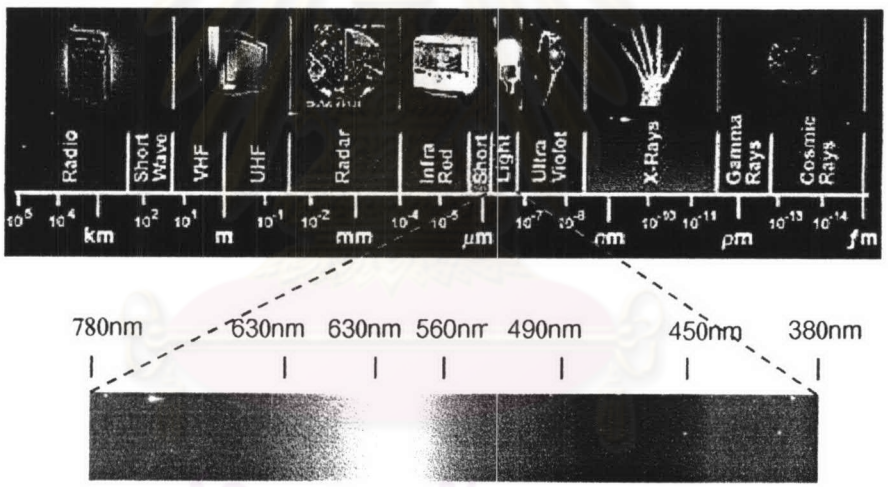
บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. 1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือความถี่หรือความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม, 2521) หากเราพิจารณาแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) ในคุณสมบัติของคลื่นแสงจะมีคุณสมบัติของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (micron) หรือ 380–760 นาโนเมตร (nanometre) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าวเมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา จะมีการกระตุ้นของพลังงานกับประสาทตาปกติ ทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา

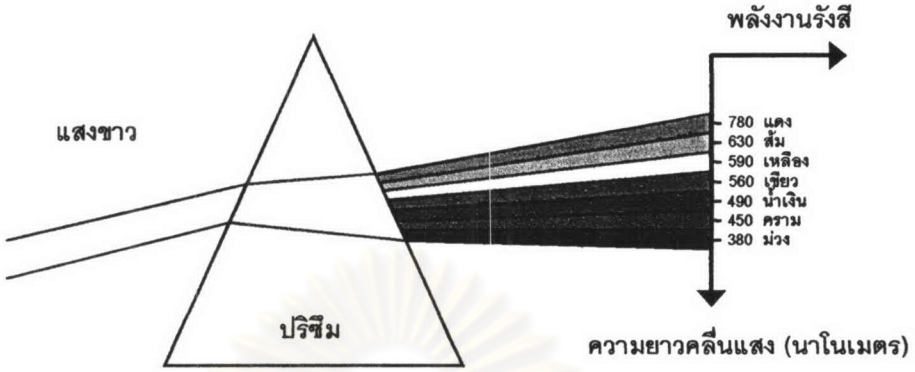


ภาพที่ 2 - 1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่าง ๆ

(Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 912)

คลื่นแสง (Visible Light) ที่ตอบสนองต่อการมองเห็นจะประกอบไปด้วยสเปกตรัม (Spectrum) ของแสงที่ระดับความถี่ที่แตกต่างกัน และในแต่ละสเปกตรัมของแสงจะมีความแตกต่างกันของสี ซึ่งความเข้มแสงแต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป จะหาได้จากการผ่านแสงในช่วงที่ต้องการทดสอบผ่านปริซึม เพื่อให้เกิดการหักเหแสงของความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะทราบว่าแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ประกอบคลื่นความยาวแสงอะไรบ้าง และแต่ละความยาวคลื่นของแสงมีความเข้ม ที่แตกต่างกันอย่างไร ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีการหักเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสง จะเป็นตัวแสดงว่าแสงสีไหนมีมากกว่ากัน เช่น ถ้าแสงมีสีน้ำเงินมาก เมื่อส่องไปกระทบวัตถุที่มีสีน้ำเงินก็จะทำให้วัตถุสีน้ำเงินนั้นไม่เด่น แต่ถ้าวัตถุนั้นมีสีแดง และแสงที่ตกกระทบวัตถุเป็นสีแดงเข้ม วัตถุสีแดงก็จะเด่นขึ้นมาทันที เนื่องจากสีแดงมี

ความเข้มของแสงมาก ดังนั้นถ้าต้องการให้แสงที่ส่องถูกวัตถุทุกสีเด่นก็ต้องมีสเปกตรัม ของสีที่มีความเข้มมาก แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มหมด เมื่อนำไปส่องวัตถุใดวัตถุนั้นก็จะเด่นหมด



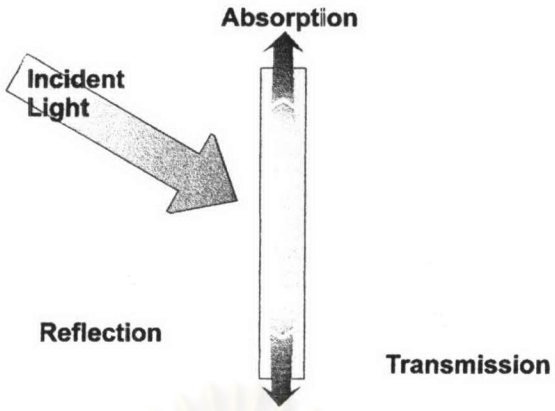
ภาพที่ 2 - 2 สเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น เกิดการหักเหไม่เท่ากันของความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน
(เทคนิคการส่องสว่าง, 2540: 1-20)

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 และดูดกลืนแสงสีอื่นเอาไว้ ทำให้ไม่เห็นแสงสีอื่นเมื่อมองด้วยตาปกติ

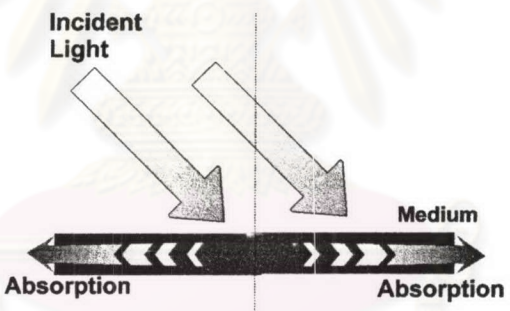
2. 2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง ผ่านตัวกลางต่างๆ (Medium) เช่น อากาศ น้ำ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง หรือละอองไอน้ำในชั้นบรรยากาศ ฯลฯ พฤติกรรมของแสง หรือแนวทางเดินของแสงจะเปลี่ยนไปเมื่อกระทบกับตัวกลางเหล่านั้น พฤติกรรมของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆ จะมีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ



ภาพที่ 2 - 3 พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 9)

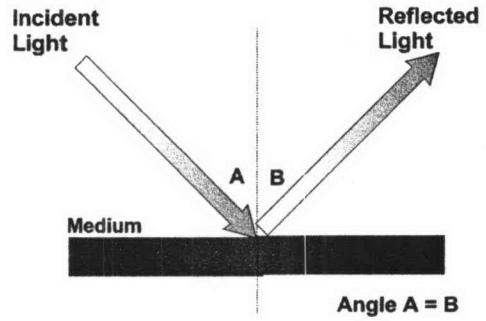
2.2.1 **การดูดกลืน** (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง (Medium) จะถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง ซึ่งปริมาณการถูกดูดซึมเข้าไปในตัวกลาง จะขึ้นอยู่กับค่าการดูดซึมแสงของตัวกลาง ที่แตกต่างกันไปในแต่ละวัสดุ โดยทั่วไปเมื่อแสงถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง จะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน จากในรูปของพลังงานแสง (Light) เป็นพลังงานความร้อน (Heat)



ภาพที่ 2 - 4 การดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 9)

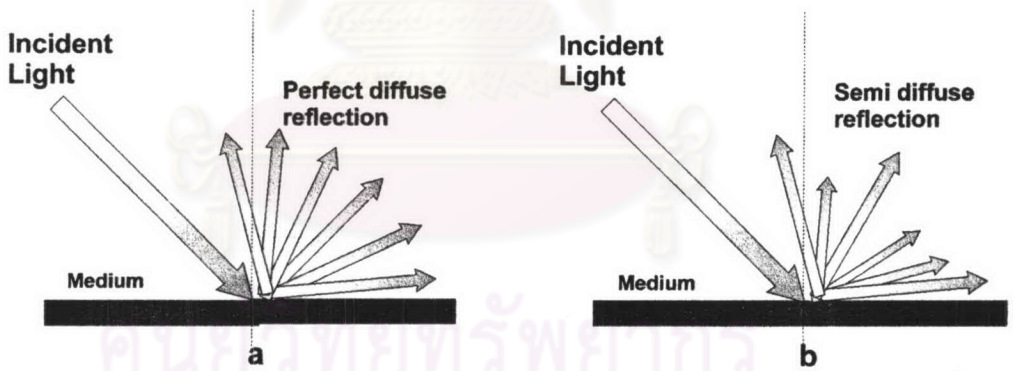
2.2.2 **การสะท้อน** (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลาง แล้วเกิดการสะท้อนแสงออกมาโดยที่ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง การสะท้อนของแสงมีหลายลักษณะ และสามารถจำแนกออกได้เป็นแต่ละลักษณะดังนี้

การสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา (Specular Reflection) เป็นลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบลงบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque Material) ที่มีผิวเรียบมัน (Polish Surface) อาทิ กระจกเงา หรือผิวโลหะที่ขัดมัน แสงจะมีการสะท้อน ในลักษณะของมุมตกกระทบของแสง (Angle of Incident) เท่ากับ มุมสะท้อนของแสง (Angle of Reflection)



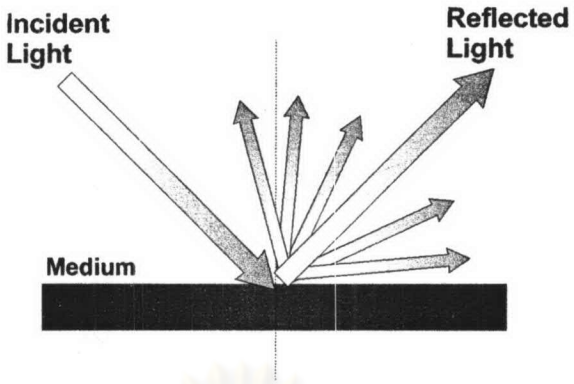
ภาพที่ 2 - 5 การสะท้อนของแสงแบบ Specular Reflection
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 10)

การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดขึ้น เมื่อแสงตกกระทบลงบนวัสดุหรือพื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือผิวด้าน แสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายไปในทุกทิศทาง มุมสะท้อนของแสงจะมีทิศทางที่ไม่แน่นอน และมุมตกระทบของแสง จะไม่เท่ากับมุมสะท้อนของแสงออกมา หากผิววัสดุนั้น มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ (Perfect Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่สะท้อนออกมา จะเป็นแสงสะท้อนที่มีการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมสะท้อนเท่ากันทุกๆ มุมสะท้อน และมีค่าเฉลี่ยของแสงที่สะท้อนออกมาเท่ากัน แต่หากพื้นผิววัสดุไม่เรียบสม่ำเสมอ (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (Semi Diffuse Reflection)



ภาพที่ 2 - 6 การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) **การสะท้อนแบบกระจกเงา** (Perfect diffuse reflection) **การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย** (Semi diffuse reflection)
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 10)

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



ภาพที่ 2 - 7 การสะท้อนของแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงา และแบบสะท้อนกระจาย

(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 11)

2.2.3 **การส่องผ่าน** (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับด้านใดด้านหนึ่ง ของตัวกลาง (Medium) แล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของตัวกลาง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติของตัวกลางที่แสงส่องผ่านแล้ว จากคุณสมบัติของแสง มุมที่แสงตกกระทบตัวกลางจะเท่ากับมุมที่แสงสะท้อนออก และปริมาณของแสงจะต้องคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงกระทบตัวกลางชนิดโปร่งแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง อีกส่วนจะสะท้อนกลับ ส่วนที่เหลืออีกส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านออกมา สามารถอธิบายด้วยสมการดังนี้

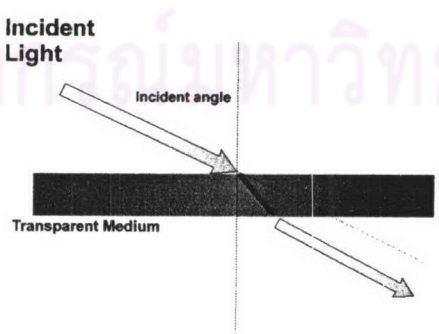
ปริมาณแสงทั้งหมด = ปริมาณแสงที่ถูกดูดซึม + ปริมาณแสงสะท้อน + ปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่าน

(Absorption) (Reflection) (Transmission)

เมื่อ ปริมาณแสงทั้งหมด = 1

ชนิดของตัวกลางที่แสงส่องทะลุผ่านได้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

