



บทที่ 2

ทฤษฎีการคำนวณแสงสว่างธรรมชาติและ การหาพลังงานความร้อนที่เข้ามาในอาคาร

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังบรรยากาศของโลก (คิดระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เฉลี่ย 92.9×10^6 ไมล์) เท่ากับ $434.29 \text{ BTU/h.Ft}^2$ (Hickey et al 1981) ซึ่งจริงๆ แล้ว วงโคจรของโลกเป็นวงรี ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์แปรเปลี่ยนมากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม เมื่อโลกเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเท่ากับ 449.6 BTU/h.Ft^2 และจะน้อยที่สุดเท่ากับ 419.9 BTU/h.Ft^2 ในวันที่ 6 กรกฎาคม เมื่อโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด

2.1 นิยามและคำศัพท์เทคนิค

เส้นศูนย์สูตร (Equator)

เส้นศูนย์สูตรเป็นเส้นสมมุติที่ลากรอบโลกผ่านระหว่าง กึ่งกลางขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้

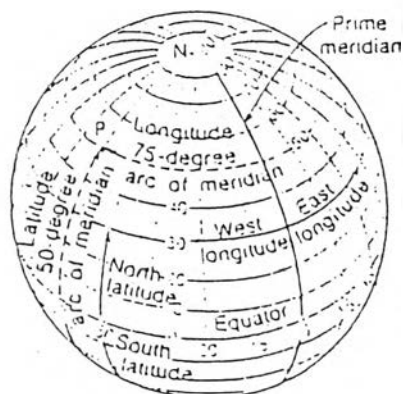
เส้นรุ้ง (Latitude)

เส้นรุ้งเป็นเส้นสมมุติที่ลากรอบโลกขนานกับเส้นศูนย์สูตร โดยแบ่งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ออกเป็น 90 องศา เท่าๆ กัน

เส้นแวง (Longitude)

เส้นแวงเป็นเส้นสมมุติที่ลากจากขั้วโลกเหนือไปขั้วโลกใต้ และในการหาตำแหน่งบนพื้นโลกให้เทียบจากเส้นเมอร์เดียนปฐม (Prime Meridian) ดังรูป 2.1

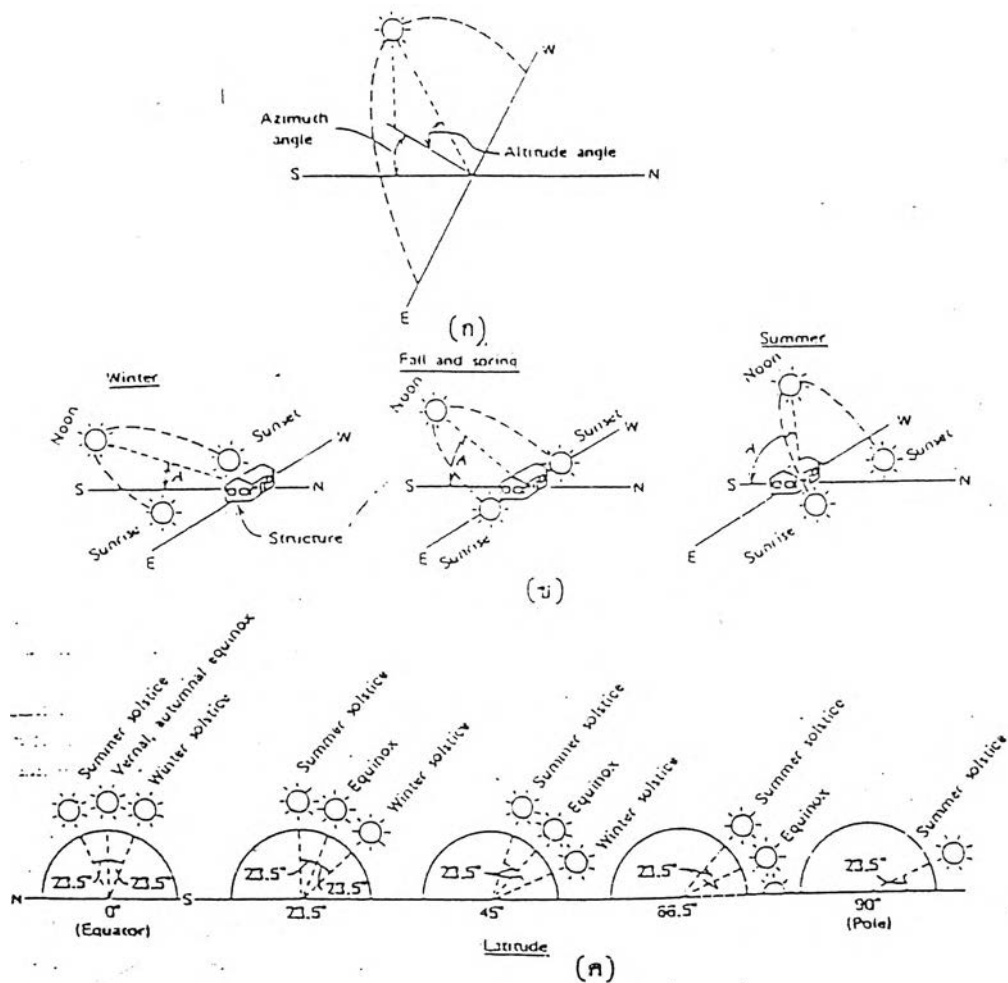
รูป 2.1 แสดงตัวอย่างการแบ่งเส้นศูนย์สูตร
เส้นรุ้ง และเส้นแวงรอบโลก



แอลติจูดและอะซิมุม (Altitude & Azimuth)

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะขึ้นอยู่กับมุมแอลติจูด เหนือเส้นระดับขอบฟ้า และมุมอะซิมุม วัดจากมุมในแนวราบ โดยวัดเทียบกับทิศใต้ ในรูป 2.2 ก. เป็นปรากฏการณ์ง่ายๆ ของการเคลื่อนที่ของโลก ด้วยฤดูกาลต่างๆ ในแต่ละเส้นรุ้ง (Latitude) ที่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ตามสภาวะต่างๆ ดังนี้

