหนดจุดต่างๆ เรียงตามลำดับได้ ดังนี้

จุดที่ใกล้กับหน้าต่างมากที่สุด กำหนดให้เป็น

SP,max คือตำแหน่งที่อยู่ห่างจากช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุต หรือ ร้อยละ 10 ของความยาวห้อง ที่ระดับความสูงทำงานปกติ (work plane) 0.75 เมตร

SP, mid คือตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของห้อง ที่ระดับความสูงทำงาน (Worked plane)

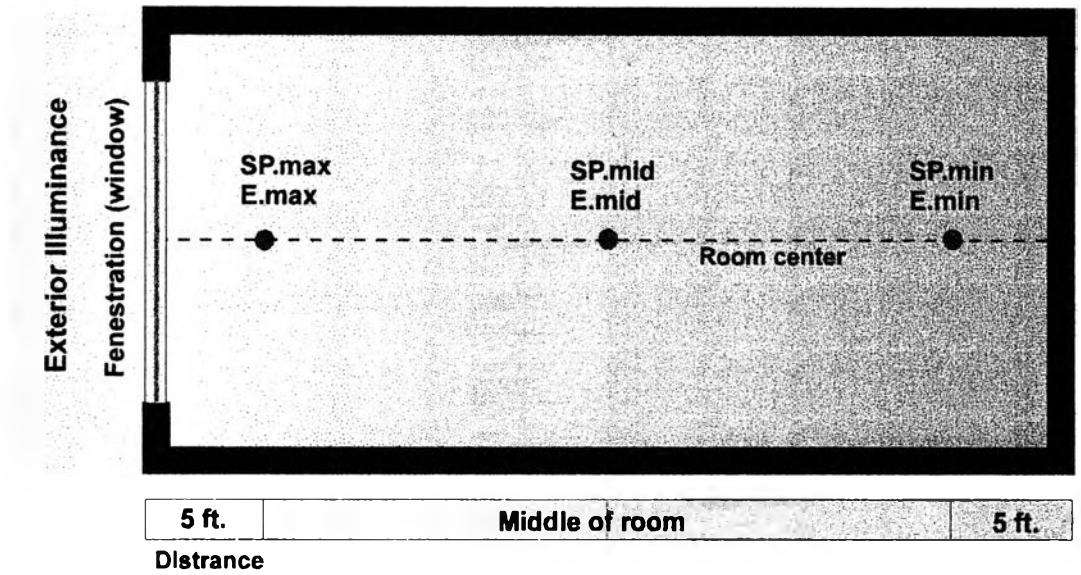
SP, min คือตำแหน่งที่จุดสุดท้าย หรือจุดที่ห่างจากผนังห้องด้านในสุด เข้ามา 5 ฟุต หรือ ร้อยละ 10 จากผนังด้านลึกของห้อง หรือ ระยะร้อยละ 90 จากช่องแสง

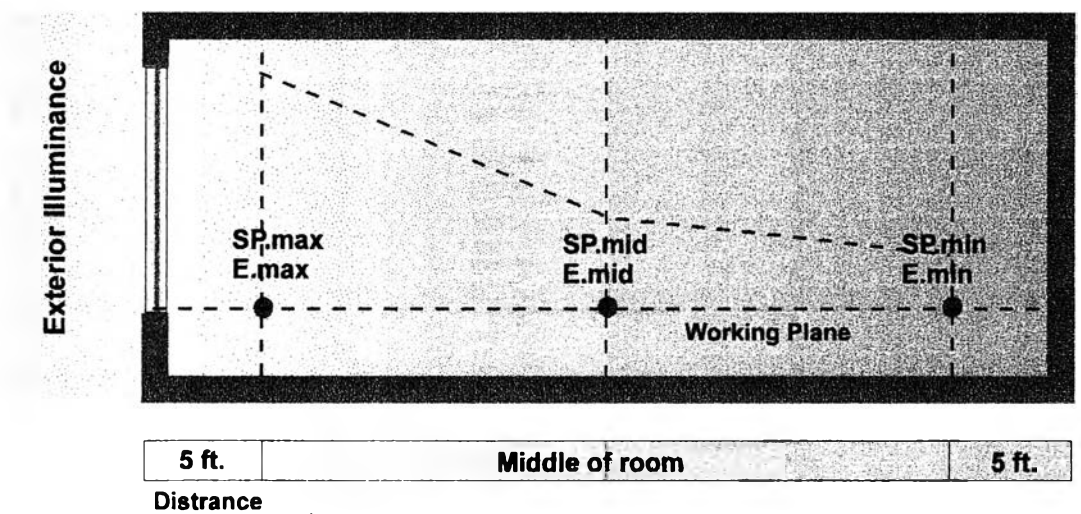
โดยที่ค่าความส่องสว่างที่ได้ จากจุดดังกล่าวทั้ง 3 จุดนั้น (บางวิธีการคำนวณจะใช้ 5 จุด) คือ Emax, Emid, Emin