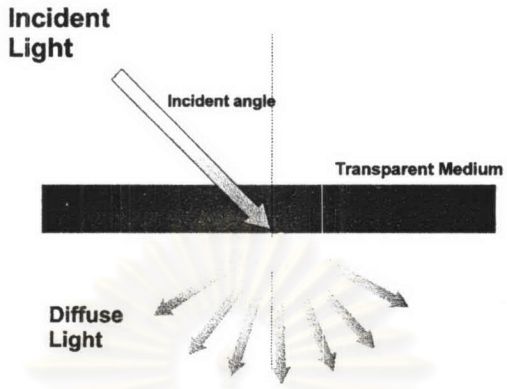
ตัวกลางชนิดโปร่งใส (Transparent Medium) การส่องผ่านในลักษณะนี้ จะมีการหักเห (Reflected) ของแสงเกิดขึ้น หรือมีการเปลี่ยนทิศทางของแสง (Bent) ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลาง โดยสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดอีกด้านหนึ่งได้อย่างชัดเจน ตัวกลางประเภทนี้ เช่น กระจกใส เป็นต้น



ภาพที่ 2 - 8 แสงตกกระทบตัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน

(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 12)

ตัวกลางชนิดโปร่งแสง (Translucent Method) การส่องผ่านของแสงในลักษณะนี้ จะเป็นแบบกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงในอีกด้านหนึ่งได้



ภาพที่ 2 - 9 แสงทะลุผ่านตัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย

(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 12)

การส่องผ่านของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่แสงตกกระทบมีค่าดัชนี การหักเหของแสงมากกว่าสภาพโดยรอบของวัสดุนั้น เช่น กระจกมีค่าดัชนีการหักเห 1.52 ซึ่งมากกว่าอากาศโดยรอบที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเท่ากับ 1 ดังนั้นแสงจะส่องทะลุผ่านกระจกออกมาได้ แต่เมื่อแสงผ่านตัวกลางผิวเรียบจะเกิดการหักเห หรือสะท้อนกลับ การหักเหหรือสะท้อนกลับของแสงจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ถ้ามุมตกกระทบของแสงน้อยแสงก็จะผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้ามุมตกกระทบของแสงมีค่ามากเกินกว่า ค่าของมุมวิกฤตแสงจะไม่ผ่านตัวกลางและไม่สะท้อนกลับด้วย (ในกรณีนี้มุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต) และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงจะสะท้อนออกมา

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ และมุมสะท้อนสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$n1 \sin A\,1 = n2 \sin A\,2 \quad \text{..... (2.1)}$$

เมื่อ n1, n2 = ดัชนีการหักเหของแสง ของวัสดุ 1 และ 2 ตามลำดับ

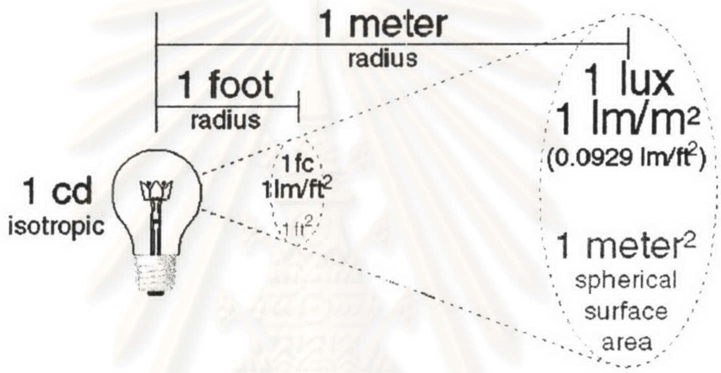
A 1 = มุมตกกระทบของแสง

A 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) เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่าง หรือกำลังการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Power of Light Source) ในรูปของเส้นแรงปริมาณแสงที่เปล่งแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen)



ภาพที่ 2 - 10 ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux)

(Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 915)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร

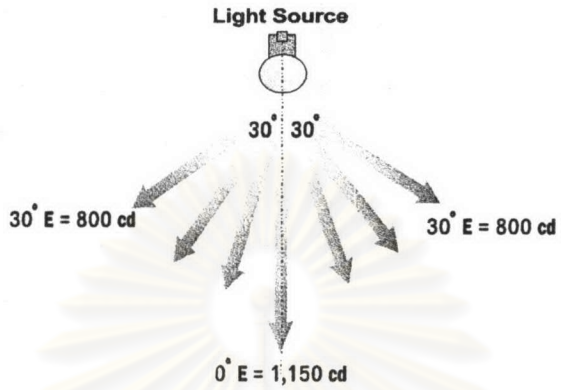
$$\text{Solid angle } (\omega) = A / R^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.2)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ A = พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

R = รัศมีของทรงกลม

แคนเดลา (Candela) คือ ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบนพื้นผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลตินั่ม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุม ที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง



เมื่อ E = ความเข้มของการส่องสว่าง

ภาพที่ 2 - 11 ความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 14)

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 ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ 1 ลักซ์ ความส่องสว่างในหน่วยของลักซ์ (Lux) เมื่อเทียบกับในหน่วยของ ฟุตแคนเดิล (Foot-candle)

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

(Fuller Moore, 1991: 272)

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

ตารางที่ 2 - 1 แสดงค่าความส่องสว่าง ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตราฐาน CIE
(เทคนิคการส่องสว่าง, 2540: 1-6)

มาตรฐาน CIE ได้กำหนดค่าความส่องสว่างจากตารางออกเป็นสามค่า โดยค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีกสองค่าใช้ในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีความแตกต่างออกไป อาจจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าขึ้นกับสภาพต่างๆดังนี้

ถ้าการสะท้อนแสงของผิวผนัง มีค่าคอนทราสต์ (Contrast) ต่ำกว่าปกติ ให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น ถ้าเป็นงานที่ต้องการความละเอียดเพื่อให้งานมีความถูกต้องมากขึ้น อาจจะใช้ค่าความส่องสว่างที่มากขึ้น ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ควรจะใช้ค่าความส่องสว่างที่สูงขึ้น ถ้าผู้ใช้งานเป็นผู้สูงอายุ หรือบุคคลที่มีความผิดปกติทางสายตา ให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น

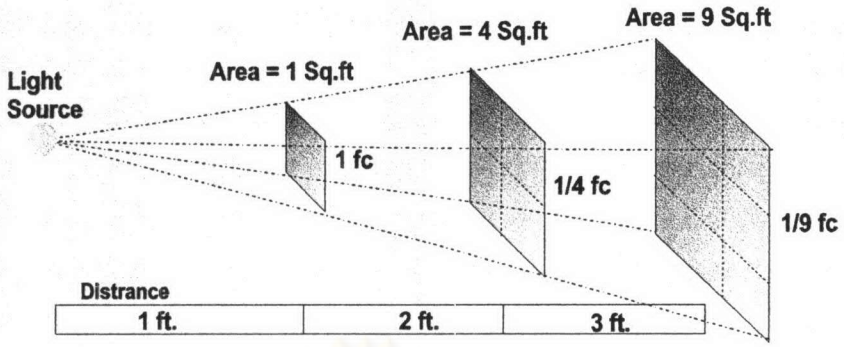
2.3.3 **การส่องสว่าง** (Illumination) เป็นค่าการส่องสว่างของแสง บนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง และจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองที่เกิดจากระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (Foot-candle) มีสมการดังนี้

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

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

I = ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)

d = เป็นระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณา กับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร หรือฟุต



ภาพที่ 2 - 12 แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ตามกฎกำลังสองผกผัน ที่ระยะทางต่าง ๆ จากแหล่งกำเนิดแสง
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 15)

ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) คือปริมาณแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสง (Solid Angle) ใดๆ ในทิศทางหนึ่งๆ แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยฟลักซ์ความสว่าง (Luminous Flux) ออกมารอบทิศทาง เรียกว่า ความเข้มของความส่องสว่าง (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 ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (lumen) และเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา (cd) จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, 2540: 19)

2. 4 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง

2.4.1 **ความจ้า** (Brightness) หรือความสว่าง (Luminance) เมื่อแสงส่องกระทบถูกวัตถุใดๆ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตาของเรา ทำให้เกิดการเห็นวัตถุนั้นๆ หากแสงที่เข้าสู่ตาเรามีค่าความสว่างมากจะเรียกว่า ความจ้าของแสงสว่าง ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการสะท้อน หรือส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุใดๆ ทำให้วัตถุนั้นเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสง และความสามารถในการปรับตัวของสายตา

ความจ้า จะเป็นปริมาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Foot-lambert) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

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

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

เมื่อ FL = ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิรต์

Fc = ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

ρ = ค่าการสะท้อนของแสงของวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

τ = ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

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

ความเปรียบต่างสามารถกำหนด เป็นอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุ และของสภาพรอบข้างของวัตถุนั้นๆ เมื่อพิจารณาจากจุดสังเกต ได้ดังนี้

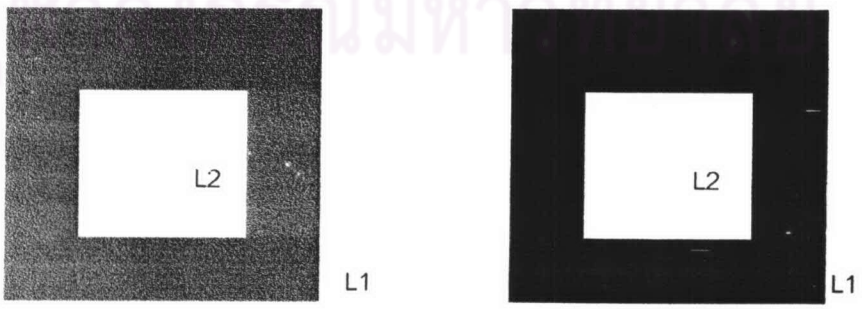
$$C = (L2 - L1) / L1 \quad \text{..... (2.6)}$$

เมื่อ C = ความเปรียบต่าง (Contrast)

L1 = ค่าความสว่าง (Luminance) ของสภาพแวดล้อม

L2 = ค่าความสว่างของวัตถุ

ค่าความเปรียบต่างยิ่งมาก การมองเห็นวัตถุก็จะง่ายขึ้น แต่หากค่าความเปรียบต่างมีค่ามากเกินไปก็จะเกิดเป็นแสงจ้า (Glare)



ภาพที่ 2 - 13 ความเปรียบต่าง (contrast) **ความส่องสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียงในการมองเห็นวัตถุ**

(เทคนิคการส่องสว่าง, page: 1-11)

2. 5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

2.5.1 **แหล่งกำเนิดแสงและการนำไปใช้งาน** วันและฤดูกาลที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้นจะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทางและตำแหน่งต่างๆ ของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ แต่อย่างไรก็ตามนอกจากรูปแบบที่แน่นอนแล้วยังมีลักษณะของรูปแบบที่ไม่แน่นอนของแสงธรรมชาติ ที่ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ด้วย ซึ่งจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และมลภาวะ ปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกมากกว่าร้อยละ 40 จะเป็นคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่นแสงที่ตามองไม่เห็น ได้แก่แสงในช่วงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า และอินฟราเรด (Infrared) ที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่า คลื่นแสง) เมื่อแสงธรรมชาติตกกระทบพื้นผิวต่างๆ ก็จะถูกดูดซับและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในทันที ซึ่งจะมากหรือน้อยตามความยาวและความถี่ของคลื่นแสง และสภาพบรรยากาศของโลกที่แสงส่องผ่าน เนื่องจากแสงจะเกิดการกระจายตัวและแปรเปลี่ยนเมื่อกระทบกับบรรยากาศในชั้นต่างๆโดย Commission International de l'Eclairage (CIE) ได้มีการแบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติ ออกเป็นประเภทต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดแสงได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์

การหมุนของโลก ตามแกนโลกที่เอียงตามมุมต่างๆ นั้น จะมีความสำคัญต่อการเกิดของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ ในตำแหน่งต่างๆ บนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้นโลก เราจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของท้องฟ้าจากพื้นโลกจาก

มุมอัลติจูด (Solar Altitute) a_t เป็นมุมในแนวตั้ง ที่จะบอกมุมเงยของดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับระดับพื้นราบ

มุมอะซิมุท (Solar Azimuth) a_z เป็นมุมในแนวนอน ที่จะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เมื่อวัดจากแกนในแนวทิศใต้ เป็นทิศเริ่มต้นที่ 0 องศา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือที่ 180 องศา และ –180 องศา

แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า

การส่องผ่านของแสงอาทิตย์ ผ่านบรรยากาศในชั้นต่างๆ จะเกิดการกระจายตัวของแสงไปทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่น ละออง ไอน้ำ และสารแขวนลอยต่างๆ ในแต่ละชั้นบรรยากาศ การกระจายตัวของแสงในท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ทำให้เกิดเป็นลักษณะต่างๆ ของท้องฟ้าได้ ดังนี้

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบาส่วน (Partly Cloudy sky)
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)

ซึ่งท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จะมีการเปลี่ยนของปริมาณแสงสว่างในท้องฟ้าอย่างรวดเร็ว