1. ในแต่ละเส้นรุ้ง แอลติจูดของดวงอาทิตย์จะสูงสุดในฤดูร้อน และต่ำสุดในฤดูหนาว ส่วนฤดูฝนจะอยู่ระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังในรูป 2.2 ข.
2. ตำแหน่งที่ใกล้เส้นศูนย์สูตร (Equator) ค่าสูงสุดของมุมทางตั้งดวงอาทิตย์ เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (Altitude of Sun) จะเปลี่ยนแปลงแต่ละเส้นรุ้ง ดังรูป 2.2 ค. สำหรับแต่ละเส้นรุ้งจะเปลี่ยนแปลง 23.5 องศา ทุกๆ ปี และมุมแอลติจูดจะสูงสุดเมื่ออยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร
3. มุมอะซิมุมของดวงอาทิตย์ จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาของแต่ละวัน ทั้งมุมอะซิมุม และแอลติจูด เป็นผลทำให้ระดับความสว่างภายนอกอาคารเปลี่ยนแปลง



รูป 2.2 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมแนวตั้งเหนือระดับขอบฟ้า (Altitude) และมุมในแนวราบของดวงอาทิตย์ (Azimuth) โดยวัดเทียบกับทิศใต้

โซลาเอ็ลติจูด (Solar Altitude) ใช้สัญลักษณ์ A_1

โซลาเอ็ลติจูดเป็นมุมแนวตั้งของดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า จะมีมุมตั้งแต่ 0-90 องศา

โซลาอะซิมุต (Solar Azimuth) ใช้สัญลักษณ์ A_z

โซลาอะซิมุตเป็นมุมทางแนวราบของดวงอาทิตย์ โดยปกติมุมจะวัดเทียบกับทิศใต้ และจะมีมุมตั้งแต่ 0-180 องศา

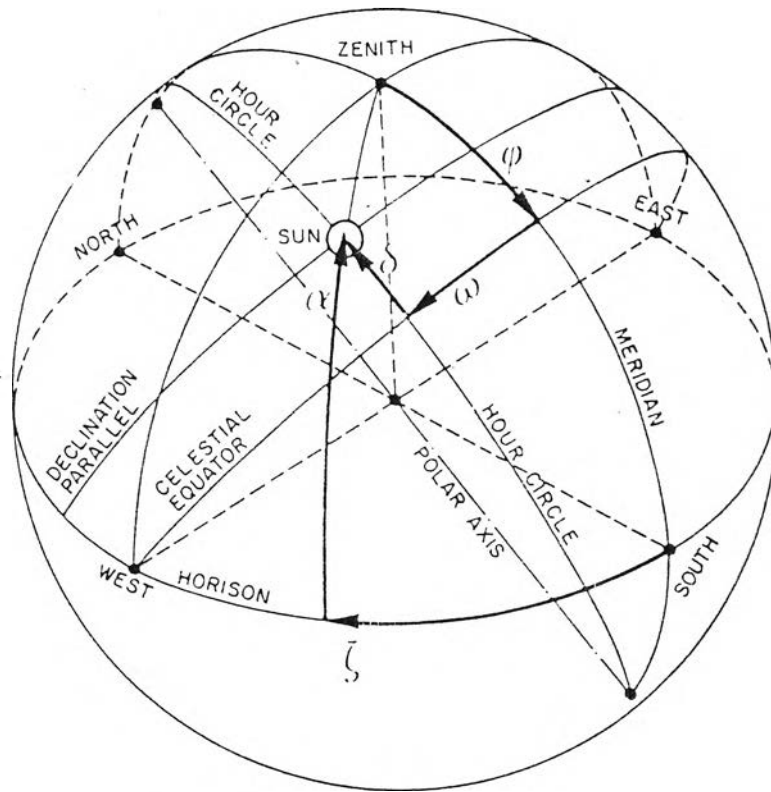


Fig.1 The celestial sphere. .

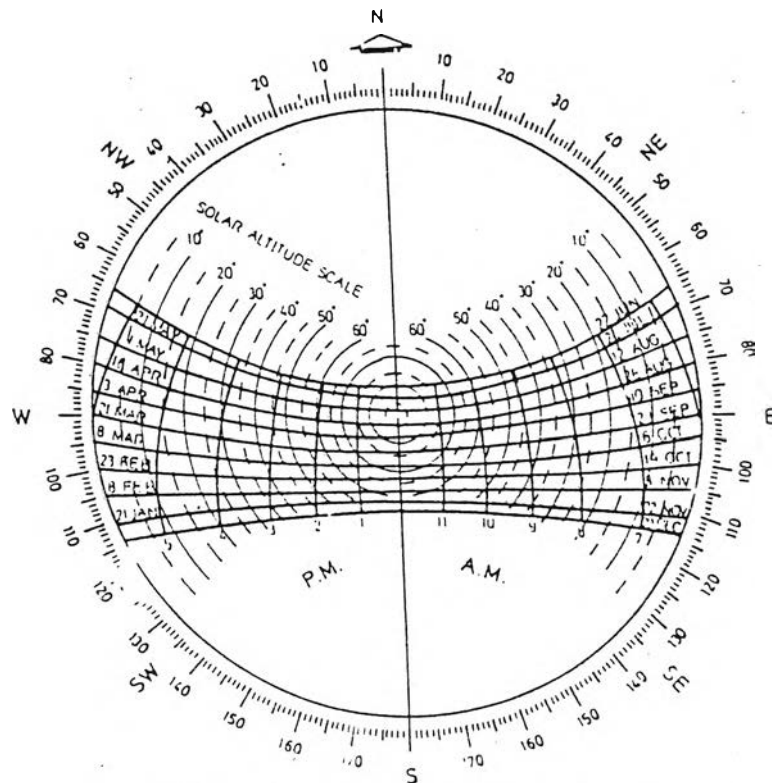
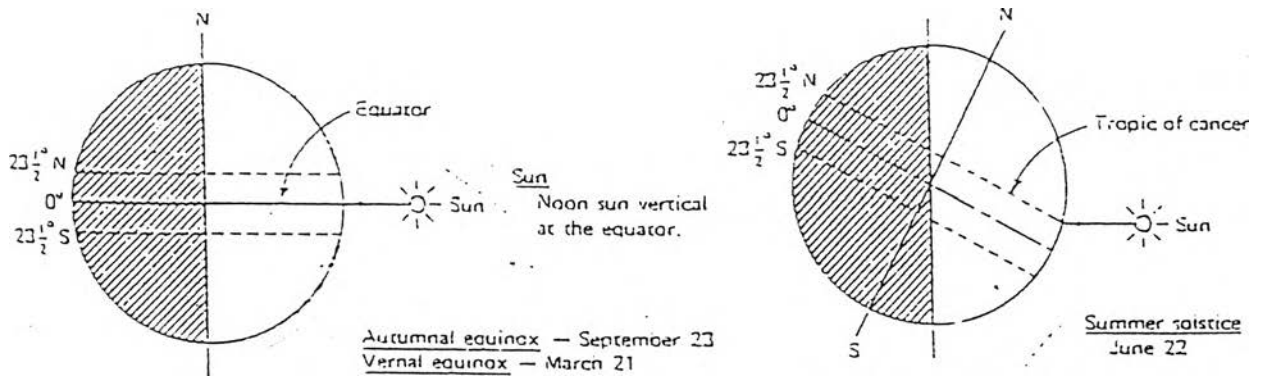


Fig. 3.22. Solar chart for Bangkok. Latitude: 13.75N.

