

## บทที่ 3

### ทฤษฎีเกี่ยวกับการแผ่รังสีและการใช้พลังงานในอาคาร

#### 3.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ดังที่ทราบกันว่า ดวงอาทิตย์เป็นส่วนสำคัญของการเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในที่ต่าง ๆ และเป็นแหล่งกำหนดสภาพภูมิอากาศในส่วนต่าง ๆ ของโลก ซึ่งก็คือการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั่นเอง

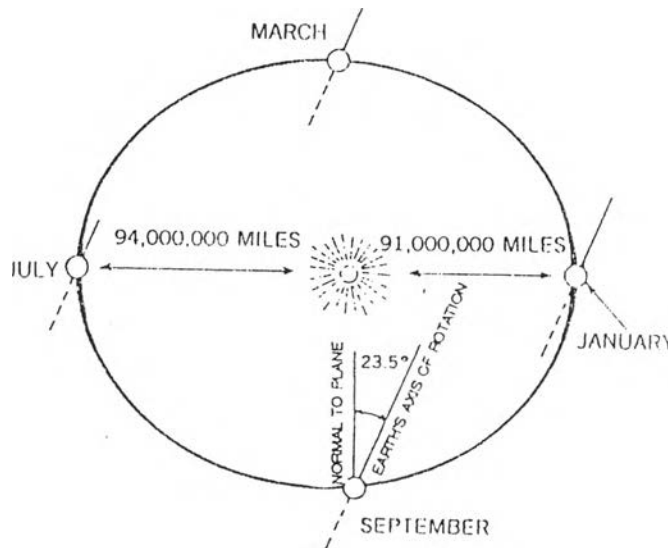
"การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นส่วนสำคัญมากที่สุดของส่วนประกอบต่าง ๆ ทางด้านอุตุนิยมวิทยา เป็นแหล่งของพลังงานในการผลักดันให้เกิดการไหลเวียนของบรรยากาศ นั่นก็หมายถึงการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างโลกกับที่แห่งหนึ่งในจักรวาล และเป็นรากฐานสำหรับการจัดโครงสร้างในชีวิตประจำวันของเรา" (Rudolph Geiger, The Climate Near the Ground, 1950)

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศโลกในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งก็คือการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างวัตถุโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เป็นการแผ่รังสี 2 ลักษณะคือ

1. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation) เป็นการคายรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์แลกเปลี่ยนกับบรรยากาศของวัตถุอื่น ๆ ในจักรวาล และมีการแลกเปลี่ยนกับบรรยากาศโลก ณ ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในระยะทาง  $149.5 \times 10^6$  km. ปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จะค่าเท่ากับ  $1367 \text{ W/m}^2$  ในแนวตั้งฉากกับผิวโลก แต่เนื่องมาจากวงโคจรที่เป็นลักษณะวงรีของโลกทำให้มีค่าปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ  $1413 \text{ W/m}^2$  ในวันที่ 3 มกราคม และปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ต่ำสุดเท่ากับ  $1332 \text{ W/m}^2$  ในวันที่ 4 กรกฎาคม ซึ่งเป็นจุดในวิถีโคจรของโลกที่ใกล้ที่สุดและไกลที่สุด (ASHRAE, 1997)

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นไปในรูปของการแผ่รังสีคลื่นสั้น (Shortwave Radiation) ประกอบด้วยรังสีช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Region) ช่วงแสงสว่าง (Visible Region) และช่วงอินฟราเรด (Infrared Region) ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ  $0.29\text{nm}-0.40\text{nm.}$ ,  $0.4\text{nm.}-$

0.7nm. และ 0.7nm.-3.5nm. คิดเป็นสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 7%, 39% และ 52% ตามลำดับ (ASHRAE, 1993)



รูปที่ 3.1 แสดงการโคจรและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

(Environment Control System, 1993)

2. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก (Terrestrial Radiation) เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกกับวัตถุบนพื้นผิวโลกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นการแผ่รังสีคลื่นยาว (Long-wave Radiation) ในช่วงคลื่นอินฟราเรด ความร้อนที่เกิดขึ้นแก่อาคารจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกมีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากปริมาณที่รับและส่งออกมาจากพื้นผิวมีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนมากความร้อนที่เกิดขึ้นมักมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศโลกมาแทบทั้งสิ้น

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ประกอบด้วย

- การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบตรง (Direct Solar Radiation,  $I_0$ ) คือพลังงานที่ได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์ถึงหน่วยรับบนโลกไม่เปลี่ยนแปลง นั่นก็คือระยะขจัดจากดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก

- การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Solar Radiation,  $I_d$ ) คือพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นรังสีดวงอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่ได้มาจากท้องฟ้าทั้งหมด

- การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ แบบสะท้อน (Reflected Solar Radiation,  $I_r$ ) คือพลังงานที่ได้รับจากพื้นผิวที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับ

- การแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยรวม (Total or Global Solar Radiation,  $I_T$ ) คือ พลังงานรังสีทั้งหมดของดวงอาทิตย์ที่ได้รับในแนวระนาบโดยทั่วไป จะวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมบนระนาบระดับต่อหน่วยเวลา-หน่วยพื้นที่

$$I_T = I_o + I_d + I_r \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2, \text{W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