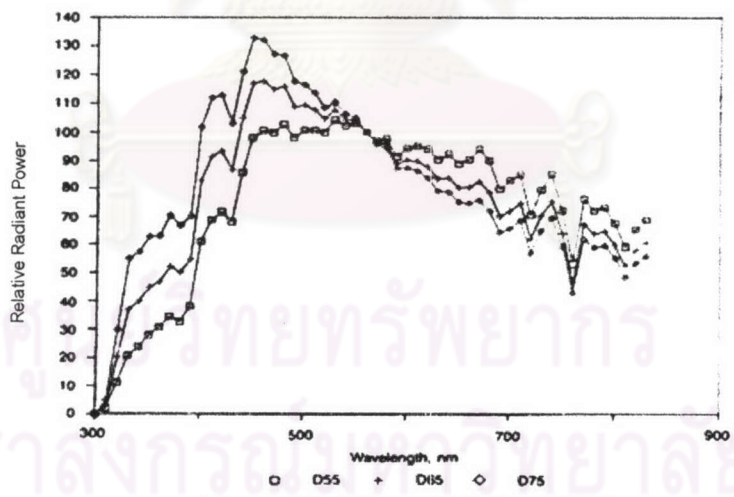
แสงธรรมชาติจากพื้นดิน

การสะท้อนของแสงจากพื้นดินนับว่ามีความสำคัญ สำหรับการออกแบบอาคารด้วยแสงธรรมชาติ แสงที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดของอาคารนั้น จะมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 - 15 ของปริมาณแสงทั้งหมดที่ผ่านช่องเปิดของอาคาร ซึ่งปริมาณแสงสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดอาคาร จะมากหรือน้อยตามลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนแสง หากพื้นผิวเป็นหิมะ หรือทราย หรือพื้นผิวที่มีสีขาวหรือสีอ่อน ปริมาณของแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคารก็จะมากขึ้นกว่าค่าเฉลี่ยปกติ

หากปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร มีมากเกินความจำเป็นต่อการใช้งานก็อาจจะควบคุมปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านเข้าสู่อาคารด้วยอุปกรณ์บังแดดชนิดต่างๆ ตามความจำเป็น

2.5.2 **การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน** การคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆนั้น จะมีความยุ่งยากในการคำนวณมากกว่าการคำนวณแสงที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ การกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติที่ตกกระทบช่องเปิด (Window and Skylight) จะต้องคำนึงถึงช่วงเวลาต่างๆ ของท้องฟ้า และดวงอาทิตย์ในการคำนวณด้วย ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์ และแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร

ส่วนของการใช้งานแสงธรรมชาตินั้นจะกล่าวถึงปริมาณของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ ณ. ตำแหน่งต่างๆ ของวัน เวลา และสภาพท้องฟ้าในขณะนั้นๆ ซึ่งการศึกษาทางด้านแสงธรรมชาติ ได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลอย่างจริงจังมามากกว่า 60 ปีแล้ว และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ก็สามารถนำมาพยากรณ์ และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่ออธิบายถึงความสว่างจากแสงธรรมชาติได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 2 - 14 สเปกตรัมที่มาจากของรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีความยาวคลื่นต่างกันสามลักษณะ

(Daylighting, Daylight Sources and Availability, 2000)

การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน จะต้องศึกษาถึงข้อมูลและองค์ประกอบต่างๆ ที่อธิบายในข้างต้น ซึ่งในการคำนวณนั้น จะไม่สามารถอธิบายลักษณะของปริมาณแสง และความเข้มของแสงได้อย่างแม่นยำ แต่ค่าที่ได้จะเป็นค่ากลาง เนื่องจากเกณฑ์ในการคำนวณจะให้ผลของการคำนวณอย่างคร่าวๆ ซึ่งในความเป็นจริงค่าความ

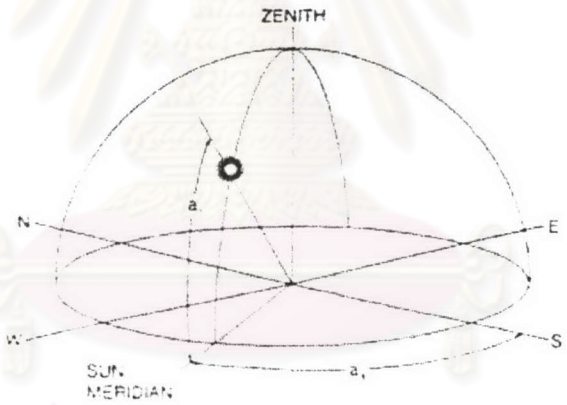
ส่องสว่างที่วัดจริงในช่วงเลานั้นๆ จะแตกต่างจากค่าที่คำนวณตามข้อกำหนดต่างๆ ของการนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน อย่างไรก็ตามค่าที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาขณะนั้น จะมีค่าเฉลี่ยมากกว่าสองเท่า หรือน้อยกว่าครึ่งของค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการออกแบบ

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 ที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นมุมเรเดียน (Radian) ที่อธิบายถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2 - 15 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อัลติจูด (a $_{a}$, altitude) **และมุมอะซิมุท** (a $_{z}$, azimuth)
(Daylighting, Daylight Sources and Availability, 2000)

2.6.1 **ตำแหน่งของที่ตั้ง** ตำแหน่งและที่ตั้งของบริเวณที่จะศึกษานั้น จะถูกกำหนดขึ้นจาก เส้นรุ้ง (Longitude, l) และเส้นแวง (Latitude, L) ที่มีอยู่ และ ตำแหน่งของเส้นรุ้งและเส้นแวงของจังหวัดที่สำคัญ ในประเทศจะแสดงได้ดังตารางที่ 2 – 2 ดังนี้

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

เมือง / จังหวัด	**ละติจูด** (Latitude) **องศา-ฟิลิปดา**	**ลองติจูด** (Longitude) **องศา-ฟิลิปดา**
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	8° 25'	99° 58'
สงขลา	7° 11'	100° 37'
ภูเก็ต	7° 58'	98° 24'

ตารางที่ 2 - 2 แสดงที่ตั้งของจังหวัดต่าง ๆที่สำคัญ ในประเทศไทยของแต่ละภูมิภาค ตามแนวละติจูด และลองติจูด
(เอกสารฝ่ายวิจัยการก่อสร้าง (Building Research Department), หน้า 47 – 48)

2.6.2 **ตำแหน่งของดวงอาทิตย์** (Solar Position) ตำแหน่งและทิศทางต่างๆ ของดวงอาทิตย์จะถูกกำหนดโดยมุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude and Solar Azimuth) ซึ่งจากลักษณะของมุมทั้งสองอิงกับ เส้นแวง ณ บริเวณนั้น เวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar Declination) โดยแนวการเคลื่อนของดวงอาทิตย์ (Solar Declination) จะประมาณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\delta = 0.4093 \sin (2\pi (J - 81) / 368) \quad \text{..... (2.7)}$$

เมื่อ δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Declination in rad)

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

สมการของมุมละติจูด อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a_t = \arcsin (\sin l \sin\delta - \cos l \cos\delta \cos (\pi t/12)) \quad \text{..... (2.8)}$$

เมื่อ a_t = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Altitude in Radian)

l = ตำแหน่งละติจูด หน่วยเรเดียน (Site Latitude in Radian)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar Declination in Radian)

t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar Time in Decimal Hours)

มุมของ Solar Altitude จะมีค่าของมุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง $\pi/2$ ถ้าทิศทางของดวงอาทิตย์อยู่ต่ำกว่าแนวระดับหรือเกินกว่า $\pi/2$ จะให้ค่าเป็นลบ สมการของมุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth) อธิบายได้ดังนี้ คือ

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

เมื่อ a_s = ระดับมุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Azimuth in Radian)

l = ตำแหน่งของมุมละติจูด หน่วยเรเดียน (Site Latitude in radian)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar Declination in Radian)

τ = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar Time in Decimal Hours)

มุมอะซิมุท (Azimuth) จะเริ่มจากศูนย์องศาในแนวของทิศใต้ และหมุนตามเข็มนาฬิกาเรื่อยไปจนถึงทิศเหนือเป็นระยะทาง และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงข้ามเมื่อเริ่มจากศูนย์องศาในแนวทิศใต้หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางเหนือผ่านทิศตะวันออกเป็นระยะทาง จะให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบ ในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่างๆนั้น จะต้องมีการคำนวณถึงแสงธรรมชาติบนพื้นผิวแนวตั้งเสมอ เช่นหน้าต่าง หรือผนังอาคาร ดังนั้นมุมอะซิมุทที่เกิดขึ้นจะเป็นมุมในแนวนอนระหว่างมุมที่อ้างถึง (ศูนย์องศาทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดขึ้นจริงของผนังที่ตั้งฉากนั้นๆ

มุมอะซิมุท ของดวงอาทิตย์ เมื่อตกกระทบกับผนัง หรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ จะพิจารณามุมอะซิมุท ได้จากสมการดังนี้

$$a_z = a_s - a_e \quad \text{.....(2.10)}$$

เมื่อ a_z = ระดับมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation Azimuth in Radian)

a_s = มุมอะซิมุท หน่วยเรเดียน (Solar Azimuth in Radian)

a_e = ความสูงมุมอะซิมุท หน่วยเรเดียน (Elevation Azimuth in Radian)

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ จะเป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่าง แนวระนาบปกติ กับมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$a_i = \arccos (\cos a_t / \cos a_z) \quad \text{.....2.11)}$$

เมื่อ a_i = ค่ามุมอาร์คคอร์ส , Arccos(cos a_t / cos a_z)

a_i = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident Angle in Radian)

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude in Radian)

a_z = ระดับของมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation Azimuth in Radian)

มุม Profile angle เป็นมุมที่เกิดขึ้นจริงของมุมอัลติจูด ในแนวตั้ง และพิจารณาได้จากสองสมการ ดังนี้

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

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

เมื่อ a_p = มุมโพรไฟล์ หน่วยเรเดียน (Profile Angle in Radian)

a_t = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Solar Altitude in Radian)

a_i = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Incident Angle in Radian)

a_z = ระดับของมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation Azimuth in Radian)

2. 7 การแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์

สำหรับจุดมุ่งหมายโดยทั่วไป ในการคำนวณแสงธรรมชาติ จะพิจารณาให้ดวงอาทิตย์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างคงที่ ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามวงโคจรของโลก ค่าความส่องสว่างคงที่ของดวงอาทิตย์ หมายถึงผลรวมของค่าความส่องสว่าง โดยปกติที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวหนึ่งๆ บนโลกตามระยะทางระหว่างโลก และดวงอาทิตย์

$$Esc = Km \int_{380}^{770} G_\lambda V_\lambda d_\lambda \quad \text{.....(2.14)}$$

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/m2 (126 W/ft2)

ประสิทธิผลความสว่างดวงอาทิตย์ (Solar Luminous Efficacy) : 94.2 lm/W

การพิจารณาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงสู่พื้นผิวโลก จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์ ดังนี้

- ระยะทางที่แตกต่างระหว่างดวงอาทิตย์ และพื้นผิวโลกที่เกิดจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
- ผลกระทบของแสงธรรมชาติ จากการส่องผ่านบรรยากาศของโลกในชั้นต่างๆ

ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial solar illuminance) จะมีความสัมพันธ์กับวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนี้

$$E_{xt} = E_{sc} (1 + 0.034\cos (2\P (J - 2) / 365)) \quad \text{..... (2.15)}$$

เมื่อ E_{xt} = ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลก หน่วยเป็น กิโลลักซ์ (klx)

E_{sc} = ค่าคงที่ของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

J = วันตามวงโคจรของโลก (Julian date)

เมื่อปริมาณแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ ส่องผ่านบรรยากาศของโลกในชั้นต่างๆ จะมีผลทำให้ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ มีค่าความสว่างน้อยลง ซึ่งความสว่างของดวงอาทิตย์ ณ.ระดับน้ำทะเล (Edn) จะมีค่าความสัมพันธ์กับความสว่างของแสงอาทิตย์ในระบบสุริยะ ดังนี้

$$E_{dn} = E_{xt} e^{-cm} \quad \text{..... (2.16)}$$

เมื่อ E_{dn} = ค่าความส่องสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล หน่วยเป็น klx

E_{xt} = ค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในระบบสุริยะ หน่วยเป็น klx

C = สัมประสิทธิ์ของท้องฟ้าในแต่ละประเภท

m = ค่ามวลอากาศ (Optical Air Mass, Dimensionless)

e = ค่าคงที่ (2.71828182846)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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; $E_{dn} = 0$

ค่าของ Optical Air Mass ที่ใช้ในการคำนวณ เท่ากับ

$$m = 1 / \sin a_t \quad \text{..... (2.17)}$$

เมื่อ m = ค่ามวลอากาศ (Optical Air Mass, Dimensionless)

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude in Radian)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวราบ (Direct Horizontal Solar Illuminance) จะมีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$E_{dh} = E_{dn} \sin a_t \quad \text{..... (2.18)}$$

เมื่อ E_{dh} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวราบ (Direct horizontal solar illumination) หน่วยกิโลลักซ์

E_{dn} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล (Direct normal solar illuminance) หน่วยกิโลลักซ์

a_t = มุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวตั้ง (Direct Vertical Solar Illumination) จะมีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$E_{dv} = E_{dn} \cos a_i \quad \text{..... (2.19)}$$

เมื่อ E_{dv} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวตั้ง (Direct vertical solar illuminance) หน่วยกิโลลักซ์

E_{dn} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล (direct normal solar illuminance) หน่วยกิโลลักซ์

a_i = มุมตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. 8 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า

วิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า จะจำแนกออกตามวิธีการ ได้สองวิธีการคือ

2.8.1. **การจำแนกท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของท้องฟ้า** (The Sky Ratio Method) เป็นการแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณรังสีตกกระทบของท้องฟ้าบนพื้นราบ (Horizontal Sky Irradiance) ต่อปริมาณรังสีตกกระทบบนพื้นราบทั้งหมด (Global Horizontal Irradiance) ดังนั้นหากสัดส่วนของการจำแนกท้องฟ้าเท่ากับ 1.0 แสดงว่ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์จะเท่ากับศูนย์ แต่การแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธีการนี้ จะมีความคลาดเคลื่อนถ้ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์มีค่าต่ำมากๆ

การจำแนกประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธี Sky Ratio Method จะแบ่งประเภทของท้องฟ้าออกตามอัตราส่วนต่างๆได้ 3 ลักษณะคือ

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear)	: Sky Ratio $\leq$ 0.3
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy)	: 0.3 < sky Ratio < 0.8
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy)	: Sky Ratio $\geq$ 0.8

2.8.2. **การจำแนกท้องฟ้าด้วยองค์ประกอบที่ปกคลุมท้องฟ้า** (The Sky Cover Method) เป็นวิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า โดยการประมาณปริมาณก้อนเมฆ ที่ปกคลุมท้องฟ้า มีมาตราส่วนในการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 10 (0 หมายถึง ท้องฟ้าปราศจากเมฆปกคลุม, 10 หมายถึง ท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมมาก) และจำแนกลักษณะของท้องฟ้าออกเป็นลักษณะตามปริมาณของก้อนเมฆได้ดังนี้

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear)	: 0 - 3
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy)	: 4 - 7
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy)	: 8 - 10

ค่าความสว่างในแนวราบของท้องฟ้า และมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ จะแสดงความสัมพันธ์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกันในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$E_{kh} = A + B \sin^{C} a_t \quad \text{..... (2.20)}$$

เมื่อ E_{kh} = ค่าความส่องสว่างในแนวราบของท้องฟ้าที่ปราศจากสิ่งปกคลุม หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

A = ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ขณะดวงอาทิตย์ขึ้น และดวงอาทิตย์ตก หน่วยกิโลลักซ์ (klx)

B = ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

C = ค่าเอกซ์โปเนนท์เชียล ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

a_t = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

โดยรูปแบบของสมการในข้างต้นจะใช้ได้กับลักษณะของท้องฟ้าทั้งสามประเภท แต่จะมีความแตกต่างกันบ้างตามตัวแปรคงที่บางตัวที่จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของท้องฟ้า ซึ่งจะทำให้สมการ และค่าความส่องสว่างที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีข้อพิจารณาดังนี้

- ค่าความส่องสว่างของแสงจะมีความกระจายมากหรือน้อย ตามค่าความส่องสว่างที่มุมเซนิท (Zenith Illuminance) ของท้องฟ้า
- ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท

วิธีการ ที่ใช้ในการคำนวณ ค่าความสว่างที่เซนิท จากความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ จะขึ้นกับค่าความสว่างของท้องฟ้าท้องฟ้าที่มุมเซนิท ตามสมการ

$$L_z = E_{kh}\, ZL \qquad \text{..... (2.21)}$$

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

E_{kh} = ค่าความสว่างในแนวราบที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง จากสมการ $E_{kh} = A + B \sin^{C} a_t$

ZL = ค่าความสว่างที่เซนิท (Zenith illuminance factor) ในตำแหน่งที่ละติจูดเดียวกับ E_{kh} หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)

ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิทที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับลักษณะของชั้นบรรยากาศ และแสดงรายละเอียดต่างๆ ของค่าความสว่างที่เซนิท ได้จากตารางต่อไปนี้

Solar Altitude (Degree)	Clear sky ZL	Partly Cloudy sky ZL
90	1.034	0.637
85	0.825	0.567
80	0.664	0.501
75	0.541	0.457
70	0.445	0.413
65	0.371	0.375
60	0.314	0.343
55	0.269	0.315
50	0.234	0.292

ตารางที่ 2 - 3 ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท (Sky zenith illuminance) **สำหรับท้องฟ้าในลักษณะ** Overcast sky, ZL = 0.409 **ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์**

(Daylighting, Daylight Sources and Availability, 2000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Solar Altitude (Degree)	Clear sky ZL	Partly Cloudy sky ZL
45	0.206	0.272
40	0.185	0.255
35	0.169	0.241
30	0.156	0.230
25	0.148	0.221
20	0.142	0.214
15	0.139	0.209
10	0.139	0.205
5	0.140	0.202
0	0.144	0.201

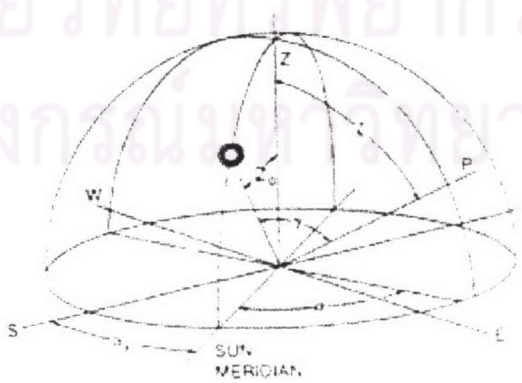
ตารางที่ 2 - 4 (ต่อ) ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท (Sky zenith illuminance) **สำหรับท้องฟ้าในลักษณะ** Overcast sky, ZL = 0.409 **ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์**

(Daylighting, Daylight Sources and Availability, 2000)

ความสัมพันธ์ของมุมต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดค่าความสว่างของท้องฟ้าจะแสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ จะมีความสัมพันธ์กับมุมเซนิทที่ศูนย์องศา และมุมเซนิทที่ศูนย์องศาจะหาได้จากสูตร

$$Z_0 = \P / 2 - a_t \quad \text{..... (2.22)}$$

ตำแหน่งที่จุด P จากรูป จะแสดงตำแหน่งของท้องฟ้าที่ต้องการคำนวณความสว่าง ซึ่งจะประกอบด้วยมุม ζ ของเซนิท (หน่วยเป็น rad) และมุม α เป็นมุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2 - 16 ค่าของมุมต่าง ๆ มีใช้ในสมการ

(Daylighting, Daylight Sources and Availability, 2000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) ของท้องมาตราฐาน (CIE)

$$L_{\zeta,\alpha} = \frac{Lz \quad (0.91 + 10e^{-3\gamma} + 0.45\cos^2\gamma)(1-e^{-0.32/\cos\zeta})}{(0.91 + 10e^{-3Zo} + 0.45\cos^2 Zo)(1-e^{-0.32})} \quad \text{..... (2.23)}$$

เมื่อ $L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่ง P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลมที่เกิดจาก คอร์ดติเนต (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)

Zo = มุมเซนิทของดวงอาทิตย์ (Zenithal sun) หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ของมุม γ จะกำหนดขึ้นจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของจุด P บนท้องฟ้า

$$\gamma = \arccos(\cos Zo \cos\zeta + \sin Zo \sin\zeta \cos\alpha) \quad \text{..... (2.24)}$$

สมการสำหรับท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จะมีความคล้ายคลึงกับสมการความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง แต่จะแตกต่างกันเฉพาะค่าคงที่บางตัวของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน

$$L_{\zeta,\alpha} = \frac{Lz \quad (0.526 + 5e^{-1.5\gamma})(1-e^{-0.80/\cos\gamma})}{(0.526 + 5e\text{-}1.5Zo)+(1-e^{-0.80})} \quad \text{..... (2.25)}$$

สมการสำหรับท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)

$$L_{\zeta,\alpha} = Lz \left(\left(\frac{0.864 \; e^{-0.52/\cos\zeta}}{e^{-0.52}} + 0.136 \left(\frac{1 - e^{-0.82/\cos\zeta}}{1 - e^{-0.52}} \right) \right) \right) \quad \text{..... (2.26)}$$

จากรูปแบบของสมการของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky) จะมีการแบ่งสมการออกเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นความสว่างที่กระจายตัวจากก้อนเมฆ และส่วนที่สองจะเป็นความสว่างของแสงในชั้นบรรยากาศระหว่างชั้นล่างสุดของเมฆ และพื้นดิน ซึ่งสมการดังกล่าวจากการเก็บข้อมูลทำให้สามารถสรุปรูปแบบของสมการ (Mark–Spencer) ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบที่ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้น ได้ดังนี้

$$L_{\zeta,\alpha} = (Lz/3)(1 + 2\cos\zeta) \quad \text{..... (2.27)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ $L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดของมุม ζ และมุม α หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

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

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

สมการความสว่างของท้องฟ้าบนพื้นระนาบ จากการดิฟเฟอร์เรน (Differential) องค์ประกอบของท้องฟ้า จะได้สมการต่างๆ ของท้องฟ้าในประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

$$dE_{kh} = L_{\zeta,\alpha} \cos\zeta \, d\omega = L_{\zeta,\alpha} \cos\zeta \sin\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{..... (2.28)}$$

เมื่อ E_{kh} = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวแนวระนาบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดของมุม ζ และมุม α หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

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

ζ = มุมเซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

พิกัดของมุมต่างๆ ในสมการจะอิงจากท้องฟ้าในแบบครึ่งวงกลม และหาก Integrated สมการข้างต้น จะได้สมการของความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ

$$E_{kh} = 1/\pi \int\int L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta \cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{..... (2.29)}$$

เมื่อ E_{kh} = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวแนวระนาบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดของมุม ζ และมุม α หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

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

ζ = มุม เซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

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

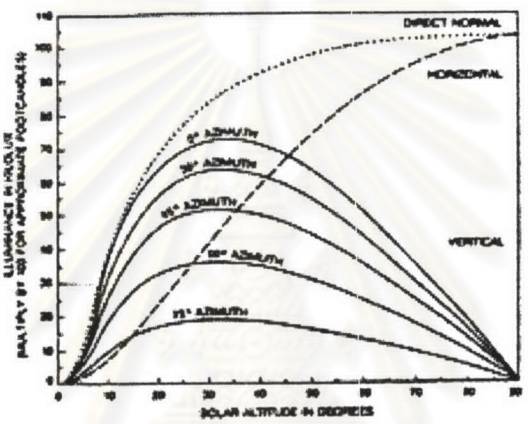
สมการแสดงค่าความสว่างของพื้นแนวระนาบ

$$Ekh = 1/\pi \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta \cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{..... (2.30)}$$

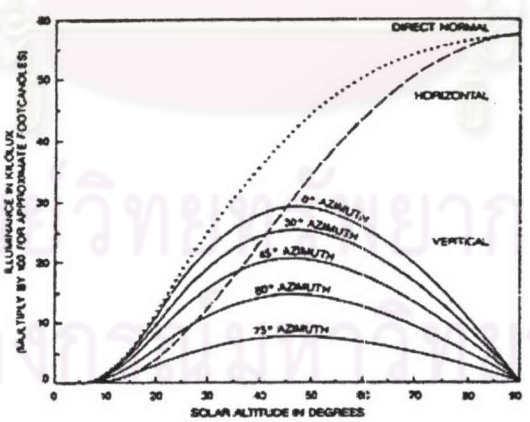
สมการแสดงค่าความสว่างของพื้นแนวระนาบตั้ง

$$Ekv = 1/\pi \int_{az+\pi/2}^{az+\pi/2} \int_0^{\pi/2} L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta \cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{..... (2.31)}$$

สมการ Ekh และ Ekv จะเป็นการคำนวณค่าความสว่างของแสงด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differentials) และดีสครีต (Discrete) เพื่อหาตำแหน่งของความสว่าง ณ. ตำแหน่งที่ต้องการบนระนาบพื้นราบแนวนอน และแนวตั้งที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งค่าความสว่างของท้องฟ้าที่คำนวณได้จากสมการ จะสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟในท้องฟ้าแต่ละประเภทได้ดังนี้



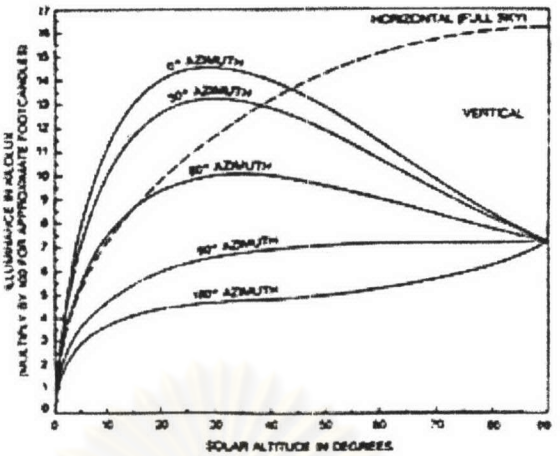
a) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