เมื่อ E max คือค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยของห้อง (Absolute Illuminance) ที่คำนวณปริมาณความสว่างได้ที่จุด SP, max

E mid คือค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยของห้อง ที่คำนวณปริมาณความสว่างได้ที่จุด SP, mid

E min คือค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยของห้อง ที่คำนวณปริมาณความสว่างได้ที่จุด SP, min





รูป 2.23 ความส่องสว่างที่ระยะความลึกต่าง ๆ ของห้อง ด้วยวิธีการคำนวณแบบ Lumen Method

ตัวแปรที่สำคัญ ในการพิจารณาถึงปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ส่องผ่านเข้าสู่อาคาร ด้วยวิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Transfer Method) จะประกอบด้วย องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

ก. ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดเหนือระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรของแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และท้องฟ้าที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสง ได้แก่

- ค่าความสว่าง และสภาพของท้องฟ้า (Sky illumination and Sky condition)
- มุมอัลซิมุทและมุมอัลติจูลของดวงอาทิตย์ (Solar altitude and Solar azimuth)
- ปริมาณความเข้มของแสงแดด (Intensity of Sunlight) โดยไม่รวมแสงแดดที่ส่องเข้าสู่ภายในห้อง

ข. ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดต่ำกว่าระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบ ดังนี้

- ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง หรือ ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ โดยที่ กำหนดให้ $E_{GH,c}$ คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) $E_{GH,o}$ คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)
- ค่าการสะท้อนแสงของดิน (ρ_{GR})

ค. ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร โดยพิจารณาจากตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

- พื้นที่กระจกของช่องเปิดที่แสงส่องผ่านได้ (Ag)
- ค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุที่เป็นช่องแสง (Tg)
- อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของช่องแสง ที่สามารถส่องผ่านได้ต่อพื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด
- ความสกปรกของช่องแสง ซึ่งมีผลต่อการส่องผ่านแสง อันเนื่องมาจากการสะสมของฝุ่น บนพื้นผิวระนาบ (Dirt Collection ,Dg)

ช. ปริมาณแสงที่สามารถนำมาใช้งาน และการกระจายของแสงในระดับทำงาน (Working plane)

- การกระจายตัวของแสงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวของวัสดุภายในห้อง
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความสูงของช่องเปิด
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความยาว ต่อความสูงของห้อง

วิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Method) จะพิจารณาเฉพาะ ปริมาณของแสงสว่าง ที่ระดับทำงานเท่านั้น เนื่องจากระดับของช่องเปิดต่ำกว่า หรือเท่ากับระดับทำงาน จะมีผลต่อปริมาณแสงสว่าง ที่ระดับทำงานน้อยมาก ส่วนช่องเปิดที่อยู่เหนือระดับทำงานเท่านั้น ที่ถือว่า จะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่าง ที่ระดับทำงาน และให้ถือว่าความกว้างของช่องแสง มีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีลูเมน มีสมการมาตราฐานในการการคำนวณ ดังนี้

$$Esp = (Ee)(Ag)(Tg)(LLF)(CU) \quad \text{.....(2.42)}$$

เมื่อ Esp = ค่าระดับความส่องสว่าง ณ บริเวณจุดที่ต้องการพิจารณา (station point)
Ee = ค่าระดับความส่องสว่างของท้องฟ้า ณ ขณะที่พิจารณา
Ag = พื้นที่ของช่องเปิด ที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้
Tg = ค่าการส่องผ่านของ ของแสง ของวัสดุช่องเปิด
CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) หรือ ค่าความสามารถในการนำแสงสว่าง มาใช้งานภายในอาคาร