ความส่องสว่าง (Luminance หรือ Brightness) ใช้สัญลักษณ์ L และหน่วยของค่าความส่องสว่างเป็นฟุตแลมเบิร์ต หรือเป็น นิต ($\text{Nit}, \text{cd}/\text{m}^2 : \text{nt}$) ;

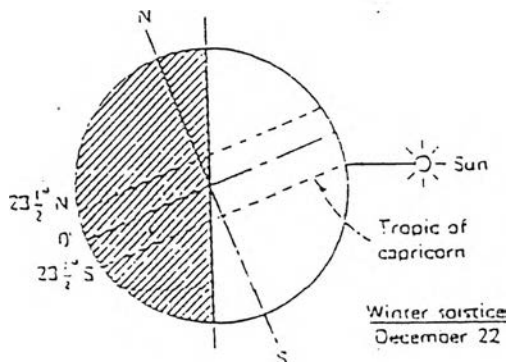
วันที่เวลาสมดุสย (Equinox)

เป็นวันที่ทุกๆ แห่งบนพื้นโลกมีระยะเวลากลางวัน และกลางคืน 12 ชั่วโมง เท่าๆ กัน และดวงอาทิตย์จะเดินทางตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรพอดี สำหรับในวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่า วันที่เวลาสมดุสยในฤดูใบไม้ผลิ (Vernal Equinox) และในวันที่ 23 กันยายน เรียกว่า วันที่เวลาสมดุสยในฤดูใบไม้ร่วง (Autumnal Equinox) ดังรูป 2.3 ก.



(ก) กลางวันเท่ากับกลางคืน

(ข) กลางวันยาวกว่ากลางคืน



(ค) กลางวันสั้นกว่ากลางคืน

รูป 2.3 แสดงผลของการเกิดฤดูกาล

วันเริ่มฤดูร้อน (Summer Solstice)

วันเริ่มฤดูร้อน เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่วนขั้วโลกใต้จะเบนออกจากดวงอาทิตย์ วันนั้นก็คือ 22 มิถุนายน ดังรูป 2.3 ข.

วันเริ่มฤดูหนาว (Winter Solstice)

วันเริ่มฤดูหนาว เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด และขั้วโลกใต้เบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด วันนั้นก็คือ 22 ธันวาคม ดังรูป 2.3 ค.

ความสว่าง (Illumination) ใช้สัญลักษณ์ E และหน่วยของความสว่างเป็น ฟุตแคนเดิล (Footcandle : FC) หรือเป็นลักซ์ (Lux); lm/m^2 : lx)

การส่งผ่านของวัสดุ (Transmittance) ใช้สัญลักษณ์ T

ค่าการส่งผ่านของวัสดุนี้ ขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุที่จะยอมให้แสงผ่านมากหรือน้อยก็เปอร์เซ็นต์

การสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) ใช้สัญลักษณ์ R

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุที่จะสะท้อนแสงออกจากผิวหน้าวัสดุต่อฟลักซ์ความสว่างที่ตกกระทบผิวหน้าของวัสดุนั้น ดังนั้น ความสามารถในการสะท้อนจึงขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

อัตราส่วนพื้นที่การส่งผ่านวัสดุกับพื้นที่หน้าต่าง (Ratio of Transmission Area to Window Area) ใช้สัญลักษณ์ AF

ค่า AF นี้ เป็นค่าที่คิดเฉพาะกระจกเท่านั้น หรือประมาณ 80% ของขนาดหน้าต่างเมื่อลบกรอบหน้าต่างเรียบร้อยแล้ว

ค่าการบำรุงรักษา (Maintenance) ใช้สัญลักษณ์ KM

ค่าบำรุงรักษาขึ้นอยู่กับระดับความสกปรก และระยะเวลาทำความสะอาด

2.2 สภาวะท้องฟ้า (Sky Condition)

ความส่องสว่างของท้องฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง ก็ไม่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นเพียงหลักการเบื้องต้นเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและประเภทของเมฆบนท้องฟ้า จำนวนก้อนเมฆ ความสกปรกของอากาศ ความชื้นมีอยู่บ่อยครั้งที่ไอน้ำบนท้องฟ้าสูง อย่างไรก็ตามหลังจากที่แสงธรรมชาติผ่านสิ่งต่างๆ มาถึงพื้นดินระดับความสว่างบนพื้นดินจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง สิ่งนี้แหละที่จะช่วยให้นักออกแบบเข้าใจเกี่ยวกับสภาวะของท้องฟ้าเข้าสู่ในอาคาร สภาวะของท้องฟ้าสามารถแบ่งลักษณะต่างๆ ดังนี้ คือ

2.2.1 ท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมไม่เกิน 30% แบ่งได้ 2 แบบ คือ เฉพาะการสะท้อนของท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว และการสะท้อนของท้องฟ้ารวมกับดวงอาทิตย์ แต่โดยปกติในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสมักต้องมีดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย แต่ถ้าเราคิดทิศทางของอาคาร ทิศเหนือในฤดูหนาวจะรับแสงสะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งในขณะเดียวกัน ทิศอื่นๆ ก็จะได้รับแสงสะท้อนจากท้องฟ้าและดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามถ้าคิดการกระจายแสงที่สะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว เราสามารถหาค่าความส่องสว่าง (L) ในระดับขอบฟ้าเป็น 3 เท่าของจุดยอดท้องฟ้า และผลของค่าความสว่าง (E) ทั้งทางแนวราบ (E_h) และในแนวตั้ง (E_v) เป็นผลมาจากมุมแนวตั้งของดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (Solar Altitude) และมุมในแนวราบที่ทำกับทิศเหนือหรือใต้ (Solar Azimuth) แต่โดยปกติจะทำมุมกับทิศใต้ ดังแสดงในรูป 2.4 ก.