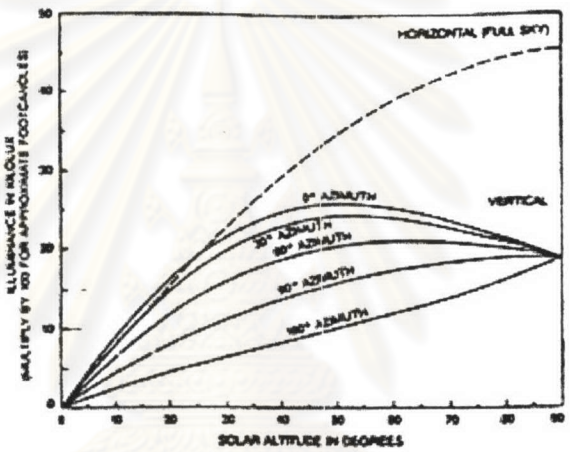
b) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

ภาพที่ 2 - 17 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูด และ มุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์

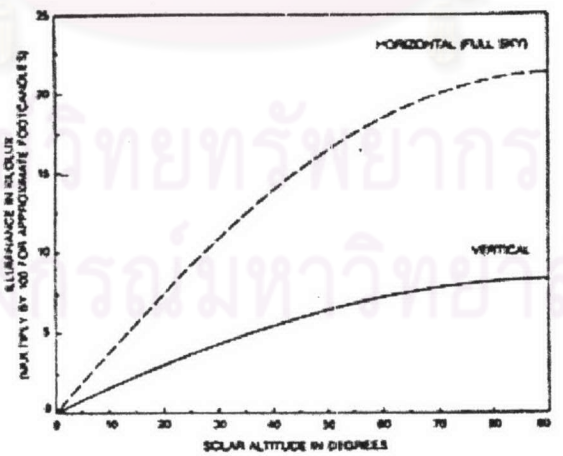
(IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building, 2002: 713)



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



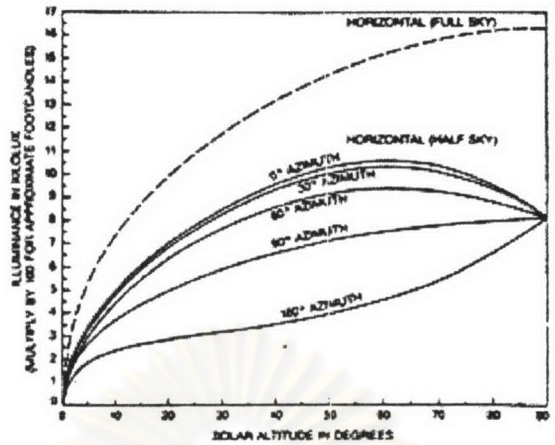
(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



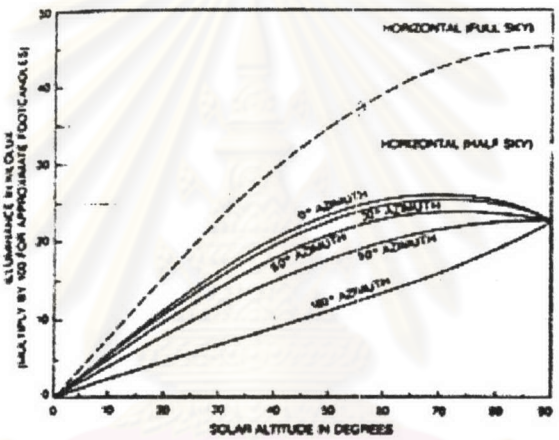
(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

ภาพที่ 2 - 18 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบตั้ง ตามมุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์

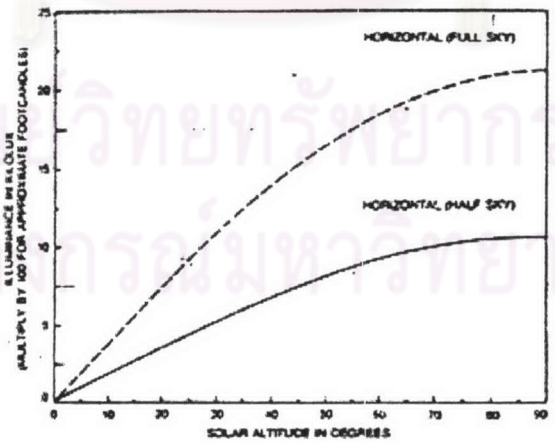
(IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building, 2002: 714)



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

ภาพที่ 2 - 19 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบนอน ในแต่ละมุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์

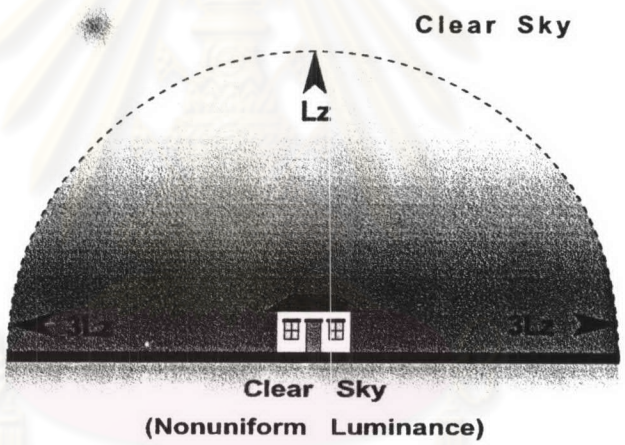
(IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building, 2002: 715)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. 9 **สภาพท้องฟ้า** (Sky Condition)

เมื่อพิจารณาการแบ่งประเภทของท้องฟ้า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ซึ่งมีดัชนีของปริมาณเมฆในท้องฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 10 การแบ่งประเภทของท้องฟ้า จะมีวิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทของท้องฟ้าหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือการแบ่งประเภทของท้องฟ้าจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า

2.9.1 **สภาพท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุม** (Clear Sky) ความสว่างของท้องฟ้าจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ความสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง (Direct sun) และความสว่างของแสงจากการกระจายแสง (Diffuse Illuminance) ของท้องฟ้า โดยองค์ประกอบทั้งสองนี้ จะแปรผันตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altiude) เป็นหลัก (Prof. Kittler, 1981) ความสว่างของท้องฟ้าจะมีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งที่ระดับสูงสุดของท้องฟ้าจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าที่ระนาบล่างของท้องฟ้า โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้น เป็น 3 เท่าที่ระดับระนาบล่างสุดของท้องฟ้า และท้องฟ้าประเภทนี้จะมีความสว่างสูงสุด ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และมีความส่องสว่างต่ำสุดที่ตำแหน่งตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ (Prof. Hopkinson and Prof. Moon, 1968)



ภาพที่ 2 - 20 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky
(Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 974)

จากการที่ความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง มีความแปรผันตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์เหนือแนวระนาบ ดังนั้นสมการที่ในการคำนวณจะหาได้จาก

$$L_A = L_Z (1 + 2 \sin A) / 3 \quad \text{..... (2.32)}$$

เมื่อ L_A = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่งมุม A องศาเหนือแนวระนาบของดวงอาทิตย์

L_Z = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุด

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

I 21594557

จากองค์ประกอบของท้องฟ้าที่ประกอบด้วยแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun Illuminance) และแสงอาทิตย์กระจาย (Diffuse Sun Illuminance) ซึ่งสมการจะมีลักษณะดังนี้

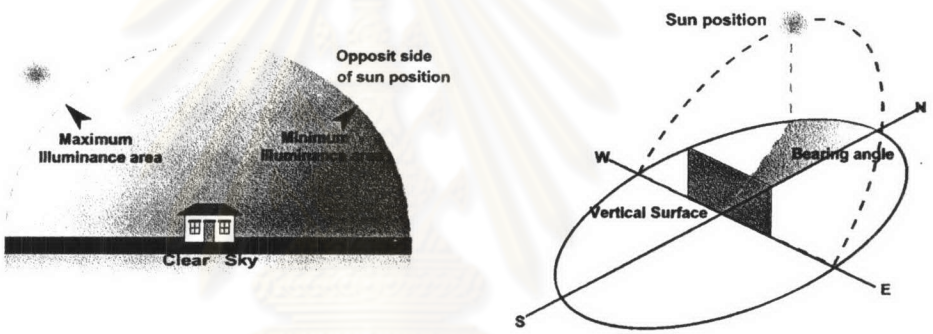
กรณีความสว่างของท้องฟ้าจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

$$Eh = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \quad \ldots\ldots (2.33)$$

กรณีความสว่างของท้องฟ้าจากแสงกระจายของท้องฟ้า

$$Eh = 1345 + 14{,}795 \sin A \text{ (lux)} \quad \ldots\ldots (2.34)$$

หากพิจารณาแสงกระจายจากท้องฟ้าเพียงครึ่งระนาบของท้องฟ้า จะมีความสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล (เฉลี่ยที่ 1,000 ฟุตแคนเดิล)



ภาพที่ 2 - 21 รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริ่ง (Bearing Angle)
(Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 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 และสะท้อนไปมาระหว่างก้อนเมฆ (Prof. Nakamura and Prof. Oki, 1983) สามารถอธิบายลักษณะของท้องฟ้าที่เมฆปกคลุมบางส่วนและเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570 A \quad \ldots\ldots (2.35)$$

เมื่อ E_{HP} = ความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ มีหน่วยเป็นกิโลลักซ์

A = มุมอัลติจูด (Solar Altitude) ของดวงอาทิตย์

ถึงแม้ว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนจะให้ปริมาณของแสงมากกว่าท้องฟ้าโปร่ง แต่ในบางกรณีหากกลุ่มเมฆที่เกิดขึ้นเป็นเมฆฝน หรือมีสีดำทึบก็อาจทำให้แสงถูกกั้น หรือถูกดูดซึมมากกว่าที่จะสะท้อน หรือเกิดการกระจายของแสง ทำให้ค่าความสว่างของท้องฟ้ามีค่าลดลง และจากการศึกษาโดยอาศัยดัชนีเมฆ หรือ Cloudy Ratio (The Gillete prediction model, 1985) มาพิจารณาหาความสัมพันธ์ของการส่องสว่างของท้องฟ้าที่เกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงกระจายจากท้องฟ้า จะมีความสัมพันธ์กันของความสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$E_H = 0.35\,E_s + 0.89\,E_c \quad \text{..... (2.36)}$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)

E_s = ความส่องสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

E_c = ความส่องสว่างที่ได้จากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์

2.9.3 **สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแสงจากดวงอาทิตย์** (Overcast Sky หรือ CIE Sky) ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้าในแถบสแกนดิเนเวียน (Scandinavia) และตอนเหนือของมหา สมุทรแปซิฟิก เช่นประเทศอังกฤษ ความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก (Non-uniform Brightness Distribution) โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากระนาบพื้น (Horizon-Brightness) ความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับสูงสุดของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าความสว่างที่ระนาบพื้นประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดใดๆ จะพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณาจากมุมอัลซิมุทของดวงอาทิตย์ โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

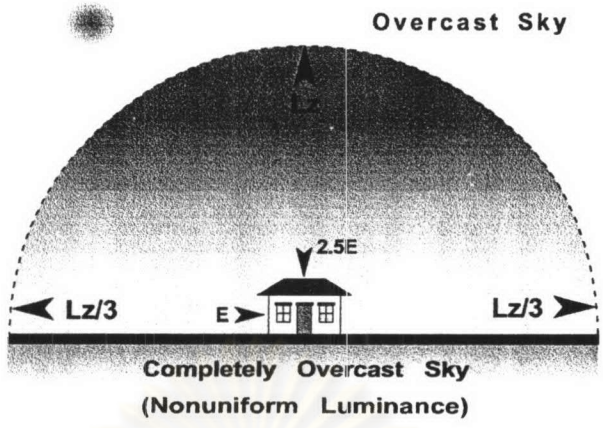
$$L_A = L_Z\,(1 + 2 \sin A) / 3 \quad \text{..... (2.37)}$$

เมื่อ L_A = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือระดับในแนวระนาบ (Horizon) ในทุกๆทิศทาง

L_Z = ความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับสูงสุด ที่ระดับเซนิท (Zenith)

ดังนั้นความสว่าง ณ. ตำแหน่งในแนวระนาบ หรือที่มุม A = 0 องศา จะมีความสว่างมากกว่าเพียงหนึ่งในสามของความสว่างที่ระดับสูงสุด $L_A = L_z / 3$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2 - 22 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky

(Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 974)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ จะแปรเปลี่ยนไปตามมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ก็ยังมีท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบในอีกลักษณะหนึ่งที่มีความสว่างของท้องฟ้าที่เท่ากันทั่วทั้งท้องฟ้าและทุกระดับความสูง (Uniform-Brightness) ซึ่งจะมีความใกล้เคียงกับท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่ (Uniform Sky) (เป็นท้องฟ้าในอุดมคติที่จะมีความสว่างของท้องฟ้าเท่ากันทุกจุด) โดยความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบจะมีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง (Prof. Krochman, 1993) จะอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.38)$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)

A = มุมอัลติจูลดวงอาทิตย์

2. 10 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร นับว่าเป็นการนำแสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาใช้งาน เพราะแสงธรรมชาตินั้น เป็นแสงที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ การใช้แสงธรรมชาติจึงเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และภาระการทำความเย็นในอาคารได้อีกส่วนหนึ่ง แต่ถ้าไม่สามารถควบคุมแสงธรรมชาติที่จะนำมาใช้กับอาคารได้ ก็อาจจะทำให้แสงที่เข้ามานั้นมีความจ้ามากเกินไปจนเกิดเป็นแสงบาดตา (Glare) ได้ นอกจากนี้ยังนำมาซึ่งความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างเหมาะสม จึงเป็นเรื่องที่สถาปนิกควรให้ความสำคัญควบคู่ไปกับความงามทางสถาปัตยกรรม