จากสมการข้างต้น ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า Ee ในความเป็นจริง จะประกอบไปด้วย ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าในแนวนอน (Eg) และแนวตั้ง (Es) ส่วน Ag และ Tg คือพื้นที่ของช่องเปิด และ ค่าการส่องทะลุผ่านของแสง ของช่องเปิด ตามลำดับ

การพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU) สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ จุดใดๆในห้องต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิด ซึ่งประกอบด้วยแสงที่เกิดจากท้องฟ้าและแสงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นดิน ดังนั้นค่า CUจะถูกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือองค์ประกอบของขนาด รูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของห้อง ในระดับระนาบที่สัมพันธ์ กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และองค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้องค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณา สัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย K

ส่วนค่าการส่องสว่างภายนอก Ee จะพิจารณาเป็น 2 ส่วน เช่นเดียวกัน คือ ค่าการส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้า โดยมีทิศทางจากบนลงล่าง (Downward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย Esv และ ค่าการส่องสว่างภายนอกอันเนื่องมาจากแสงสะท้อนจากพื้นดิน ที่มีทิศทางจากล่างขึ้นบน (Upward) เมื่อเทียบกับช่องเปิด แทนด้วย Egv

ดังนั้น ค่า CU จะต้องมีการแยกพิจารณาตามแนวของระนาบแสงออกเป็นสองระนาบ ตามลักษณะทิศทางของแสงที่เกิดขึ้น เป็น Cs , Ks และ Cg , Ks ทำให้สมการข้างต้น เปลี่ยนรูปเป็น

$$Esp = [(Esv)(Ag)(Tg)(Cs)(Ks)] + [(Egv)(Ag)(Tg)(Cg)(Kg)] \quad \text{.....(2.43)}$$

เมื่อ Cs , Cg = คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานตามความกว้าง, ยาว, ความสูงของห้อง และค่าการสะท้อนแสงของผนัง ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบของช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้า และพื้นดิน

Ks , Kg = คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน ตามความสูงฝ้าเพดาน และ ค่าการสะท้อนแสง ของผนังต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้า และพื้นดิน

Tg = ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของวัสดุช่องเปิด

Ag = พื้นที่สุทธิที่แสงส่องผ่านได้

เนื่องจากค่า C , K จะแปรผันตามขนาดของห้องหรืออาคาร ดังนั้น การหาระดับความส่องสว่าง ที่จุดใดๆ สามารถเทียบกับปริมาณแสงสว่างมาตราฐานที่ต้องการใช้งา ทำให้ทราบว่า ณ ตำแหน่งต่างๆภายในห้องมีแสงสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติ เพียงพอหรือไม่ ซึ่งอาจต้องใช้แสงประดิษฐ์ มาช่วยเสริมระดับความสว่างให้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยที่ค่า C และ K จะมีค่าคงที่ภายใต้สภาพท้องฟ้าหนึ่งๆ ดังนั้นในการพิจารณาค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง จะต้องพิจารณาถึงลักษณะสภาพของท้องฟ้า แต่ละสภาพ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

ก. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Overcast sky) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า และไม่มีแสงแดดตรงจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบพื้นผิวใดๆ ปริมาณความสว่าง ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้า (Evk) และพื้นดิน (Evg)หน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

$$E_{s,o} = E_{GV,o} - [E_{GH,o} * 0.1] \quad \text{.....(2.44)}$$

$$E_{G,o} = E_{GH,o} * 0.1 \quad \text{.....(2.45)}$$

โดยที่ $E_{s,o}$ คือ ค่าความสว่างจากท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

$E_{GV,O}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน

$E_{GH,O}$ คือ ค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ

$E_{G,O}$ คือ ค่าความสว่างจาการสะท้อนของพื้นดิน ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