2.2.2 ท้องฟ้ามีเมฆมาก (Partly Cloudy Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม 30-70% โดยค่าความส่องสว่างมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การคำนวณจึงเป็นไปได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าเมฆปกคลุมอย่างสม่ำเสมอ เราก็อาจเลือกการกระจายความส่องสว่างแบบของท้องฟ้าที่ความส่องสว่างเป็นอัตราส่วน 1:3 ของความส่องสว่างในแนวราบของระดับขอบฟ้ากับความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า (Horizon to Zenith) และความส่องสว่างหาได้จาก

$$L_e = L_z \times \frac{1+2 \times \sin \theta}{3} \quad \text{นิต (cd/m}^2\text{)} \quad (6)$$

เมื่อ

L_e = ความส่องสว่างที่ 0° เหนือระดับขอบฟ้า

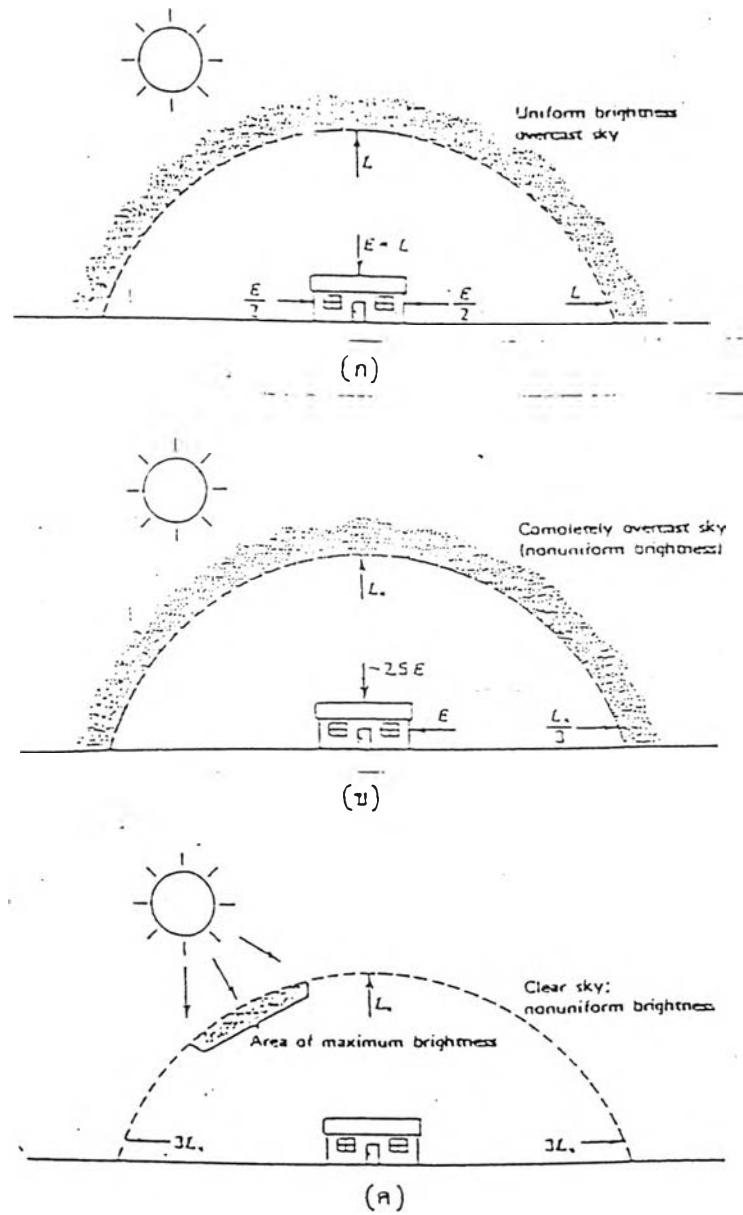
L_z = ความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า

ถ้า $\theta = 0^\circ$ คือ อยู่ที่ระดับขอบฟ้า

$$L_e = \frac{L_z}{3}$$

ถ้าเราคิดในเรื่องของความสว่าง ความสว่างในแนวราบ (E_h) และความสว่างในแนวตั้ง (E_v) ในอัตราส่วนของ 2.5:1 ดังแสดงในรูป 2.4 ข.

2.2.3 ท้องฟ้ามีด (Overcast Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่เป็นแบบเดียวกันหมด มีเมฆปกคลุมมากกว่า 70% ไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ และปกติโดยทั่วไปจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ และช้ากว่าสภาวะของท้องฟ้าแบบอื่นๆ ขอบเขตของท้องฟ้ามีดขึ้นอยู่กับฤดูกาลต่างๆ โดยท้องฟ้ามีดที่มีค่าความส่องสว่างเท่ากันตลอด (Uniform Brightness Overcast Sky) เป็นค่าโดยประมาณที่หาได้จากการกระจายความส่องสว่างของท้องฟ้า (Sky Luminance Distribution) และค่าความสว่างในแนวราบ (E_h) มีค่าเท่ากับความส่องสว่าง (L) ส่วนค่าความสว่างในแนวตั้ง (E_v) มีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของค่าความสว่างในแนวราบ ดังแสดงในรูป 2.4 ค.



รูป 2.4 แสดงความส่องสว่างและความสว่างของท้องฟ้า ตามสภาวะของท้องฟ้า ทั้งท้องฟ้ามืดและท้องฟ้าแจ่มใส

2.3 ความเกี่ยวข้องของการใช้พลังงานและแสงสว่าง

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังบรรยากาศของโลกมี 2 ชนิด คือ

1. การแผ่รังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation) การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์นี้ เกิดจากพื้นผิวของดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นอัลตรา ไวโอเล็ต 0.29 μm -0.40 μm , ช่วงแสงสว่าง 0.4 μm -0.7 μm และช่วงใกล้อินฟราเรด 0.7 μm -3.5 μm (The Ultra Violet, Visible and Near Infra-Red Regions) โดยเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) คิดเป็นสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 9%, 38% และ 53% ตามลำดับ

2. การแผ่รังสีแสงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก (Terrestrial Radiation) คือ การแผ่รังสีความร้อนจากบรรยากาศและวัตถุบนพื้นผิวโลก ในช่วงคลื่นแสงเหนืออินฟราเรด (The Far Infra-Red Regions) โดยเรียกอีกชื่อว่า การแผ่รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation)