การให้แสงธรรมชาติกับอาคาร แสงธรรมชาติสามารถนำเข้ามาภายในอาคารได้ 2 วิธีหลักๆ คือ แสงที่มาจากด้านข้าง (Side Lighting) และแสงที่มาจากด้านบน (Top Lighting) โดยแสงที่มาจากด้านบนนั้น ถือว่าเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแสงที่มาจากด้านข้าง ในแง่ของการให้ความสว่างภายในอาคาร นอกจากนั้นอาจ

มีการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่าง โดยใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น Light Pipe และ Light Shelf เป็นต้น สิ่งที่ควรระวัง คือ แสงธรรมชาติของประเทศไทยจะมีความเข้มของการส่องสว่างสูง ดังนั้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ก็จะมีความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคารด้วย จึงไม่ควรนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้โดยตรง แต่นำเข้ามาในทางอ้อม หรือที่เรียกว่า Indirect Light เท่านั้น คือ ให้แสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อน หรือหักเหก่อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร

การกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกอาคารที่มีต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร ซึ่งมีลักษณะการแปรผันคล้อยตามกัน (แปรผันตรง) โดยทั่วไปวิธีการคำนวณจะมีหลายวิธี ตามลักษณะของเทคนิคในการคำนวณที่แตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณที่เป็นที่นิยมใช้ทั่วไป จะแยกได้เป็น 2 วิธีการหลัก คือ

1. Lumen Transfer Method
2. Daylight Factor Method

ซึ่งการศึกษาวิธีการทั้งสองแบบนั้น จะแยกกล่าวดังนี้

2.10.1 **Lumen Transfer Method** หรือเรียกว่า Lumen Input Method หรือ Total Flux Method ตามลักษณะของพื้นฐานของการคำนวณ ในการหาค่าความส่องสว่างในแต่ละจุด (Station Point, SP) ภายในอาคาร วิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Method) ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกที่มหาวิทยาลัย Southern Methodist University สหรัฐอเมริกา ในปี คศ. 1953 และถูกพัฒนาต่อมาในปี 1956 โดยในหลักการของวิธีการดังกล่าวจะเป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ.จุดใดจุดหนึ่ง ในแต่ละระยะความลึกที่กำหนดภายในอาคารนั้น อันเนื่องมาจากปริมาณของแสงสว่างภายนอกที่กระทำกับช่องเปิด หรือช่องแสงต่างๆ เข้ามาภายในอาคาร

การพิจารณาด้วยวิธีการแบบลูเมนนั้น จะสามารถพิจารณาถึงปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารเป็นลักษณะของแต่ละตำแหน่งต่างๆ ภายในอาคารที่ระดับการทำงานปกติ (Working Plane) ประมาณ 2.5 ฟุต (feet) หรือ 0.75 เมตร (m.) เนื่องจากที่ระดับความสูงอื่นๆ จะไม่มีผลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณมากนักและจุดต่างๆ ที่กำหนดจะแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ จำนวน 3 - 5 จุด ที่ใช้ในการอ้างถึงระดับของปริมาณความส่องสว่างภายในห้อง ที่ตั้งตรงในแนวตั้งฉากจากเส้นกลางของช่องแสงหรือช่องเปิด โดยมีการกำหนดจุดต่างๆ เรียงตามลำดับได้ดังนี้

จุดที่ใกล้กับหน้าต่างมากที่สุด กำหนดให้เป็น

SP, max คือตำแหน่งที่อยู่ห่างจากช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุต หรือ ร้อยละ 10 ของความยาวห้อง ที่ระดับความสูงทำงานปกติ (Working Plane) 0.75 เมตร

SP, mid คือตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของห้อง ที่ระดับความสูงทำงาน (Working plane)

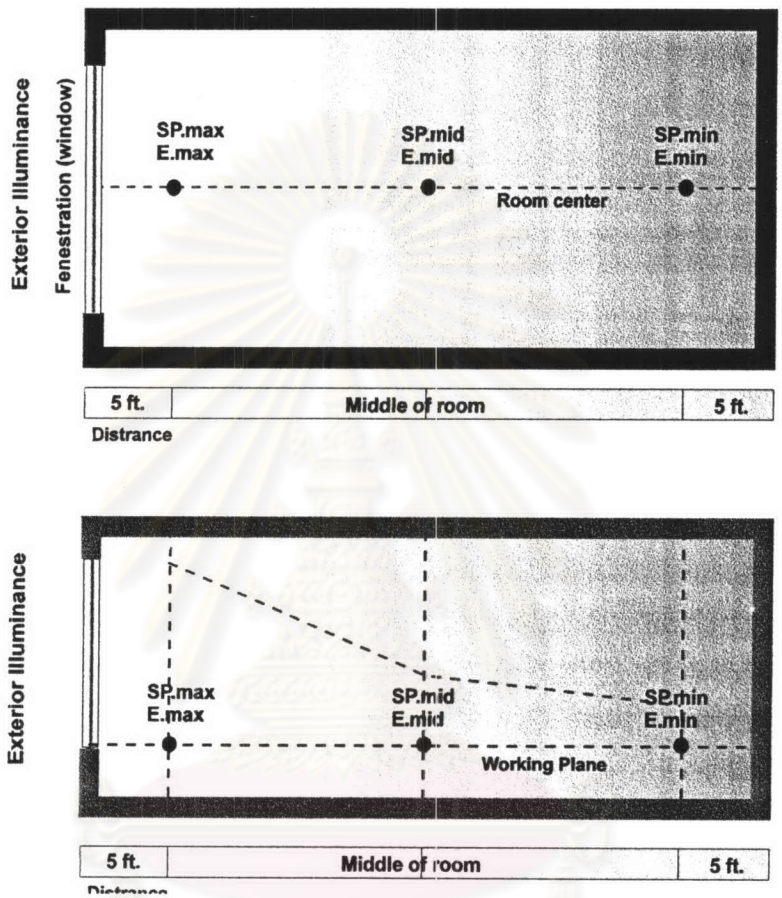
SP, min คือตำแหน่งที่จุดสุดท้าย หรือจุดที่ห่างจากผนังห้องด้านในสุด เข้ามา 5 ฟุต หรือ ร้อยละ 10 จากผนังด้านลึกของห้อง หรือระยะร้อยละ 90 จากช่องแสง

โดยที่ค่าความส่องสว่างที่ได้จากจุดดังกล่าวทั้ง 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



ภาพที่ 2 - 23 ความส่องสว่างที่ระยะความลึกต่าง ๆ ของห้องด้วยวิธีการคำนวณแบบ Lumen Method
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 38)

ตัวแปรที่สำคัญในการพิจารณาถึงปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้าสู่อาคาร ด้วยวิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Transfer Method) จะประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

ก. ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดเหนือระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรของแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และท้องฟ้าที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสง ได้แก่

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

ข. ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดต่ำกว่าระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบ ดังนี้

- ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง หรือท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบโดยที่กำหนดให้ $E_{GH,c}$ คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) $E_{GH,o}$ คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky)
- ค่าการสะท้อนแสงของดิน (ρ GR)

ค. ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร โดยพิจารณาจากตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

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

ง. ปริมาณแสงที่สามารถนำมาใช้งาน และการกระจายของแสงในระดับทำงาน (Working plane)

- การกระจายตัวของแสงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวของวัสดุภายในห้อง
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความสูงของช่องเปิด
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความยาว ต่อความสูงของห้อง

วิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Method) จะพิจารณาเฉพาะปริมาณของแสงสว่างที่ระดับทำงานเท่านั้น เนื่องจากระดับของช่องเปิดต่ำกว่า หรือเท่ากับระดับทำงาน จะมีผลต่อปริมาณแสงสว่างที่ระดับทำงานน้อยมาก ส่วนช่องเปิดที่อยู่เหนือระดับทำงานเท่านั้น ที่ถือว่าจะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างที่ระดับทำงาน และให้ถือว่าความกว้างของช่องแสง มีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีลูเมน มีสมการมาตราฐานในการการคำนวณ ดังนี้

$$Esp = (Ee)\,(Ag)\,(Tg)\,(CU) \quad \text{..... (2.39)}$$

เมื่อ Esp = ค่าระดับความส่องสว่าง ณ บริเวณจุดที่ต้องการพิจารณา (Station Point)

Ee = ค่าระดับความส่องสว่างของท้องฟ้า ณ ขณะที่พิจารณา

Ag = พื้นที่ของช่องเปิด ที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้

Tg = ค่าการส่องผ่านของแสง ของวัสดุช่องเปิด

CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) หรือค่าความสามารถในการนำแสงสว่างมาใช้งานภายในอาคาร

จากสมการข้างต้น ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า Ee ในความเป็นจริงจะประกอบไปด้วยค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าในแนวนอน (Eg) และแนวตั้ง (Es) ส่วน Ag และ Tg คือพื้นที่ของช่องเปิด และค่าการส่องทะลุผ่านของแสงของช่องเปิด ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU) สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ. จุดใดๆ ในห้องต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิด ซึ่งประกอบด้วยแสงที่เกิดจากท้องฟ้าและแสงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นดิน ดังนั้นค่า CU จะถูกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือองค์ประกอบของขนาดรูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของห้องในระดับระนาบที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และองค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้อง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย K

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

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

$$Esp = [(Esv)(Ag)(Tg)(Cs)(Ks)] + [(Egv)(Ag)(Tg)(Cg)(Kg)] \quad \text{..... (2.40)}$$

เมื่อ Cs , Cg = คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานตามความกว้าง, ยาว, ความสูงของห้อง และค่าการสะท้อนแสงของผนัง ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบของช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้าและพื้นดิน

Ks , Kg = คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน ตามความสูงฝ้าเพดาน และค่าการสะท้อนแสง ของผนังต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้า และพื้นดิน

Tg = ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของวัสดุช่องเปิด

Ag = พื้นที่สุทธิที่แสงส่องผ่านได้

เนื่องจากค่า C, K จะแปรผันตามขนาดของห้องหรืออาคาร ดังนั้นการหาระดับความส่องสว่างที่จุดใดๆ สามารถเทียบกับปริมาณแสงสว่างมาตราฐานที่ต้องการใช้งาน ทำให้ทราบว่า ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องมีแสงสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติเพียงพอหรือไม่ ซึ่งอาจต้องใช้แสงประดิษฐ์มาช่วยเสริมระดับความสว่างให้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยที่ค่า C และ K จะมีค่าคงที่ภายใต้สภาพท้องฟ้าหนึ่งๆ ดังนั้นในการพิจารณาค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง จะต้องพิจารณาถึงลักษณะสภาพของท้องฟ้าแต่ละสภาพ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

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

$$Es,o = Egv,o - [\, Egh,o * 0.1 \,] \quad \text{..... (2.41)}$$

$$Eg,o = Egh,o * 0.1 \quad \text{..... (2.42)}$$

โดยที่ Es,o คือ ค่าความสว่างจากท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

Egv,o คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน

Egh,o คือ ค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ

Eg,o คือ ค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดิน ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

ข. สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ปราศจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Clear sky without direct sunlight) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆปกคลุม แต่ไม่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงจากดวงอาทิตย์ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้า (Evk) และพื้นดิน (Evg) หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล

$$Es,c = E\,dv,c \quad \text{..... (2.43)}$$

$$Eg,c = Egh,c \quad \text{..... (2.44)}$$

โดยที่ Edv,c คือ ค่าความสว่างของแสงกระจายจากท้องฟ้าโปร่ง ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

Egh,c คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ

Eg,c คือ ค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

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

$$Es,c = Egv,c - [\, Egh,c * 0.1 \,] \quad \text{..... (2.45)}$$

โดยที่ กรณีนี้พิจารณาโดยถือว่ามีการป้องกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

Egh,c คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวระนาบ

Egv,o คือ ค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง

ง. สภาพท้องฟ้ามีค่าความสว่างคงที่ (Uniform Sky) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่มีการกระจายแสงที่ใกล้เคียงกันทั่วท้องฟ้า ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้า (Evk) และพื้นดิน (Evg) เป็นหน่วยฟุตแคนเดิล กรณีที่พิจารณาโดยถือว่ามีการป้องกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

$$E_{s,u} = E_{gu} \quad \text{..... (2.46)}$$

กรณีที่พิจารณาสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะหาได้จากสมการ

$$E_{s,u} = 0.5 * E_{gv} \quad \text{..... (2.47)}$$

2.10.2 **Daylight Factor Method** หรือ sky factor หรือ split flux method เป็นวิธีการคำนวณระดับความส่องสว่างภายในอาคารวิธีหนึ่ง ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากว่า 70 ปี โดยเฉพาะในประเทศอังกฤษ ได้มีการกำหนดกฎหมายที่เกี่ยวข้องที่อ้างอิงการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ และวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ ยังคงได้รับการพัฒนาวิธีการคำนวณ รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อการคำนวณ ให้มีการใช้งานที่เหมาะสม และสะดวกต่อการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามลำดับจนถึงปัจจุบัน

หลักการของเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight factor, DF) จะเป็นวิธีการที่กำหนดขึ้นจากอัตราส่วนเปรียบเทียบ ระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคารในระนาบพื้นผิว (Ei) ต่อค่าความส่องสว่างภายนอกของอาคาร (Ee) ในระนาบเดียวกัน โดยความสว่างที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่ง และทิศทางของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา โดยมีสมการมาตราฐานที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$DF_o = (Ei / Ee) \times 100 \quad \text{..... (2.48)}$$

$$DF\ (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน}}{\text{ความสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดดตรง)}} \times 100 \quad \text{..... (2.49)}$$

เมื่อลักษณะของท้องฟ้าใกล้เคียงลักษณะท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน

หาก DF มีค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ จะหมายความว่าค่าความส่องสว่างภายใน (Ei) ณ จุดนั้น (station point) จะมีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ของค่าความส่องสว่างจากภายนอก (Ee)

องค์ประกอบของวิธีการคำนวณแบบ Daylight Factor

การพิจารณาหาปริมาณความสว่างภายในอาคาร ที่ได้จากแสงธรรมชาติ ด้วยวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor, DF) จะเป็นวิธีการคำนวณที่เหมาะสำหรับพื้นที่ ที่มีขนาดใหญ่ โดยองค์ประกอบที่สำคัญมีดังนี้คือ

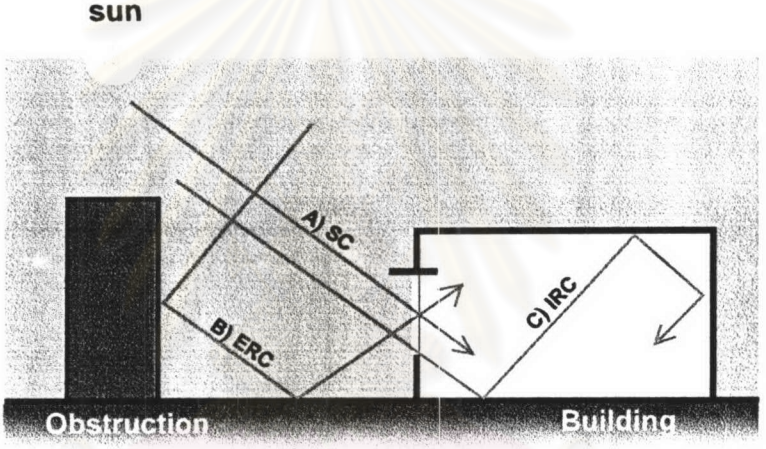
1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky Component)
2. องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (External Reflected Component)
3. องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายในอาคาร (Interior Reflected Component)

องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky Component, SC) จะเป็นแสงธรรมชาติภายนอกที่เข้าสู่อาคารโดยตรง โดยแสงธรรมชาติจะมีปริมาณความส่องสว่างที่มาก หรือน้อยตามสภาพของท้องฟ้าที่ต่างกัน เช่นท้องฟ้า

โปร่งไม่มีเมฆ (Clear Sky) หรือท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (Completely Overcast Sky)

องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (Externally Reflected Component, ERC) เป็นการพิจารณา แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคาร ที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียงอาคาร และสะท้อนวัตถุดังกล่าวเข้ามาสู่ตัวอาคาร เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงที่เกิดจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้น

องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายในอาคาร (Internal Reflected Component, IRC) เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่อยู่ภายในอาคาร จากแสงที่มาจากองค์ประกอบจากท้องฟ้า และองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก ปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่สะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้นๆ เช่นเดียวกันกับองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร



ภาพที่ 2 - 24 เดยไลท์แฟกเตอร์ เมื่อ A) **องค์ประกอบจากท้องฟ้า** (sky component, SC), B) **องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก** (Exterior reflective component, ERC), C) **องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายใน** (Interior reflective component, IRC)
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 43)

สมการมาตราฐานค่าเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor) จากตัวแปรขององค์ประกอบข้างต้น อธิบายได้ดังนี้

$$DF_o = SC_o + ERC_o + IRC_o \quad \text{..... (2.50)}$$

และหากผนังภายในอาคาร เป็นผนังที่มีการใช้งานมานาน หรือมีความสกปรกจะทำให้สมการเปลี่ยนไปโดยมีค่าการบำรุงรักษา (Maintenance Factor, MF) เกิดขึ้น

$$DF_o = SC_o + ERC_o + [\,(MF)\,(IRC_o)\,] \quad \text{..... (2.51)}$$

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

ตารางที่ 2 - 5 แสดงค่า Daylight Factor ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ

(Millet and Bedrick (1980) อ้างอิงใน Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 197)

2. 11 แสงธรรมชาติในภูมิอากาศเขตร้อน

การกำหนดระดับปริมาณความส่องสว่างในสภาพอากาศแบบปกติ (Temperature Climate) จะอาศัยความสัมพันธ์ของท้องฟ้าในลักษณะที่มีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky) หรือท้องฟ้าที่มีความสว่างคงที่ (CIE. Standard Overcast Sky) ซึ่งท้องฟ้าในลักษณะดังกล่าวนี้ การกระจายแสงที่มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งท้องฟ้า สำหรับในภูมิประเทศที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเหนือศีรษะ หรือตั้งฉากกับพื้นโลกในระหว่างวันมากกว่าภูมิอากาศในเขตอื่น การกำหนดปริมาณความสว่างจึงต้องมีการแบ่งลักษณะของท้องฟ้าในแต่ละฤดูกาลให้ชัดเจน เช่นในฤดูแล้งที่อากาศร้อน หรือฤดูมรสุมที่มีเมฆปกคลุมทั่วท้องฟ้า ทำให้การใช้เทคนิคต่างๆ ในการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติจะต้องมีความรอบคอบมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสภาพท้องฟ้าจะมีความแปรปรวนไม่คงที่ของปริมาณแสงสว่าง และยากแก่การคาดเดา เช่นในบางกรณีฤดูที่มีอากาศร้อน และมีแสงแดดจัด แสงธรรมชาติที่ได้รับบางทีก็อาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายในอาคาร ซึ่งเกิดจากลักษณะของท้องฟ้าเอง หรือในบางกรณีที่แสงธรรมชาติอาจจะมีมากเกินกว่าความจำเป็นต่อการใช้งานก็เป็นได้เช่นกัน นอกจากนี้การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในภูมิประเทศเขตร้อน หากไม่มีความระวังก็อาจจะเป็นการส่งเสริมให้มีการเพิ่มความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นการใช้งานจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้แสงตรงจากดวงอาทิตย์ และเน้นแสงสว่างที่ได้จากการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์เป็นสำคัญ ซึ่งช่องเปิดก็ไม่ควรจะออกแบบให้มีขนาดใหญ่เกินกว่าความจำเป็น อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในภูมิอากาศเขตร้อน จะต้องมีการใช้เทคนิคที่เพิ่มมากขึ้น ในการคาดการณ์ปริมาณความส่องสว่างแสงธรรมชาติ จากความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัญหาของภูมิอากาศในเขตร้อนนี้ ในขณะที่จะต้องรักษาระดับของความสว่างภายในอาคารให้คงที่เสมอในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน

แสงธรรมชาติที่พอเพียงต่อการใช้งานในเขตร้อน จะแยกออกได้เป็นสองลักษณะตามภูมิอากาศ คือ อากาศร้อนแห้ง และอากาศร้อนชื้น สำหรับในประเทศไทยจะจัดอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และจากการศึกษา จะพบว่าประเทศต่างๆ ที่มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นนี้ จะอยู่ในเขตที่มีการพัดผ่านของลมมรสุมด้วยเช่นกัน

ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนแห้ง เช่น ทะเลทราย สภาพภูมิอากาศจะถูกกำหนดโดยแสงแดดที่มีความต่อเนื่อง ในกรณีที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Deep Blue Sky) จะมีความส่องสว่างต่ำ เมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่างระนาบนอน จนกระทั่งมุมเงยมีค่าประมาณ 30 องศา นอกเหนือจากนี้จะมีปริมาณความสว่างอยู่ในระดับสูง เมื่อพิจารณาจากปริมาณแสงสว่างในระหว่างวัน ซึ่งปริมาณแสงสว่างดังกล่าวที่ไม่คงที่จะเป็นปัญหาต่อปริมาณระดับความส่องสว่างที่พอเพียงภายในอาคาร (แต่อาจจะแก้ไขได้โดยการเลือกใช้สีอ่อน หรือสีขาวแก่อาคาร เพื่อช่วยเพิ่มการสะท้อนแสงภายนอก) สำหรับเทคนิคในการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง จะพิจารณาจากความต้องการการส่องสว่างที่พอเพียงในระดับทำงาน และการหลีกเลี่ยงแสงแดดตรงที่จะก่อให้เกิดแสงจ้า และความร้อนที่ไม่ต้องการจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้นอาคารในภูมิอากาศเขตร้อน ควรจะออกแบบให้อาคารมีระดับวงกบล่างของช่องเปิดอยู่สูงกว่าระดับสายตา หรือให้มีการจัดวางทิศทางอาคารให้อยู่ใต้ร่มเงา หรือควบคุมความสว่างของการสะท้อนแสงภายนอกอาคารด้วยสี หรือต้นไม้

สำหรับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น ปริมาณแสงธรรมชาติจะแปรผันตามสภาพของท้องฟ้า ที่จะมีลักษณะของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทึบเข้ามาเกี่ยวข้อง ถ้าในกรณีที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าเพียงบางๆ ท้องฟ้าจะมีความสว่างเต็มที่ ทั้งแสงสว่าง และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งการป้องกันอาจจะเลือกใช้ระเบียงกันแดด หรือแผงกันแดดในแนวตั้ง แนวนอน หรือการออกแบบให้มีการบังแดดด้วยรูปทรงของอาคาร แต่ในกรณีที่มีเมฆปกคลุมทั่วทั้งท้องฟ้าปริมาณความสว่างอาจจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำ และไม่เพียงพอต่อการใช้งาน การออกแบบอาคารเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว จึงควรจะเน้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารให้มากที่สุด และอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศ และกระแสลมที่พัดผ่านเพื่อมาช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร

ปริมาณความสว่างอันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร ในสภาพท้องฟ้าที่ปราศจากเมฆปกคลุมในภูมิอากาศเขตร้อน จะมีปริมาณแสงสว่างที่ระดับเซนิท หรือใกล้เคียงประมาณ 500 ft-L และเมื่อความส่องสว่างตกกระทบพื้นดิน ที่มีการสะท้อนของแสงของระนาบพื้นดินเท่ากับ 20 % ปริมาณแสงส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นดิน จะมีความสว่างประมาณ 10,000 lm/ft^2 และแสงที่ส่องเข้ามาสู่อาคารจะมีค่าประมาณ 2,000 ft-L หรือมีค่าเป็น 4 เท่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดของแสง ซึ่งองค์ประกอบจากการส่องสว่าง และสะท้อนแสงภายนอกอาคารทั้งหมดในทิศทางต่างๆ จะเป็นตัวกำหนดฟลักซ์ของแสงที่จะตกกระทบลงบนช่องเปิดของอาคาร

การคาดการณ์ปริมาณความส่องสว่างภายใน จากสภาพภูมิอากาศเขตร้อน หรือท้องฟ้าโปร่ง (Blue sky) จะมีกระบวนการคิดพื้นฐาน และแนวทางในการพัฒนาในลักษณะเดียวกับการคิดในสภาพภูมิอากาศแบบปกติ (Temperature Climate) ที่จะแยกองค์ประกอบของท้องฟ้าออกเป็นสามส่วน คือ องค์ประกอบแสงตรงจากท้องฟ้า (The Direct Sky Component) องค์ประกอบแสงสะท้อนภายนอกอาคาร (The Externally Reflected Component) และองค์ประกอบจากแสงสะท้อนภายในอาคาร (The Internally Reflected Component) ซึ่งแต่ละองค์ประกอบสามารถจะอธิบายได้ด้วย หลักการของวิธีเดย์ไลท์แฟกเตอร์ ที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างภายใน และความส่องสว่างภายนอกของท้องฟ้าที่ปราศจากผลกระทบแสงตรงจากดวงอาทิตย์ แต่การคำนวณจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของการสะท้อนแสงภายนอกมากเป็นพิเศษ เนื่องจากในภูมิอากาศเขตร้อนในช่วงวันที่ท้องฟ้าโปร่งจะมีปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์สูงกว่าสภาพภูมิอากาศแบบอื่น

การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร ในสภาพภูมิอากาศเขตร้อน จะมีความสำคัญน้อยกว่าการสะท้อนแสงภายในอาคารของภูมิอากาศแบบอื่น เนื่องจากในภูมิอากาศแบบอื่น ฟลักซ์ของแสงในอันดับแรก ที่