ข. สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ปราศจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Clear sky without direct sunlight) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆปกคลุม แต่ไม่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์ โดยตรงจากดวงอาทิตย์ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิว ในแนวตั้งจากท้องฟ้า (Evk) และพื้นดิน (Evg) หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล

$$E_{s,C} = E_{dv,c} \quad \text{.....(2.46)}$$

$$E_{g,c} = E_{GH,C} \quad \text{.....(2.47)}$$

โดยที่ $E_{dv,c}$ คือ ค่าความสว่างของแสงกระจายจากท้องฟ้าโปร่ง ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

$E_{GH,C}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ

$E_{g,c}$ คือ ค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

ค. สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Clear Sky with direct sunlight) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆปกคลุม แต่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงจากดวงอาทิตย์ ปริมาณความสว่าง ที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งจากท้องฟ้า (Evk) และพื้นดิน (Evg) หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล

$$E_{s,C} = E_{GV,C} - [\, E_{GH,C} * 0.1 \,] \quad \text{.....(2.48)}$$

โดยที่ กรณีนี้พิจารณาโดยถือว่ามีการป้องกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

$E_{GH,C}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวระนาบ

$E_{GV,O}$ คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง

ง. สภาพท้องฟ้ามีค่าความสว่างคงที่ (Uniform Sky) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่มีการกระจายแสงที่ใกล้เคียงกันทั่วท้องฟ้า ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง จากท้องฟ้า (Evk) และพื้นดิน (Evg) เป็นหน่วยฟุตแคนเดิล กรณีที่พิจารณาโดยถือว่า มีการป้องกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

$$E_{s,U} = E_{gu} \quad \text{.....(2.49)}$$

กรณีที่พิจารณาสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะหาได้จากสมการ

$$E_{s,U} = 0.5 * E_{GV} \quad \text{.....(2.50)}$$

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

หลักการของเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight factor , DF) จะเป็นวิธีการที่กำหนดขึ้นจากอัตราส่วนเปรียบเทียบ ระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคาร ในระนาบพื้นผิว (Ei) ต่อค่าความส่องสว่างภายนอกของอาคาร (Ee) ในระนาบเดียวกัน โดยความสว่างที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับ ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา โดยมีสมการมาตราฐานที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$DF_O = (Ei / Ee) \times 100 \quad \text{.....(2.51)}$$

$$DF(\%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน}}{\text{ความสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดดตรง)}} \times 100 \quad \text{.....(2.52)}$$

เมื่อ ลักษณะของท้องฟ้า ใกล้เคียง ลักษณะท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน

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

องค์ประกอบของวิธีการคำนวณแบบ Daylight Factor

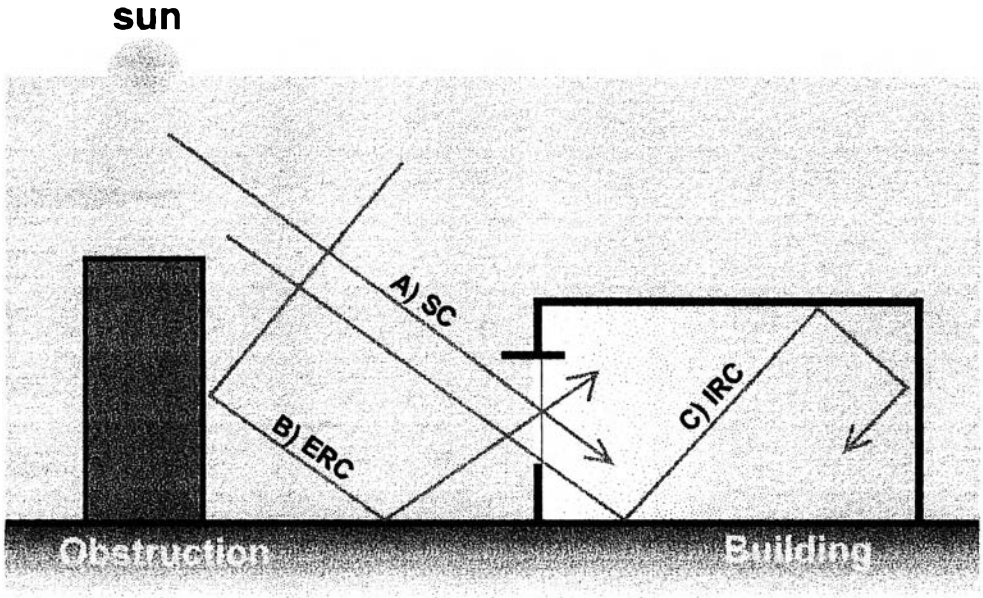
การพิจารณาหาปริมาณความสว่างภายในอาคาร ที่ได้จากแสงธรรมชาติ ด้วยวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor , DF) จะเป็นวิธีการคำนวณ ที่เหมาะสำหรับพื้นที่ ที่มีขนาดใหญ่ โดยองค์ประกอบที่สำคัญ มีดังนี้คือ