3.1.1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบตรง ;  $I_o$  สามารถคำนวณได้จาก

$$I_o = I_{DN} \cos\theta \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2, \text{W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่  $I_{DN}$  = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบระดับ  
 $\theta$  = มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ทำกับแนวของเส้นตั้งฉากของระนาบ (Incident of Angle) ;  $\theta$  มากขึ้น  $I_o$  จะลดลง

โดยทั่วไปการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบตรงต่อพื้นผิวดังฉากกับดวงอาทิตย์ (ซึ่งทำมุม  $5.7^\circ$  โดยให้จุดศ.ก.อยู่ที่ดวงอาทิตย์) ในภาวะท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) มีค่าเฉลี่ยประมาณ  $285 \text{ Btu/H} \cdot \text{ft}^2 (900 \text{ W/m}^2)$

$$I_{DN} = A / (\text{Exp}(B/\sin\beta)) \text{ W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่  $A, B$  ค่าที่พิจารณาได้จากตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับวันที่ 21 ในแต่ละเดือน  
 $\beta$  = มุมตั้งของดวงอาทิตย์เหนือแนวระนาบนอน (Solar altitude)

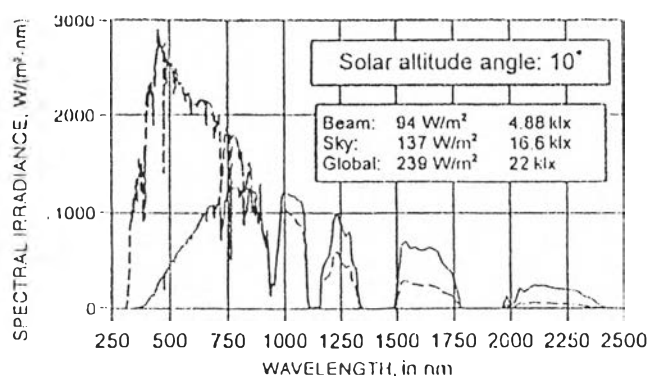
ตารางที่ 3.1 Extraterrestrial Solar Irradiance and Related Data (ASHRAE, 1997)

	$I_{0T}$ , W/m <sup>2</sup>	Equation of Time, min.	Declination, degrees	A, W/m <sup>2</sup>	B (Dimensionless Ratios)	C
Jan	1416	-11.2	-20.0	1230	0.142	0.058
Feb	1401	-13.9	-10.8	1215	0.144	0.060
Mar	1381	-7.5	0.0	1186	0.156	0.071
Apr	1356	1.1	11.6	1136	0.180	0.097
May	1336	3.3	20.0	1104	0.196	0.121
June	1336	-1.4	23.45	1088	0.205	0.134
July	1336	-6.2	20.6	1085	0.207	0.136
Aug	1338	-2.4	12.3	1107	0.201	0.122
Sep	1359	7.5	0.0	1151	0.177	0.092
Oct	1380	15.4	-10.5	1192	0.160	0.073
Nov	1405	15.8	-19.8	1221	0.149	0.063
Dec	1417	1.6	-23.45	1233	0.142	0.057

Note: Data are for 21st day of each month during the base year of 1964

### 3.1.2 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบกระจาย ; $I_d$

จะมีค่าเฉลี่ยของปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า โดยในภาวะท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32 Btu/h \* ft<sup>2</sup> (100 W/m<sup>2</sup>) แต่ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Cloudy Sky) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 95-190 Btu/h \* ft<sup>2</sup> (300-600 W/m<sup>2</sup>)



รูปที่ 3.2 Comparison of Direct and Diffuse Solar Spectra for Low Solar Altitude Angle (ASHRAE, 1997)

จากรูป 3.2 แสดงให้เห็นถึงปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อมุมตั้งของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) เท่ากับ  $10^\circ$  (มุมต่ำ) มีข้อสังเกตที่สำคัญคือ

1. ปริมาณพลังงานของส่วนแสงอาทิตย์แบบกระจายจะมากกว่าส่วนของแสงอาทิตย์แบบตรง ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky)

2. ความแตกต่างของปริมาณพลังงานในส่วนของแสงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ แสดงให้เห็นว่าส่งผลต่อการหาค่าพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดปีได้ ดังนั้นแสงอาทิตย์แบบกระจายที่ผนังอาคารได้รับเป็นพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์ที่มีความสำคัญมาก

การคำนวณปริมาณพลังงานของแสงอาทิตย์แบบกระจาย ( $I_d$ )

จากสูตร

$$I_d = k * I_{DN} * F_{ss} \text{ Btu/h} * \text{ft}^2, \text{ W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่  $k$  = Sky condition constant โดยที่ clear sky = 0.14 , overcast sky = 0.9 (Dreyfus, 1960)

$$F_{ss} = (1.0 + \cos \Sigma) / 2 \text{ โดย } \Sigma \text{ คือมุมระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า}$$

3.1.3 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสะท้อน ;  $I_r$

พลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้น ( $I_{th}$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{th} = I_{DN} * (k + \sin \beta) \text{ Btu/h} * \text{ft}^2, \text{ W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