โดยทั่วไป การทำความร้อนแก่พื้นผิวอาคาร มักเกิดโดย Solar Radiation เป็นหลัก ส่วน Terrestrial Radiation นั้น มีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากปริมาณที่รับและส่งออกมาจากพื้นผิวเกือบใกล้เคียงกัน ซึ่งในการวิจัยนี้ จะกล่าวถึง Solar Radiation เท่านั้น โดย

พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (Beam Radiation or Direct Solar Radiation) คือ พลังงานที่รับได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์ โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง (I_D)

พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Radiation) คือ พลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นแสงอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่มาจากท้องฟ้าทั้งหมด (I_{DS})

พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากแสงสะท้อน (I_R : Reflected Solar Radiation From Surrounding Surface)

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม (Total or Global Solar Radiation) คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงและแบบรังสีกระจายที่รับได้บนระนาบ (โดยทั่วไป ะวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมบนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา-หน่วยพื้นที่) (I_T)

$$\text{โดย } I_T = I_D + I_{ds} + I_r \quad \text{BTU/H. sq.ft.(2.1)}$$

โดยทั่วไป การแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง ต่อพื้นผิวดังฉากกับดวงอาทิตย์ (ทำมุมโดยรอบ 5.7° โดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ที่ดวงอาทิตย์) ในภาวะท้องฟ้าแจ่มใสโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 285 BTU/H. sq.ft. (900 W/sq.m.) และพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย จะมีค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า โดยในภาวะท้องฟ้าแจ่มใส โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 32 BTU/H. sq.ft. (100 W/sq.m.) แต่ในภาวะท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีค่าอยู่ในช่วง 95-190 BTU/H.sq.ft. (300-600 W/sq.m.)

2.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (Direct Solar Radiation)

จากสมการที่ 2.1 สามารถคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงได้จาก

$$I_D = I_{DN} * \cos\theta \quad \text{BTU/H. SQ.FT.(2.2)}$$

(เมื่อ θ = มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ เพิ่มขึ้น, I_D จะลดลง)

โดย I_{DN} = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบระดับ

โดยความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบที่ทิศทางเฉพาะใดๆ เมื่อเทียบกับโลกที่เวลาใดๆ (ไม่ว่าจะเป็นระนาบที่อยู่กับที่หรือเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับโลกก็ตาม) กับพลังงาน

แสงอาทิตย์แบบตรงที่ได้รับ, นั่นคือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยมุมต่างๆ โดยที่มุมต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างมุมมีดังนี้

เดคลิเนชัน (Declination) คือ มุมที่เกิดระหว่างแนวต่อศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตร เมื่อเวลาเที่ยงสุริยะ, โดยทางเหนือของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นบวก ทางใต้ของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ มีค่าระหว่าง -23.45° ถึง 23.45°

มุมเอียงของระนาบ (Slope) คือ มุมของระนาบที่ทำกับแนวระดับมีค่าระหว่าง $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ($\beta > 90^\circ$ แสดงว่าระนาบหันหน้าลง)

มุมเอซิมูทของระนาบ (Surface Azimuth Angle) คือ มุมที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของแนวฉาย (Projection) บนระนาบระดับของเส้นตั้งฉากกับผิวระนาบจากแนวเมริเดียน (Local Meridian) มุมนี้มีค่าเป็นศูนย์ถ้าแนวของรูปฉายชี้ไปทางทิศใต้ มีค่าเป็นบวกถ้าชี้ไปทางทิศตะวันตกของทิศใต้ และเป็นลบถ้าชี้ไปทางทิศตะวันออกของทิศใต้ มุมนี้มีค่าระหว่าง $-180^\circ \leq \nu \leq 180^\circ$

มุมของเวลา (Hour Angle) คือ มุมที่เกิดจากแนวฉายของเส้นที่ลากจากศูนย์กลางของโลกไปยังตำแหน่งใดๆ บนผิวโลกทำกับแนวต่อระหว่างศูนย์กลางของโลกและดวงอาทิตย์ที่เวลาเที่ยงสุริยะ ที่เวลาเที่ยงสุริยะมุมนี้ จะเป็นศูนย์และจะเพิ่ม 15° ทุกๆ ชั่วโมง โดยทางด้านเวลาเช้าจะเป็นลบ และเวลาทางบ่ายจะเป็นบวก

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Angle of Incidence) คือ มุมที่เกิดจากแนวของแสงอาทิตย์ทำกับแนวของเส้นตั้งฉากของระนาบ

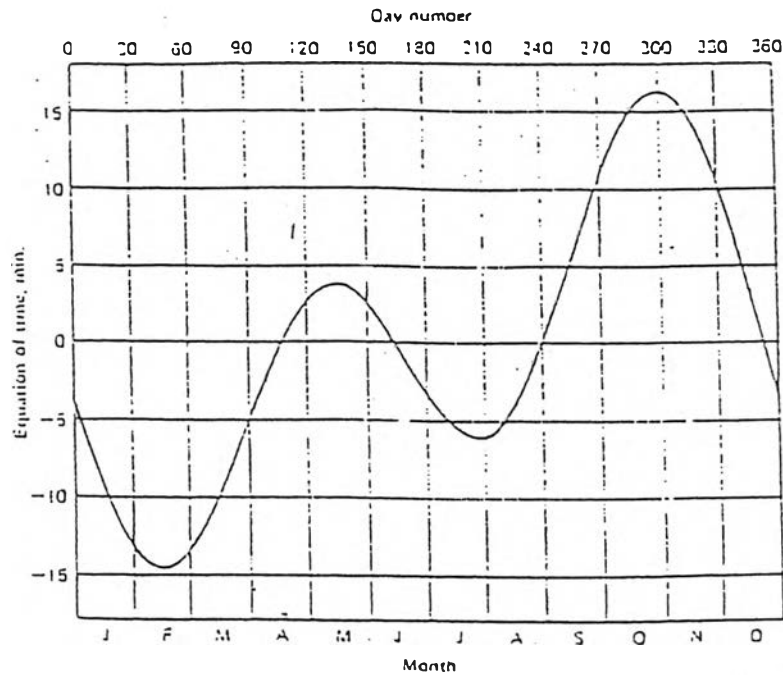
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าวันเฉลี่ยของแต่ละเดือน

Recommended Average Day* for Each Month [from Klein (1976)]
and Values of n by Months

Month	n for i th Day of Month*	For the Average Day of the Month		
		Date	n , Day of Year ^b	δ , Declination
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

* The average day is that day which has the extraterrestrial radiation closest to the average for the month.