1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky Component)
2. องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (External reflected component)
3. องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายในอาคาร (Interior reflected component)

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

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

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



รูปแสดง 2.24 เดยไลท์แฟกเตอร์ เมื่อ A) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (sky component ,SC) , B) องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก (Exterior reflective component ,ERC) , C) องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายใน (Interior reflective component ,IRC)

สมการมาตราฐานค่าเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor) จากตัวแปรขององค์ประกอบข้างต้น อธิบายได้ดังนี้

$$DF_o = SC_o + ERC_o + IRC_o \quad \text{.....(2.53)}$$

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

$$DF_o = SC_o + ERC_o + [(MF)(IRC_o)] \quad \text{.....(2.54)}$$

การกำหนดค่าของเดยไลท์แฟกเตอร์ ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่หนึ่งๆ พิจารณาได้ดังนี้

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

ตาราง 2.5 แสดงค่า Daylight Factor ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ

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

2.11 แสงธรรมชาติ ในภูมิอากาศเขตร้อน

การกำหนดระดับปริมาณความส่องสว่างในสภาพอากาศแบบปกติ (Temperature Climates) จะอาศัยความสัมพันธ์ของท้องฟ้าในลักษณะ ที่มีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky) หรือ ท้องฟ้าที่มีความสว่างคงที่ (CIE. Standard Overcast Sky) ซึ่งท้องฟ้า ในลักษณะดังกล่าวนี้ การกระจายแสงที่มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งท้องฟ้า แต่สำหรับในภูมิประเทศที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเหนือศรีษะ หรือตั้งฉากกับพื้นโลก ในระหว่างวันมากกว่าภูมิอากาศในเขตอื่น การกำหนดปริมาณความสว่าง จึงต้องมีการแบ่งลักษณะของท้องฟ้า ในแต่ละฤดูกาล ให้ชัดเจน เช่น ในฤดูแล้ง ที่อากาศร้อน หรือ ฤดูมรสุม ที่มีเมฆปกคลุมทั่วท้องฟ้า ทำให้การใช้เทคนิคต่างๆ ในการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติจะต้องมีความรอบคอบมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสภาพท้องฟ้าจะมีความแปรปรวน ไม่คงที่ของปริมาณแสงสว่าง และยากแก่การคาดเดา เช่นในบางกรณี ฤดูที่มีอากาศร้อนและมีแสงแดดจัด แสงธรรมชาติที่ได้รับ บางทีก็อาจจะไม่เพียงพอ ต่อการใช้งานภายในอาคาร ซึ่งเกิดจากลักษณะของท้องฟ้าเอง หรือในบางกรณี ที่แสงธรรมชาติอาจจะมีมากเกินกว่าความจำเป็นต่อการใช้งาน ก็เป็นได้เช่นกัน นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในภูมิประเทศเขตร้อน หากไม่มีความระวัง ก็อาจจะเป็นการส่งเสริมให้มีการเพิ่มความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นการใช้งาน จะต้องหลีกเลี่ยง การใช้แสงตรงจากดวงอาทิตย์ และเน้นแสงสว่างที่ได้จากการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ เป็นสำคัญ ซึ่งช่องเปิดก็ไม่ควรจะออกแบบให้มีขนาดใหญ่เกินกว่าความจำเป็น อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในภูมิอากาศเขตร้อน จะต้องมีการใช้เทคนิคที่เพิ่มมากขึ้น ในการคาดการณ์ปริมาณความส่องสว่างแสงธรรมชาติ จากความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัญหาของภูมิอากาศ ในเขตร้อนนี้ ในขณะที่ จะต้องรักษาระดับของความสว่างภายในอาคารให้คงที่เสมอในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน

แสงธรรมชาติที่พอเพียงต่อการใช้งาน ในเขตร้อน จะแยกออกได้เป็นสองลักษณะ ตามภูมิอากาศ คือ อากาศร้อนแห้ง และ อากาศร้อนชื้น สำหรับในประเทศไทยจะจัดอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และจากการศึกษา จะพบว่าประเทศต่างๆ ที่มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นนี้ จะอยู่ในเขตที่มี การพัดผ่านของลมมรสุมด้วยเช่นกัน

ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนแห้ง เช่น ทะเลทราย สภาพภูมิอากาศจะถูกกำหนดโดย แสงแดดที่มีความต่อเนื่อง ในกรณีที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Deep blue sky) จะมีความส่องสว่างต่ำ เมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่างระนาบนอน จนกระทั่งมุมเงยมีค่าประมาณ 30 องศา นอกเหนือจากนี้จะมีปริมาณความสว่างอยู่ในระดับสูง เมื่อพิจารณาจากปริมาณแสงสว่าง ในระหว่างวัน ซึ่งปริมาณแสงสว่างดังกล่าว ที่ไม่คงที่จะเป็นปัญหาต่อปริมาณระดับความส่องสว่างที่พอเพียงภายในอาคาร (แต่อาจจะแก้ไขได้โดยการเลือกใช้สีอ่อน หรือสีขาว แก่อาคาร เพื่อช่วยเพิ่มการสะท้อนแสงภายนอก) สำหรับเทคนิคในการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ ในภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง จะพิจารณาจากความต้องการ การส่องสว่างที่พอเพียงในระดับทำงาน และ การหลีกเลี่ยงแสงแดดตรงที่จะก่อให้เกิดแสงจ้า และความร้อนที่ไม่ต้องการ จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้นอาคารในภูมิอากาศเขตร้อน ควรจะออกแบบให้อาคาร มีระดับวงกบล่างของช่องเปิด อยู่สูงกว่าระดับสายตา หรือ ให้มีการจัดวางทิศทางอาคารให้อยู่ใต้ร่มเงา หรือควบคุมความสว่างของการสะท้อนแสงภายนอกอาคารด้วยสี หรือต้นไม้

สำหรับ สภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น ปริมาณแสงธรรมชาติ จะแปรผันตามสภาพของท้องฟ้า ที่จะมีลักษณะของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทึบเข้ามาเกี่ยวข้อง ถ้าในกรณีที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้า เพียงบางๆ ท้องฟ้าจะมีความสว่างเต็มที่ ทั้งแสงสว่าง และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งการป้องกัน อาจจะเลือกใช้ ระเบียงกันแดด แผงกันแดดในแนวตั้ง แนวนอน หรือการออกแบบให้มีการบังแดดด้วยรูปทรงของอาคาร แต่ในกรณีที่มีเมฆปกคลุมทั่วทั้งท้องฟ้าปริมาณความสว่างอาจจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำและไม่เพียงพอต่อการใช้งาน การออกแบบอาคาร

เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว จึงควรจะเน้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ให้มากที่สุด และอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศ และกระแสลม ที่พัดผ่าน เพื่อมาช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร

ปริมาณความสว่าง อันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร ในสภาพท้องฟ้าที่ปราศจากเมฆปกคลุม ในภูมิอากาศเขตร้อน จะมีปริมาณแสงสว่าง ที่ระดับเซนิท หรือ ใกล้เคียง ประมาณ 500 ft-L และเมื่อความส่องสว่าง ตกกระทบพื้นดิน ที่มีการสะท้อนของแสง ของระนาบพื้นดิน เท่ากับ 20 % ปริมาณแสงส่องสว่างทั้งหมด ที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นดิน จะมีความสว่างประมาณ 10,000 lm/ft^2 และแสงที่ส่องเข้ามาสู่อาคารจะมีค่าประมาณ 2,000 ft-L หรือมีค่าเป็น 4 เท่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ แหล่งกำเนิดของแสง ซึ่งองค์ประกอบจากการส่องสว่าง และสะท้อนแสงภายนอกอาคารทั้งหมด ในทิศทางต่างๆ จะเป็นตัวกำหนดฟลักซ์ของแสงที่จะตกกระทบลงบนช่องเปิดของอาคาร