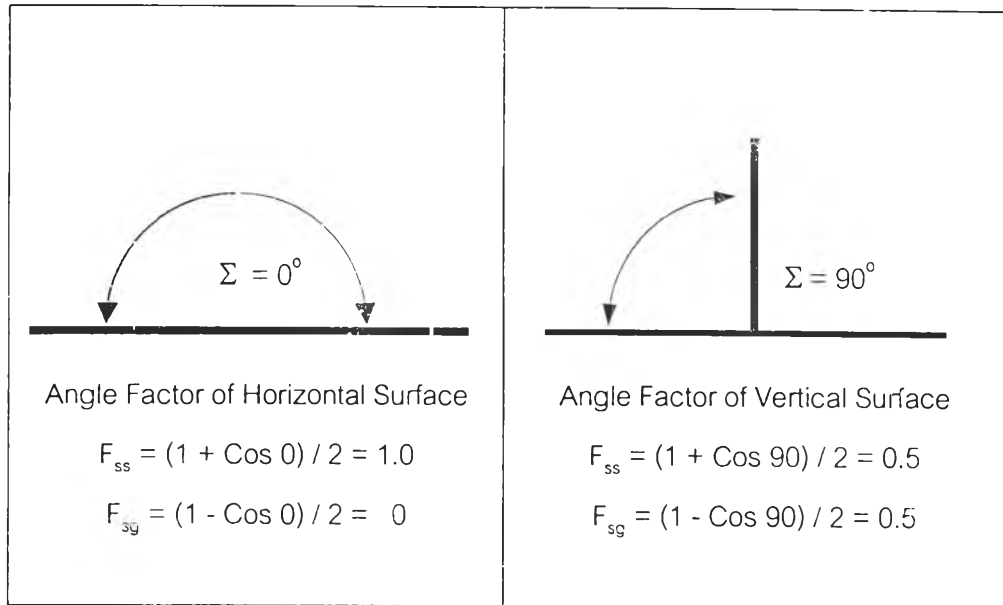
และพลังงานที่สะท้อนจากพื้นไปยังผนัง ( $I_{dg}$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{dg} = I_{th} * O_g * F_{sg} \text{ Btu/h} * \text{ft}^2, \text{ W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

โดยที่  $O_g$  = Ground Albedo Factor (0.1 สำหรับดินสีเข้ม 0.2 สำหรับพืชคลุมดิน, 0.3 สำหรับดินหรือวัสดุสีอ่อน หรือ จากตารางที่ 3.3)

$$F_{sg} = (1.0 - \cos \Sigma) / 2$$

ตารางที่ 3.2 Factor ของพื้นผิวในระนาบต่าง ๆ



ตารางที่ 3.3 Albedo(Reflected ratio) ของวัสดุต่างๆ(Microclimatic Landscape design,1995)

Ground Albedos of Elements Often Found in Landscape

	Albedo(%)		Albedo(%)
Soils	5-75	Water	5-95
Moist dark cultivated	5-15	Water (high sun angle)	5
Moist gray	10-20	Water (low sun angle)	95
Dry sandy	25-35	Urban Surfaces	
Wet sandy	20-30	Asphalt	5-15
Dry sand dune	30-75	Concrete	10-50
Vegetation	5-30	Brick	20-50
Grass	20-30	Stone	20-35
Green fields	3-15	Tar and gravel roof	8-18
Wheat	15-25	Tile roof	10-35
Meadows	10-30	Slate roof	10
Chaparral	15-20	Thatch roof	15-20
Brown grassland	25-30	Corrugated iron	10-16
Woods	5-20	White paint	50-90
Deciduous forest	10-20	Red,brown,greer, paint	20-35
Coniferous forest	5-16	Black paint	2-15
Swamp forest	12		

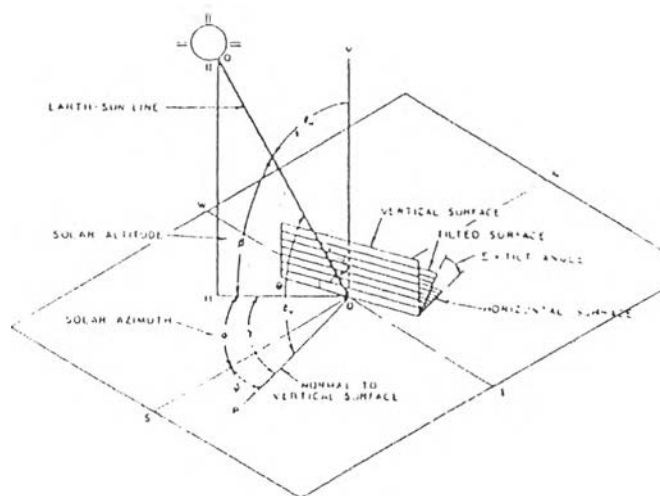
3.1.4 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบรวม ;  $I_T$   
 จากสมการทั้งหมดจะได้

$$I_T = (I_{DN} \cos \theta) + (k \cdot I_{DN} \cdot F_{ss}) + (I_{DN} \cdot O_g \cdot F_{sg}) \dots\dots\dots (7)$$

มุมของแสงอาทิตย์ (Solar Angles) ที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงคือ

solar altitude ( $\beta$ ) = มุมที่อยู่เหนือแนวระนาบ

solar azimuth ( $\phi$ ) = มุมที่วัดจากทิศใต้



รูปที่ 3.3 Solar Angle for Vertical and Horizontal Surfaces (ASHRAE, 1997)

การหาค่ามุมของแสงอาทิตย์ต่าง ๆ ขึ้นอยู่ว่าต้องการหาค่าในระนาบใดโดยที่กำหนดให้  $\Sigma$  = มุมเอียงของระนาบนั้น ๆ