^b These do not account for leap year; values of n from March onward for leap years can be corrected by adding 1. Declination values will also shift slightly.



รูปที่ 2.1 แสดงสมการเวลา, E

2.5



มุมเซนิธ (Zenith Angle), มุมเอียงของระนาบ (Slope) และมุมแอสซิ
มุตของระนาบ (Surface Azimuth Angle) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 เดคลิเนชัน
(Declination), δ , สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360.284 + n}{365} \right) \quad \dots (2.3)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนวันของปี เพื่อความสะดวก n สามารถหาได้จากตารางที่ 2.1
(หรือจากรูปที่ 2.5)

สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์

วันเริ่มฤดูร้อน (Summer Solstice)

วันเริ่มฤดูร้อน เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่วนขั้ว
โลกใต้จะเบนออกจากดวงอาทิตย์ วันนั้นก็คือ 22 มิถุนายน ดังรูป 2.3 ข.

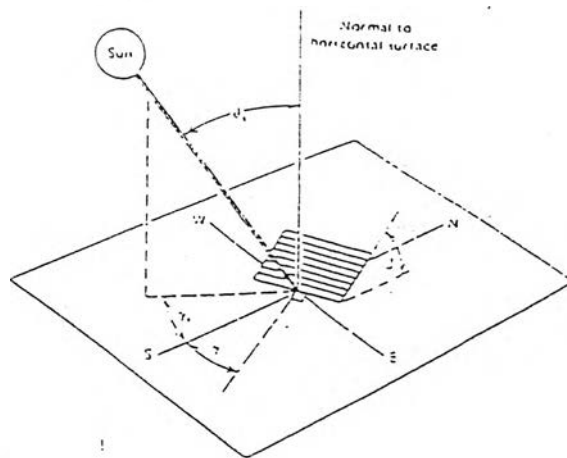
วันเริ่มฤดูหนาว (Winter Solstice)

วันเริ่มฤดูหนาว เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด
และขั้วโลกใต้เบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด วันนั้นก็คือ 22 ธันวาคม ดังรูป 2.3 ค. 0, กับมุม
อื่นๆ มีดังนี้

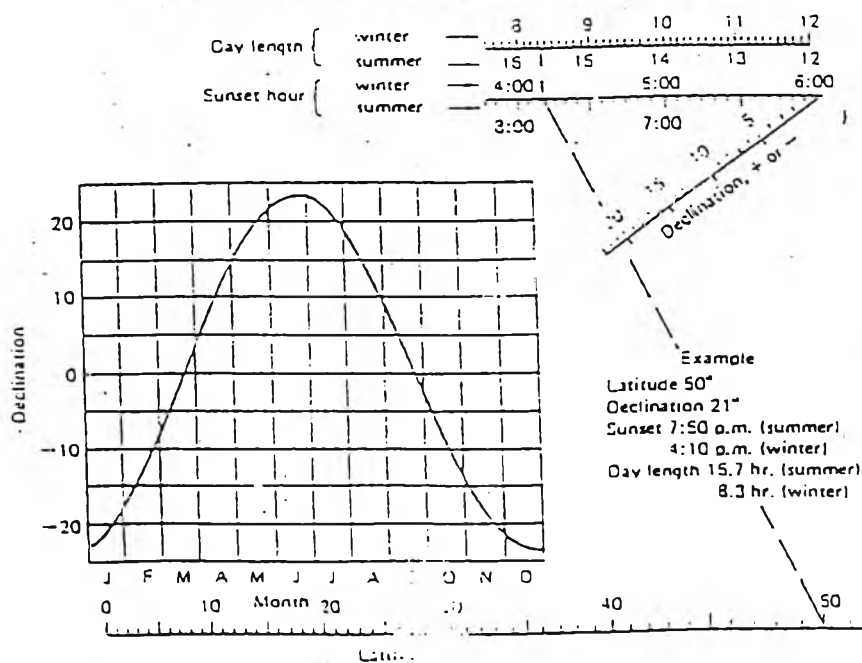
$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \psi \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \psi + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \psi \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \psi \sin \omega \end{aligned} \quad \dots (2.4)$$

มุมที่จะกล่าวถึงเพิ่มเติมได้แก่ มุมแอสซิมุมของดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle), คือ มุมที่เกิดจากแนวฉายของแนวแสงอาทิตย์บนระนาบระดับเท่ากับแนวเมริเดียน โดยที่มุมนี้จะ เป็นศูนย์เมื่อแนวของรูปฉายชี้ไปทางทิศใต้ จะมีค่าเป็นบวกเมื่อชี้ไปทางทิศตะวันตกของทิศใต้ และมีค่าเป็นลบถ้าชี้ไปทางทิศตะวันออกของทิศใต้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในกรณีทีระนาบวางอยู่ บนพื้นระดับ มุมเอียงระนาบ β เป็นศูนย์, มุมตกกระทบจะเป็นมุมเซนธิธ, θ_z , แทนค่า $\beta = 0$ ลงในสมการ (2.4) จะได้

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \dots\dots(2.5)$$



รูปที่ 2.6 แสดงมุมต่างๆ ของระนาบกับดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.7 แสดงโนโมแกรม

2.3.2 พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย

$$\text{จากสูตร } I_{ds} = C * I_{dn} * F_{ss} \quad \text{BTU/H. SQ. FT.} \quad \dots(2.6)$$

โดยที่ C = Diffuse Radiation Factor ดูจากตาราง

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



Angle Factor for Horizontal Surface Angle Factor for Vertical Surface

$$F_{ss} = (1 + \cos 0) / 2 = 1.0$$

$$F_{sg} = (1 - \cos 0) / 2 = 0$$

$$F_{ss} = (1 + \cos 90) / 2 = 0.5$$

$$F_{sg} = (1 - \cos 90) / 2 = 0.5$$

รูป 2.8 แฟคเตอร์

2.3.3 พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากแสงสะท้อน

พลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นสามารถคำนวณได้จาก

$$I_{th} = I_{dn} * (C + \sin \beta) \quad \text{BTU/H. SQ. FT.} \quad \dots(2.7)$$

และพลังงานที่สะท้อนจากพื้นไปยังผนัง สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{dg} = I_{th} * O_g * F_{sg} \quad \text{BTU/H. SQ. FT.} \quad \dots(2.8)$$