การคาดการณ์ปริมาณความส่องสว่างภายใน จากสภาพภูมิอากาศเขตร้อน หรือ ท้องฟ้าโปร่ง (Blue sky) จะมีกระบวนการคิดพื้นฐานและแนวทางในการพัฒนา ในลักษณะเดียวกับการคิด ในสภาพภูมิอากาศแบบปกติ (Temperature Climate) ที่จะแยกองค์ประกอบของท้องฟ้าออกเป็นสามส่วน คือ องค์ประกอบแสงตรงจากท้องฟ้า (The direct sky component) องค์ประกอบแสงสะท้อนภายนอกอาคาร (The externally reflected component) และ องค์ประกอบจากแสงสะท้อนภายในอาคาร (The internally reflected component) ซึ่งแต่ละองค์ประกอบสามารถจะอธิบายได้ด้วย หลักการของ วิธีเดย์ไลท์แฟกเตอร์ ที่ได้จากอัตราส่วน ระหว่างความส่องสว่างภายใน และ ความส่องสว่างภายนอกของท้องฟ้า ที่ปราศจากผลกระทบแสงตรงจากดวงอาทิตย์ แต่การคำนวณจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของการสะท้อนแสงภายนอก มากเป็นพิเศษ เนื่องจากในภูมิอากาศเขตร้อน ในช่วงวันที่ท้องฟ้าโปร่ง จะมีปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์สูงกว่า สภาพภูมิอากาศแบบอื่น

การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร ในสภาพภูมิอากาศเขตร้อน จะมีความสำคัญน้อยกว่า การสะท้อนแสงภายในอาคาร ของภูมิอากาศแบบปกติ เนื่องจากในภูมิอากาศแบบปกติ ฟลักซ์ของแสงในอันดับแรกที่ส่องจากช่องเปิดจะตกกระทบลงบนพื้น ดังนั้นพื้นอาคารในบริเวณใกล้ช่องเปิด ควรจะมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างของแสงภายในอาคาร แต่ในกรณีของสภาพภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง สัดส่วนของฟลักซ์ของแสงที่ตกกระทบภายในอาคาร จะได้จากการสะท้อนแสงของเพดานและผนังเป็นสำคัญ เนื่องจากการสะท้อนของแสงภายนอกอาคารที่ผิวดิน และ พื้นผิวในด้านตรงกันข้าม อย่างไรก็ตาม หากเราออกแบบให้อาคาร มีค่าการสะท้อนแสงของเพดาน และ ผนัง ที่สูง เพื่อเพิ่มค่าความส่องสว่าง ภายในสำหรับภูมิอากาศเขตร้อน ก็อาจจะก่อให้เกิดความไม่สบายตาจากแสงจ้า หรือทัศนวิสัยในการมองได้

การจัดวางอาคาร ในภูมิอากาศเขตร้อน ควรจะหลีกเลี่ยงการรับแสงตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเช้า หรือเย็น ของช่องเปิดในทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ส่วนเวลากลางวัน ดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเหนือศรีษะ และตั้งฉากกับพื้นโลก ปริมาณแสง จะมีอิทธิพลต่อ ช่องเปิดในทิศเหนือและทิศใต้ ทั้งแสงที่เกิดจากท้องฟ้า และแสงสะท้อนจากพื้นดิน ดังนั้นปริมาณความส่องสว่างภายในอาคาร จะแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาและทิศทางดังกล่าว ซึ่งเราสามารถที่จะแก้ไขได้ โดยการออกแบบให้ช่องเปิด มีความสอดคล้องกับทิศทางของแสงในแต่ละช่วงเวลา