- สำหรับพื้นผิวระนาบอยู่ในแนวนอนขนานพื้น,  $\Sigma = 0^\circ$

$$\cos \theta_H = \sin \beta \dots\dots\dots(8)$$

โดยที่  $\theta_H$  = incident of Angle ของระนาบนอน

- สำหรับพื้นผิวระนาบอยู่ในแนวตั้ง,  $\Sigma = 90^\circ$

$$I_{Dv} = I_{DN} \cos \theta_v \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\cos \theta_v = \cos \beta \cos Y \quad \dots\dots\dots(10)$$

โดยที่  $\theta_v$  = มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ทำกับ  
เส้นตั้งฉากของระนาบแนวตั้ง

$Y$  = มุมทิศทางของดวงอาทิตย์ในแนวราบจากทิศใต้กับผนัง  
(surface solar azimuth) =  $\phi - \psi$  .....(11)

$\phi$  = มุมทิศทางของดวงอาทิตย์ในแนวราบจากทิศใต้ (azimuth)  
โดยมีค่าเป็นลบตอนเช้า และเป็นบวกตอนบ่าย

และ  $\psi$  = มุมที่ตั้งฉากกับพื้นผิวแนวตั้งนั้นๆ ทำกับทิศใต้ (surface azimuth)

ตารางที่ 3.4 Surface Orientations and Azimuths Measured from South (ASHRAE, 1997)

Orientation	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Surface azimuth, $\psi$	180°	-135°	-90°	-45°	0	45°	90°	135°

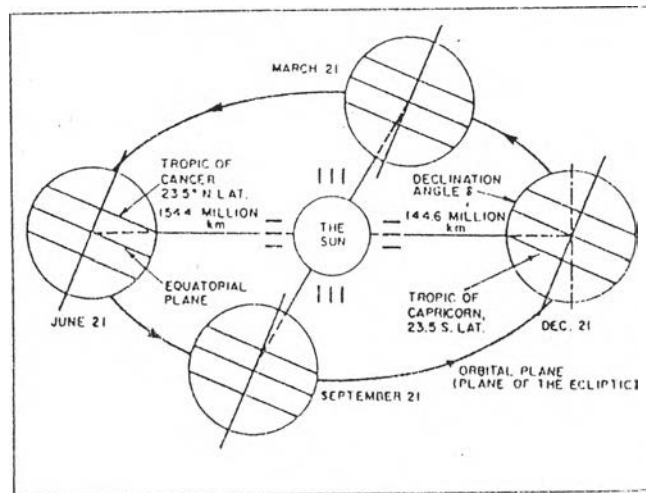
จากสมการจะเห็นได้ว่าถ้า  $90^\circ < Y < 270^\circ$  พื้นผิวนั้นก็จะเกิดร่มเงา

3.1.5 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์กับช่วงเวลาการตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Incident of Angle) จากสมการต่างๆ จะทราบว่ามุมการตกกระทบของแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นแก่พื้นผิว โดยมีลักษณะที่ควรคำนึงถึงในการวิจัยครั้งนี้คือ

- Summer Solstice หรือวันเริ่มฤดูร้อน เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่วนขั้วโลกใต้เบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุดเช่นกัน คือวันที่ 21 มิถุนายนของทุกปี

- Winter Solstice หรือวันเริ่มฤดูหนาว เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด และขั้วโลกใต้เบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด คือ วันที่ 21 ธันวาคม ของทุกปี





รูปที่ 3.4 Motion of Earth around Sun (ASHRAE, 1997)

สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตเหนือเส้นศูนย์สูตรนั้นในวัน Summer Solstice จะเกิดดวงอาทิตย์อ้อมไปทิศเหนือมากที่สุด และในวัน Winter Solstice ดวงอาทิตย์ก็จะอ้อมไปทางทิศใต้มากที่สุดเช่นกัน

- Equinox หรือวันที่เวลาสมดุลง เป็นวันที่ทุก ๆ แห่งบนพื้นโลกมีระยะเวลากลางวัน และกลางคืน 12 ชั่วโมงเท่ากัน และดวงอาทิตย์เดินทางตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรพอดี สำหรับวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่า Vernal Equinox และวันที่ 23 กันยายน เรียกว่า Autumnal Equinox

### 3.2 ทฤษฎีแสงธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

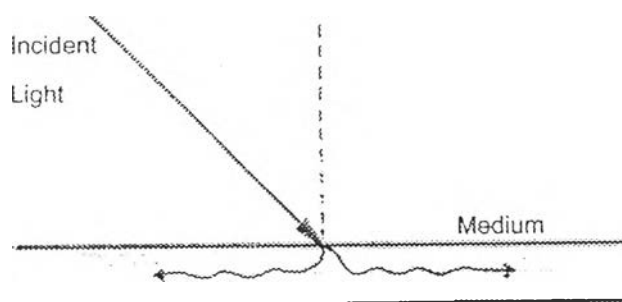
การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่รับได้บนผิวโลกนั้นบางส่วนสามารถมองเห็นได้ โดยประมาณครึ่งหนึ่งของการแผ่รังสีที่เห็นได้นั้นคือแสงสว่าง และบางส่วนไม่สามารถมองเห็นได้หรือรับได้ด้วยสายตามนุษย์ แต่ทั้งหมดของการแผ่รังสีนี้สามารถจินตนาการหรือคิดเป็นลักษณะเดียวกับแสงที่เห็นได้

แสงธรรมชาติ เป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 micron (380-780 nanometers) ประกอบด้วย Spectrum ของสีต่าง ๆ มีการแผ่รังสีแตกต่างกัน เป็นพลังงานที่สามารถมองเห็นได้ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศโลกจะทำให้เกิดการหักเหและสะท้อนก่อนส่องมายังผิวโลกและเมื่อกระทบตัวกลางต่าง ๆ จะมีพฤติกรรมต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุ

นั้น ๆ พฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการกระทบตัวกลางทั้งหลาย ก็สามารถบ่งบอก ลักษณะและพฤติกรรมของการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นได้เช่นกัน

### 3.2.1 ลักษณะพฤติกรรมของการแผ่รังสีและแสงธรรมชาติ

1. การดูดกลืน (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายไปในตัวกลาง (medium) และเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนจะ เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน (heat)



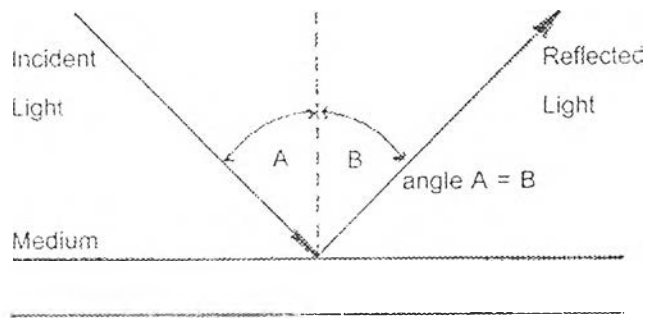
รูปที่ 3.5 รูปแสดงการดูดกลืนแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง

2. การสะท้อน (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อน ออกโดยที่

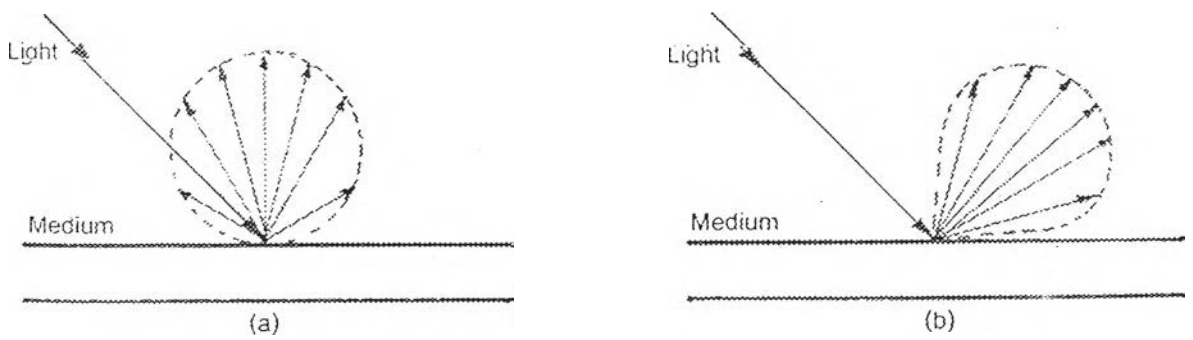
- Specular Reflection เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็น วัตถุทึบแสง (opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (polish surface) การสะท้อนจะมี ลักษณะของมุมของแสงที่ตกกระทบ (angle of incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน (angle of reflection)

- Diffuse Reflection เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบวัตถุทึบแสงที่มีผิว หยาบไม่เรียบสม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะถูกสะท้อนออกไปในหลาย ๆ ทิศทาง ซึ่งส่วนมาก มุมของแสงที่สะท้อนที่กระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบ หากผิววัตถุมี ลักษณะไม่เรียบสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (perfect diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมี ลักษณะเป็นการกระจายแสงแบบสมบูรณ์ (perfect diffuse reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้

ความสว่างเท่า ๆ กันในทุกมุมสะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอ (semi diffuse surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (semi diffuse reflection)

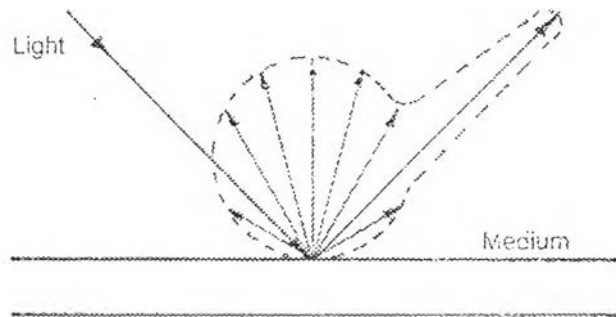


รูปที่ 3.6 แสดง Specular reflection



รูปที่ 3.7 แสดง (a) perfect diffuse reflection & (b) semi diffuse reflection

แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) และการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)



รูป 3.8 แสดง combined specular & diffuse reflection

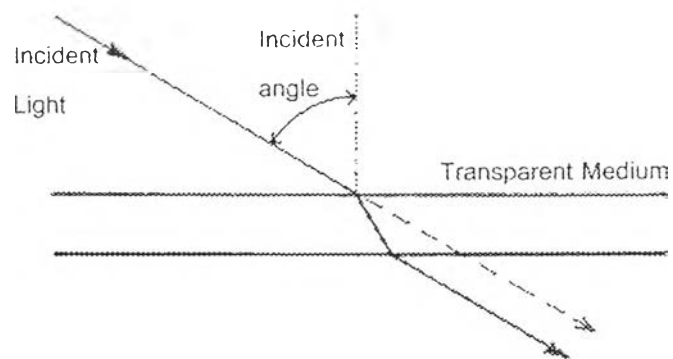
3. การส่องผ่าน (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนด้านหนึ่งของตัวกลาง (medium) แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติหรือลักษณะของตัวกลางที่แสงผ่านแล้ว มุมของแสงที่ตกกระทบบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่าน และแสงที่ทะลุผ่านจะมีปริมาณของแสงคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงตกกระทบบตัวกลางที่แสงสามารถส่องผ่านได้ใด ๆ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ และส่วนที่เหลือจะทะลุผ่าน หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบบจะเท่ากับ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับรวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Absorptance} + \text{Reflectance} + \text{Transmittance} = 1 \quad \dots\dots\dots(12)$$

ลักษณะการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของตัวกลางดังนี้

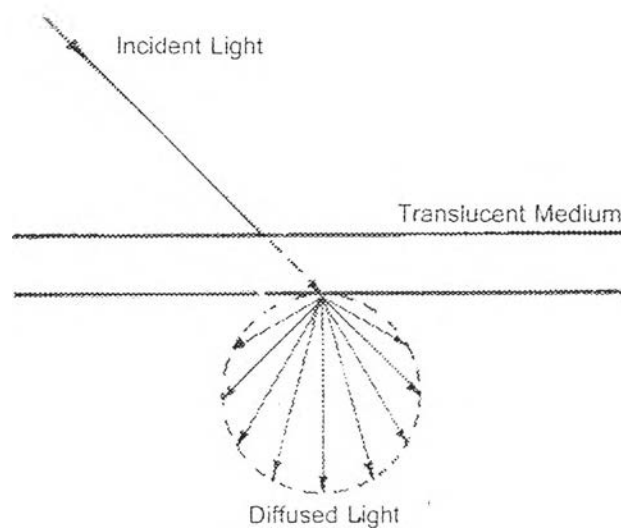
- ตัวกลางโปร่งใส (Transparent Medium) การส่องผ่านลักษณะนี้แสงจะเกิดการหักเห (refracted) หรือเปลี่ยนทิศทาง (bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านใน

ลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน ตัวกลางจำพวกนี้ เช่น กระจกใส เป็นต้น



รูปที่ 3.9 แสดงแสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหและทะลุผ่าน

- ตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) การส่องผ่านของแสงลักษณะนี้ แสงที่ส่องผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจาย (diffuse transmission) และในกรณีนี้จะไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน



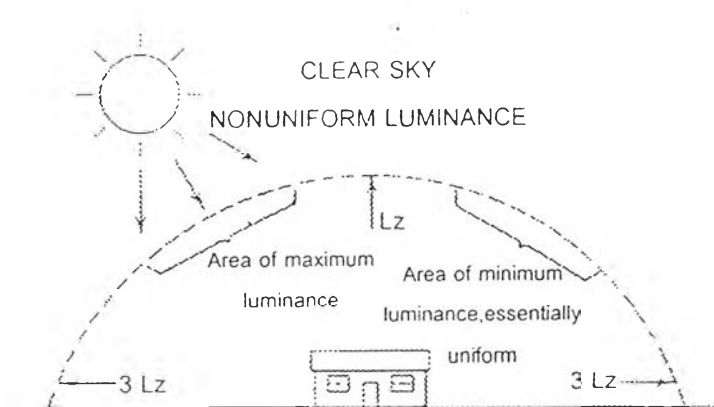
รูปที่ 3.10 รูปแสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย

### 3.3 สภาวะท้องฟ้า (Sky Condition)

การเปลี่ยนแปลงของท้องฟ้าส่งผลให้พลังงานของแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และความส่องสว่างเปลี่ยนไปด้วย ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณและประเภทของเมฆ จำนวนก้อนเมฆ ความสกปรกของอากาศ ความชื้น ไอน้ำ และฝุ่นละอองบนท้องฟ้า

สภาวะของท้องฟ้า แบ่งได้ตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

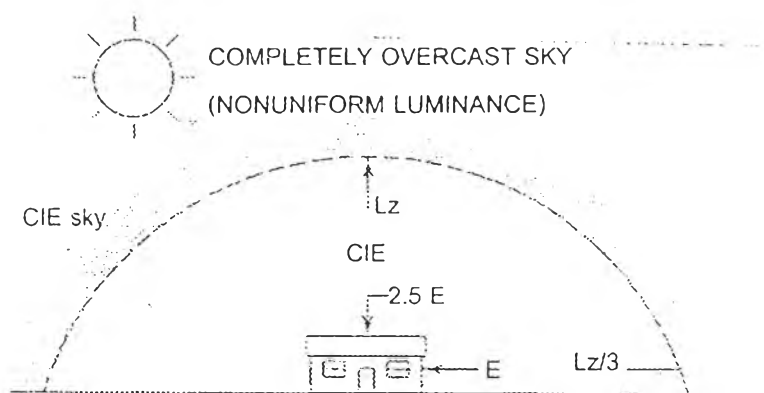
1. ท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมไม่เกิน 30% แบ่งได้ 2 แบบ คือ เฉพาะการสะท้อนของท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว และการสะท้อนของท้องฟ้ารวมกับดวงอาทิตย์ แต่โดยปกติในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสมักต้องมีดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย แต่ถ้าเราคิดทิศทางของอาคาร ทิศเหนือในฤดูหนาวจะรับรังสีสะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งในขณะเดียวกัน ทิศอื่น ๆ ก็จะได้รับรังสีสะท้อนจากท้องฟ้าและดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วยอย่างไรก็ตามถ้าคิดการกระจายแสงที่สะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว เราสามารถหาค่าความส่องสว่าง ( $L$ ) ในระดับขอบฟ้าเป็น 3 เท่าของจุดยอดท้องฟ้า และผลของค่าความส่องสว่าง ( $E$ ) ทั้งทางแนวราบ ( $E_h$ ) และในแนวตั้ง ( $E_v$ ) เป็นผลมาจากมุมแนวตั้งของดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (solar Altitude) และมุมในแนวราบที่ทำกับทิศใต้ (Solar Azimuth)