โดยที่ O_g = Ground Albedo (0.1 สำหรับดินสีเข้ม, 0.2 สำหรับ

พืชคลุมดิน, 0.3 สำหรับดินหรือวัสดุสีอ่อน)

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

2.3.4 พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม

จาก 2.1 จะได้ $I_t = (I_{dn} \cos \theta) + (C * I_{dn} * F_{ss}) + (I_{dn} * O_g * F_{sg})$

$$\dots(2.9)$$

2.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแสงสว่างตามธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (The Relationship Between Daylight and Solar Radiation)

เป้าหมายสำคัญในการศึกษาหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ คือ หาวิธีจำแนกปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในด้านทิศเหนือของอาคาร เพื่อนำมาเป็นสภาพจำลองเพื่อการวิจัย โดยนำข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จากสถานีตรวจวัดกรุงเทพมหานครมาแปรเป็นปริมาณแสงสว่าง (Daylight) จากการวิจัยของ Hopkinson ได้พบความสัมพันธ์ว่า

1. ปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 Lumens/Watt ที่มุมของพระอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25° และจะเท่ากับ 90 Lumens/Watt ที่มุมของพระอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5° ถึง 25° ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังจะต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ อีก เช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพของบรรยากาศ เป็นต้น

2. หาความสัมพันธ์โดยวิธี Regression Equation จากปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ (RAD : BTU/SQ.FT.) กับ ปริมาณความสว่างจากแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (ILLUM : FOOTCANDLES) ดังนี้

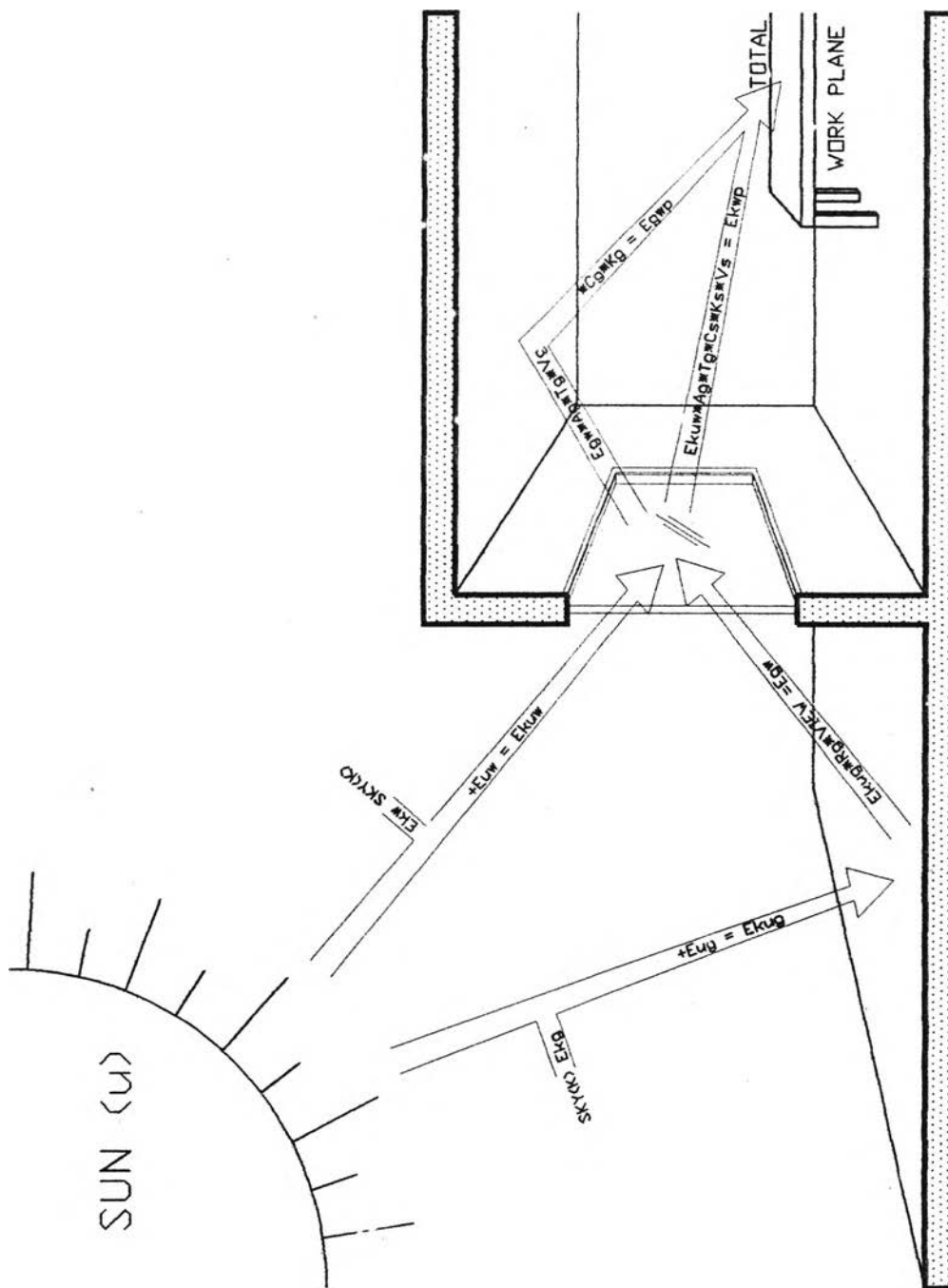
$$E = 104.8 + 31.007 * I \quad (2.10)$$

โดยความสัมพันธ์นี้ ครอบคลุมในทุกๆ สภาพของลักษณะท้องฟ้าที่ท้องฟ้าเดียวกัน โดยมี R-square เท่ากับ 0.97 และ standard error = 9.7 Footcandles

2.4 การออกแบบแสงธรรมชาติโดยวิธี Lumen Method

ซึ่งวิธีนี้ ต้องมีข้อมูลของแสงธรรมชาติ จึงจะสามารถคำนวณได้โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. หามุม Altitude ของดวงอาทิตย์ ณ ละติจูดที่ต้องการคำนวณ, พร้อมวันและเวลา



รูป 2.๕ แสดงกระบวนการวิธีการคำนวณของ Lumen Method

2. พิจารณาสภาพท้องฟ้า (Sky Condition) ซึ่งถ้าเปรียบเทียบปริมาณแสง สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก ให้แสงน้อยกว่าสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ที่ตำแหน่งหน้าต่างตรงกับดวงอาทิตย์ แต่ถ้าตำแหน่งหน้าต่างตรงกันข้ามกับดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมากจะสว่างกว่า ท้องฟ้าแจ่มใส