ส่องจากช่องเปิดจะตกกระทบลงบนพื้น ดังนั้นพื้นอาคารในบริเวณใกล้ช่องเปิด ควรจะมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างของแสงภายในอาคาร แต่ในกรณีของสภาพภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง สัดส่วนของฟลักซ์ของแสงที่ตกกระทบภายในอาคาร จะได้จากการสะท้อนแสงของเพดานและผนังเป็นสำคัญ เนื่องจากการสะท้อนของแสงภายนอกอาคารที่ผิวดิน และพื้นผิวในด้านตรงกันข้าม อย่างไรก็ตามหากเราออกแบบให้อาคาร มีค่าการสะท้อนแสงของเพดาน และผนังที่สูง เพื่อเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในสำหรับภูมิอากาศเขตร้อน ก็อาจจะก่อให้เกิดความไม่สบายตาจากแสงจ้า หรือทัศนวิสัยในการมองได้

การจัดวางอาคารในภูมิอากาศเขตร้อน ควรจะหลีกเลี่ยงการรับแสงตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเช้า หรือเย็นของช่องเปิดในทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ส่วนเวลากลางวันดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเหนือศีรษะ และตั้งฉากกับพื้นโลก ปริมาณแสงจะมีอิทธิพลต่อช่องเปิดในทิศเหนือ และทิศใต้ทั้งแสงที่เกิดจากท้องฟ้า และแสงสะท้อนจากพื้นดิน ดังนั้นปริมาณความส่องสว่างภายในอาคาร จะแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาและทิศทางดังกล่าว ซึ่งเราสามารถที่จะแก้ไขได้ โดยการออกแบบให้ช่องเปิดมีความสอดคล้องกับทิศทางของแสงในแต่ละช่วงเวลา

ดังนั้นสำหรับประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในภูมิภาคเขตร้อนชื้น (Hot-Humid Climate) การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ ควรต้องมีหลักการสำคัญดังนี้

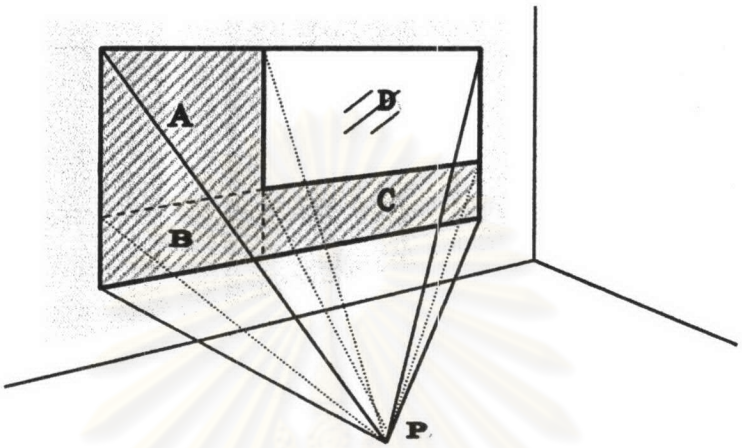
- หลีกเลี่ยงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ โดยเน้นการใช้แสงสว่างที่ได้จากการสะท้อนจากดวงอาทิตย์ (Diffuse light)
- ขนาดช่องเปิด ไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น คือมีขนาดพอดีต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งานในอาคาร

2. 12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แสงที่มาจากด้านข้าง (Side lighting) จากการศึกษาเรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณแสงธรรมชาติ โดยใช้ข้อมูลสภาพท้องฟ้าในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541) พบว่าสามารถใช้ค่า Sky Factor Calculation (Illuminance (P) ดังภาพที่ 2 – 25 และ ภาพที่ 2 – 26) โดยวิธีการคำนวณแบบสกายแฟกเตอร์นั้น จะมีการคำนวณที่สลับซับซ้อนมากกว่าการคำนวณด้วยวิธีลูเมน และไม่เน้นการตรวจสอบข้อมูลจากตาราง การคำนวณด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์จะมีการคำนวณตามลักษณะขององค์ประกอบของแสงภายในอาคาร ที่เกิดจากการรวมกัน ระหว่างแสงตรงจากช่องเปิด และแสงสะท้อนกระจายภายในห้อง

โดยวิธีการหาค่าความสว่างจากแสงตรงจากช่องเปิดนั้น จะอาศัยหลักของเรขาคณิตมาพิจารณา เพื่อหาปริมาณความส่องสว่างรวมที่จุดรวมของเส้นสมมติของแนวแสง จากจุดมุมต่างๆ ของช่องเปิด และสำหรับการคำนวณหาแสงสะท้อนกระจายจากช่องเปิด จะเป็นการหาค่าเฉลี่ยจากการสะท้อนแสงครั้งแล้วครั้งเล่าภายในห้อง บนผนัง เพดาน และพื้น ซึ่งค่าการสะท้อนแสงกระจายนั้นจะมีค่าเท่ากันในทุกๆตำแหน่งของห้อง เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ย แต่ในความเป็นจริงนั้นค่าดังกล่าวจะไม่เท่ากัน เพราะตำแหน่งของจุดที่อยู่ใกล้กับผนังนั้นควรที่จะได้รับอิทธิพลของการสะท้อนแสงจากผนังมากกว่าในตำแหน่งที่อยู่ไกลผนังออกมา แต่การคำนวณหาแสงสะท้อนกระจายจะเป็นค่าเฉลี่ย จึงถือว่าจุดที่อยู่ใกล้หรือไกลผนังนั้นจะถูกชดเชยด้วยค่าที่แตกต่างกันของการสะท้อนแสงภายใน โดยค่าต่างๆจะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในแต่ละจุด

การคำนวณหาค่าความส่องสว่างของแสงตรงจากช่องเปิด เมื่อตำแหน่งที่ต้องการทราบไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกับมุมของช่องเปิด จะมีการวิธีการคิดดังนี้คือ สมมติให้ตำแหน่งของจุดที่ต้องการทราบความสว่างเป็นจุดรวมของเส้นตั้งฉากจากช่องเปิดที่ได้สมมติขึ้น และหักลบปริมาณแสงจากพื้นที่ของเส้นสมมติที่จุดเดียวกันนั้นที่ไม่ใช่พื้นที่เดียวกับช่องเปิดจริง ซึ่งในท้ายสุดจะเหลือเพียงปริมาณแสงที่ได้จากช่องเปิดเท่านั้น สามารถอธิบายได้ดังภาพ



ภาพที่ 2 - 25 จุดที่ต้องการทราบความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิดที่ต่างระดับกับมุมขอบล่างของช่องเปิด

(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 105)

ปริมาณความส่องสว่างของพื้นที่ช่องเปิด D จะสามารถหาได้โดยพิจารณาจากค่าความสว่างของพื้นที่ ABCD เมื่อมีตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่างที่จุด P ลบด้วยความส่องสว่างของพื้นที่ AB และ BC บวกด้วยพื้นที่ B ที่มีตำแหน่งอ้างอิงที่จุด P เช่นเดียวกัน จะได้พื้นที่สุทธิของช่องเปิด D เป็นค่าความส่องสว่างที่ต้องการ ณ ตำแหน่ง P

สามารถสรุปหลักการได้ว่า การหาตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบความสว่างที่ไม่ได้อยู่ในแนวระดับเดียวกับช่องเปิด ด้วยการลบพื้นที่ทั้งหมดระหว่างช่องเปิดถึงแนวตั้งฉากกับเส้นจากตำแหน่งที่ต้องการทราบความสว่าง ซึ่งเป็นค่าความส่องสว่างส่วนเกินที่ไม่ต้องการ ดังนั้นพื้นที่ที่เหลือจะเป็นค่าความส่องสว่างที่ได้จากช่องเปิด สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ปริมาณความส่องสว่างช่องเปิด D บนตำแหน่งที่ต้องการทราบความสว่าง P

= ปริมาณความส่องสว่างช่องเปิด ABCD บนตำแหน่ง P
- ปริมาณความส่องสว่างพื้นที่ AB บนตำแหน่ง P
- ปริมาณความส่องสว่างพื้นที่ BC บนตำแหน่ง P
+ ปริมาณความส่องสว่างพื้นที่ B บนตำแหน่ง P

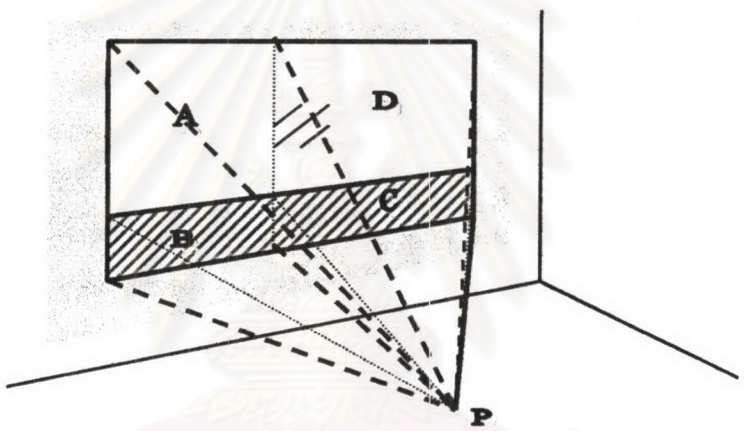
$$\text{Illuminance (P)} = ABCD - AB - BC + B \quad \text{..... (2.52)}$$

แต่ถ้าหากตำแหน่งค่าความสว่างส่องสว่างที่ต้องการทราบ อยู่ระหว่างระยะขอบช่องเปิดด้านหนึ่งถึงมุมขอบช่องเปิดอีกด้านหนึ่ง สามารถคำนวณหาค่าปริมาณความส่องสว่างที่ต้องการทราบ ณ ตำแหน่ง P ได้โดยการนำค่าความส่องสว่างพื้นที่ AB ลบด้วยพื้นที่ B บวกด้วยความส่องสว่างพื้นที่ DC ลบด้วยพื้นที่ C สรุปเป็นสมการได้ดังนี้

ปริมาณค่าความส่องสว่างช่องเปิด AD บนตำแหน่งที่ต้องการทราบความสว่าง P

= ปริมาณความส่องสว่างช่องเปิด AB
- ปริมาณความส่องสว่างช่องเปิด B บนตำแหน่ง P
+ ปริมาณความส่องสว่างช่องเปิด DC
- ปริมาณความส่องสว่างช่องเปิด B บนตำแหน่ง P

$$\text{Illuminance (AD)} = (AB - B) + (DC - C) \quad \text{..... (2.53)}$$



ภาพที่ 2 - 26 จุดที่ต้องการทราบความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิดระหว่างขอบช่องเปิดทั้งสองด้าน
(กมล เกียรติเรืองกมลา, 2541: 106)

และจากการศึกษาเรื่องอิทธพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคาร (สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์, 2544) พบว่าตัวแปรที่มรความสำคัญที่สุด ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สามารถทำให้แสงธรรมชาติกระจายสู่ระนาบทำงานได้มาก และยังเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรอีก 4 ตัวแปร ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอก ขนาดช่องแสง ลักษณะพื้นผิวของพื้นผิวภายในห้อง และความสูงฝ้าเพดาน และพบว่า ตัวแปรที่ไม่สามารถกำหนดได้คือ สภาพท้องฟ้า และตำแหน่งของดวงอาทิตย์

2. 13 สรุปตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่จะนำไปใช้ในงานวิจัย

2.13.1 รูปแบบ และอัตราส่วนช่องแสง ได้แก่

- รูปแบบ ของช่องแสง
  - แสงที่มาจากด้านข้าง (Side Lighting)
- อัตราส่วนของช่องแสง
  - อัตราส่วนความกว้างของช่องแสงต่อระยะห่างจากช่องแสง (W / D)
  - อัตราส่วนความสูงของช่องแสงต่อระยะห่างจากช่องแสง (H / D)

2.13.2 ค่าความส่องสว่างภายใน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร (Interior Reflectance Component, IRC) รวมทั้งขนาดห้อง ลักษณะพื้นผิว และรูปแบบการสะท้อนแสงภายในอาคาร

2.13.3 ค่าความส่องสว่างภายนอก ได้แก่

- ความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้า (Sky Component, SC) ที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติตลอดทั้งวัน
  - ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)
  - ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly Cloudy)
  - ท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)
- มุมของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่ง และการโคจรของดวงอาทิตย์ เช่น มุมอัลติจูด และมุมอะซิมุท รวมทั้งทิศทางของแสงธรรมชาติที่ตกกระทบในแนวระนาบนอนและระนาบตั้งทั้ง 8 ทิศ (ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้) กับค่ารังสีกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse light from Sky) ที่ตกลงบนแนวระนาบนอนและระนาบตั้ง โดยไม่รวมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์รวมของดวงอาทิตย์ (Direct light from sun)
- ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายนอกอาคาร (Ground Reflectance Component, Rfg) รวมทั้งลักษณะพื้นผิว และสัดส่วนของพื้นผิวภายนอกอาคาร

2.13.4 ค่าความสกปรกของท้องฟ้า (Atmospheric Turbidity) และสภาพบรรยากาศ (Atmospheric Moisture)

2.13.5 ตัวกลาง (กระจก) คำนึงถึงค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient, SC) โดยค่าการส่องผ่านสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

- ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านวัสดุช่องแสง (Light Transmission from Fenestration)
- ค่าความทึบแสงของช่องแสง (Light Transmission from Material)

2.13.6 พื้นที่สุทธิของช่องแสง (ส่วนของพื้นที่กระจกที่ลบส่วนของพื้นที่กรอบช่องแสง)

2.13.7 ระดับความส่องสว่างในแต่ละกิจกรรมตามมาตรฐานความส่องสว่างสากล