รูปที่ 3.11 ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าสภาวะ Clear Sky

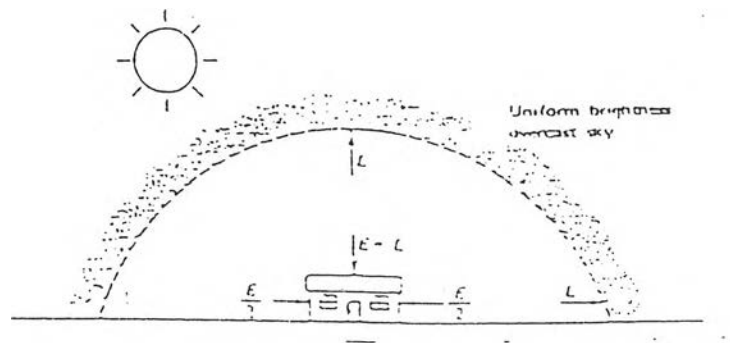
2. ท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Partly Cloudy Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม 30-70% โดยค่าความส่องสว่างมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการคำนวณจึงเป็นไปได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าเมฆปกคลุมอย่างสม่ำเสมอ เราก็อาจเลือกการกระจายความส่องสว่างแบบของท้องฟ้าที่ความส่องสว่างเป็นอัตราส่วน 1: 3 ของความส่องสว่างในแนวราบของระดับขอบฟ้ากับความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า (Horizon to Zenith)

ถ้าเราคิดในเรื่องของความสว่าง ความสว่างในแนวราบ ( $E_h$ ) และความสว่างในแนวตั้ง ( $E_v$ ) ในอัตราส่วนของ 2.5: 1



รูปที่ 3.12 ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าสภาวะ Partly Cloudy Sky

3. ท้องฟ้ามืด (Overcast Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่เป็นแบบเดียวกันหมด มีเมฆปกคลุมมากกว่า 70% ไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ และปกติโดยทั่วไปจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ และช้ากว่าสภาวะของท้องฟ้าแบบอื่น ๆ ขอบเขตของท้องฟ้ามืดขึ้นอยู่กับฤดูกาลต่าง ๆ โดยท้องฟ้ามืดที่มีค่าความส่องสว่างเท่ากันตลอด (Uniform Brightness Overcast Sky) เป็นค่าโดยประมาณที่หาได้จากการกระจายความส่องสว่างของท้องฟ้า (Sky Luminance Distribution) และค่าความสว่างในแนวราบ ( $E_h$ ) มีค่าเท่ากับความส่องสว่าง ( $L$ ) ส่วนค่าความสว่างในแนวตั้ง ( $E_v$ ) มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าความสว่างในแนวราบ



รูปที่ 3.13 ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าสภาวะ: Overcast Sky

### 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแผ่รังสีและแสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติที่ส่องผ่านตัวกลางในลักษณะต่าง ๆ ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ๆ ก็จะสามารถแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ ดังนั้นพลังงานการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ก็สามารถวัดได้จากปริมาณการส่องสว่างของแสงที่ได้ผ่านตัวกลางนั้นมาเช่นกัน โดยความสัมพันธ์นี้ปรากฏในงานวิจัยของ Hopkins (1966) ดังนี้

1. ปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 Lumens/Watt ที่มุมของพระอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ  $25^\circ$  และจะเท่ากับ 90 Lumens/Watt ที่มุมของพระอาทิตย์อยู่ระหว่าง  $7.5^\circ$  ถึง  $25^\circ$  ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังจะต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่น ๆ อีก เช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพของบรรยากาศ เป็นต้น

2. หาความสัมพันธ์โดยวิธี Regression Equation จากปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ ( RAD: Btu/h \* ft<sup>2</sup> ) กับปริมาณความสว่างจากแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (ILLUM: Footcandles) ดังนี้

$$E = 104.8 + 31.007 * I \quad \dots\dots\dots(13)$$

โดย E = ปริมาณความสว่างจากดวงอาทิตย์ (fc.)

I = ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ (Btu/h \* ft<sup>2</sup>)



โดยความสัมพันธ์นี้ ครอบคลุมในทุก ๆ สภาพของลักษณะท้องฟ้าที่ท้องฟ้าเดียวกัน โดยมี R-Square เท่ากับ 0.97 และ Standard error = 9.7 Footcandles

### 3.5 การหาค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่ส่งผลให้มีการใช้พลังงานในอาคาร

ปริมาณความร้อนที่เข้ามาจากการนำความร้อน (Conduction Heat Gain) ผ่านเปลือกอาคารเข้ามาเป็นดังนี้

$$Q = UA \Delta T \quad \dots\dots\dots(14)$$

- โดยที่ Q = ความร้อนที่เข้ามาในอาคาร (W)  
 U = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนัง (W/m<sup>2</sup>\*K)  
 A = พื้นที่ผนัง (m<sup>2</sup>)  
 ΔT = ความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกและภายในมีหน่วยเป็น (°C หรือ °F)

จะพบว่าปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของผนังซึ่งหากเราสามารถทำให้ผนังดังกล่าวสามารถนำความเย็นเข้ามาแทนความร้อน ก็จะสามารถลดความแตกต่างของอุณหภูมิลงได้ซึ่งเป็นการขยายช่วงอุณหภูมิที่น่าสบาย ให้เพิ่มขึ้น (Extended Thermal Comfort)

#### 3.5.1 อุณหภูมิโซล-แอร์ (Sol-Air Temperature)

อุณหภูมิโซล-แอร์ (Sol-Air Temperature) เป็นอุณหภูมิอากาศภายนอก ที่ปราศจากการแลกเปลี่ยนของการแผ่รังสี โดยมีค่าเท่ากับความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางพื้นผิว ที่มีส่วนประกอบของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ, พลังงานการแผ่รังสีที่แลกเปลี่ยนกับท้องฟ้ารวมทั้งสภาพแวดล้อม และการพาความร้อนแลกเปลี่ยนกับอากาศภายนอก โดยมีสูตรการหา ดังนี้

$$t_e = t_o + \frac{\alpha I_t}{h_o} - \frac{\sum \Delta R}{h_o} \quad \dots\dots\dots(15)$$

- โดยที่  $t_o$  = อุณหภูมิอากาศภายนอก ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\alpha$  = ค่าความดูดกลืนการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ของผิววัตถุ  
 $I$  = ปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนวัตถุ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
 $h_o$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน ณ ผิวภายนอกวัตถุ ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{k}$ )  
 $\Sigma \Delta R$  = ค่าความแตกต่างระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวของผิว  
 วัสดุกับท้องฟ้า และสภาพแวดล้อม ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

สำหรับงานวิจัยนี้ อุณหภูมิภายนอกดังกล่าวคืออุณหภูมิที่กำหนดให้เป็น Sol-Air Temperature เพื่อต้องการหาค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการทำความเย็นในแก้อาคารที่มีปริมาณแตกต่างกันโดยการสกัดกั้นการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ของต้นไม้แต่ละชนิด ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ใกล้เคียงอุณหภูมิจริงที่ผิววัสดุอันเกิดจากอิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยที่ไม่สามารถใช้ค่า  $\Delta T$  ได้ เนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายนอกอาจมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอก อุณหภูมิโซล-แอร์ จึงส่งผลโดยตรงต่อปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผิวผนังเข้าสู่ภายในอาคาร

### 3.5.2 การหาค่าพลังงานในส่วนภาระการทำความเย็นในอาคาร

ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาในอาคารส่งผลให้ภาระการทำความเย็นในอาคารมีขนาดต่างกันการหาค่าพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นจึงต้องขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังนั้นๆ และค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าภาระการทำความเย็น (total equivalent cooling load temperature difference ; CLTD)

การใช้ CLTD ในการหาปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามานั้นช่วยให้มีความแม่นยำขึ้นเนื่องจาก ประกอบด้วย

- 1) การล่าช้าของเวลา (Time Lag) ในการส่งผ่านความร้อนของผนังที่ภายนอก
- 2) การหน่วงเวลา (Time Delay) โดยการกักเก็บความร้อน (Thermal Storage) ในการเปลี่ยนปริมาณรังสีความร้อนเป็นภาระการทำความเย็น (Cooling Load)

$$q = UA (\text{CLTD}) \dots\dots\dots(16)$$

- โดยที่  $q$  = ภาระการทำความเย็น (cooling load) (W)  
 $U$  = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (coefficient of heat transfer) ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

$$A = \text{พื้นที่ของพื้นผิว (area of surface) (m}^2\text{)}$$

$$\text{CLTD} = \text{ค่าความแตกต่างอุณหภูมิของภาระการทำความเย็น (cooling load temperature difference) (}^\circ\text{)}$$

โดยทั่วไปการกำหนด CLTD ขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในที่ต้องการปรับอากาศ โดยกำหนดให้

- อุณหภูมิในการปรับอากาศภายในเท่ากับ  $25.5^\circ\text{C}$
- อุณหภูมิภายนอกสูงสุดเท่ากับ  $35^\circ\text{C}$  โดยมี Mean temperature= $29.5^\circ\text{C}$  และ Daily range= $11.6^\circ\text{C}$
- Outside surface film resistance= $0.056 \text{ m}^2 \cdot \text{KW}$
- Inside surface resistance= $0.121 \text{ m}^2 \cdot \text{KW}$
- การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในสภาวะท้องฟ้าแบบ Clearsky วันที่ 21 ของทุกเดือน
- พื้นผิวมีสีดำ (Dark surface)

ในกรณีที่มีการออกแบบอุณหภูมิ สามารถปรับแก้ไขได้โดย

$$\text{Corr.CLTD} = \text{CLTD} + (25.5 - t_r) + (t_m - 29.4) \dots\dots\dots(17)$$

โดยที่  $t_r =$  อุณหภูมิอากาศภายใน

$$t_m = \text{อุณหภูมิภายนอกสูงสุด} - (\text{daily range})/2$$

ขั้นตอนในการหา CLTD ที่สำคัญคือ การเลือกข้อมูลพื้นฐานในการใช้วัสดุ และองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญของการส่งผ่านปริมาณความร้อนผ่านผนัง หลังคา และช่องกระจก วิธีการหา CLTD และหาค่าพลังงานที่ใช้ในอาคารจึงหาได้โดยการใช้หลักการของ Transfer Function Method (TFM)