3. จากสูตร 2.10 นำมาคำนวณหาค่า E_{kw} , E_{uw} , E_{kg} , E_{ug} จะได้

$$E_{kuw} = E_{kw} + E_{uw} \quad \text{Footcandles} \quad (2.11)$$

$$E_{kug} = E_{kg} + E_{ug} \quad \text{Footcandles} \quad (2.12)$$

4. นำมาหาค่าแสงสว่างจากพื้นมายังหน้าต่าง

แสงที่สะท้อนจากพื้นหรือจากสิ่งอื่นๆ ภายนอกอาคาร เป็นสิ่งจำเป็นในการ ออกแบบแสงธรรมชาติ แสงที่สะท้อนจากพื้นดินในทิศที่มีแสงแดดกล้าจะมีค่าตั้งแต่ 10-15% ของแสงธรรมชาติทั้งหมด ที่มาที่หน้าต่าง ซึ่งเปอร์เซ็นต์นี้จะเป็นสัดส่วนกับลักษณะของพื้นต่างๆ เช่น ทราย, ดิน, ต้นไม้ปกคลุม หรือหิมะปกคลุม แต่สำหรับในทิศที่ดวงอาทิตย์ไม่เปิดเผยแสง สะท้อนที่ได้รับจากพื้นอาจมากกว่าครึ่งหนึ่งของแสงทั้งหมดที่มาที่หน้าต่าง ซึ่งการคำนวณ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_{gw} = E_{kug} \times R_g \times 0.5 \quad \text{Footcandles} \quad \dots 2.13$$

โดย R_g คือ ค่าการสะท้อนแสงของพื้น ดูจากตารางผนวกที่ 1.7

5. หาความสว่างของแสงธรรมชาติที่ได้รับจากท้องฟ้าตกลงบนระนาบทำงาน

$$E_{kwp} = E_{kuw} \times A_g \times T_g \times C \times K \quad \dots 2.14$$

โดย A_g คือ พื้นที่ผ่านแสงของช่องเปิดหลังจากตัดส่วนกรอบแล้ว

T_g คือ แฟคเตอร์ที่ยอมให้แสงผ่าน ดูจากตารางผนวกที่ 1.3

C คือ สปส. การใช้งานของความยาวห้องตามสภาพท้องฟ้า ดูตาราง

K คือ สปส. การใช้งานของความสูงของห้องตามสภาพท้องฟ้า ดู จากตาราง

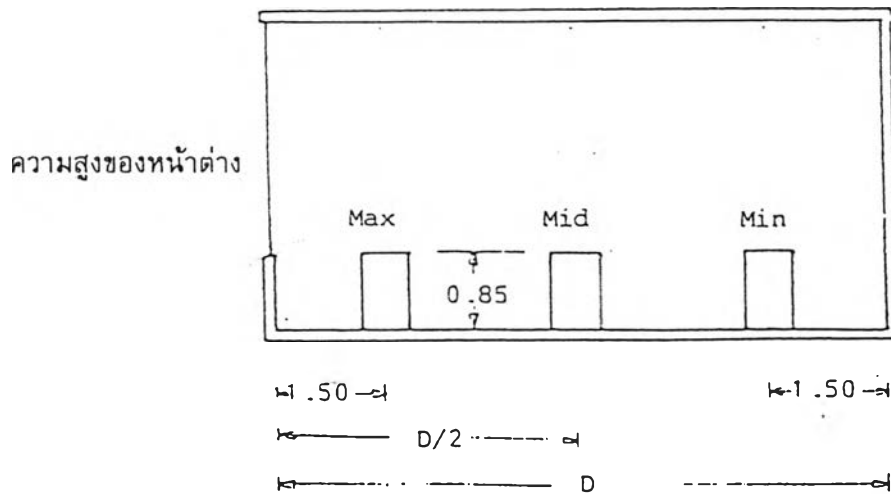
6. หาความสว่างของแสงธรรมชาติที่ได้รับจากการสะท้อนของพื้นดินตกลงบน
ระนาบทำงาน

$$E_{gwp} = E_{gw} \times A_g \times T_g \times C \times K \quad \dots 2.15$$

ดังนั้น ความสว่างของแสงธรรมชาติบนระนาบทำงาน (work Plane) จะ
ได้

$$E_{cp} = E_{gwp} + E_{kwp} \quad \dots 2.16$$

7. มาตรฐานการคำนวณค่าต่ำสุดของความสว่างที่ระยะ (5 FT.) จากหลังห้อง
ดังรูป 2.6



รูป 2.10 เป็นวิธีการคำนวณ IES แบ่งระยะตามมาตรฐานของวิธีนี้

เนื่องจากค่า C, K แปรผันตามความยาวและความสูงของห้อง ดังนั้น สามารถ
คำนวณได้เป็น E_{cpmax} , E_{cpmid} และ E_{cpmin} เมื่อเทียบกับปริมาณความสว่างที่
เพียงพอต่อการทำงานในสำนักงาน ใช้ประมาณ 50 Footcandles ดังนั้น ทำให้ทราบว่า
ห้องที่ใช้สว่างพอเพียงพอต่อการทำงานหรือไม่ ซึ่งอาจต้องใช้ไฟฟ้าประดิษฐ์ (Artificial
Light) มาช่วยเสริมในการทำงาน

2.5 การหาค่าความร้อนที่เข้ามา

ในการหาค่าความร้อนเข้ามาในอาคารจะพิจารณาเฉพาะถึงความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง ภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งเป็นบริเวณปรับอากาศ เมื่อพิจารณาถึงรูปร่างรอบนอกของอาคาร ความร้อนจะผ่านเข้ามาได้ 2 วิธีคือจากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร โดยการนำความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และ จากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ในหัวข้อการวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะกรณีแรกเพียงประการเดียว โดยถือว่าผนังมีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกทั้งหมดเท่ากับ

พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านทะลุกระจก + ความร้อนที่ระบายสู่ภายใน เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน + ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างภายนอกและภายใน

$$= H_c + A_x S_c \times S H G F \times C L F + U_x A_x (T_{out} - T_{in}) \dots\dots\dots(2.17)$$

โดย

H_c = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านทะลุกระจก, BTU/H.

A = พื้นที่กระจกสุทธิของช่องเปิดอาคาร, SQ. FT.

SC = สัมประสิทธิ์ร่มเงา ดูจากตาราง

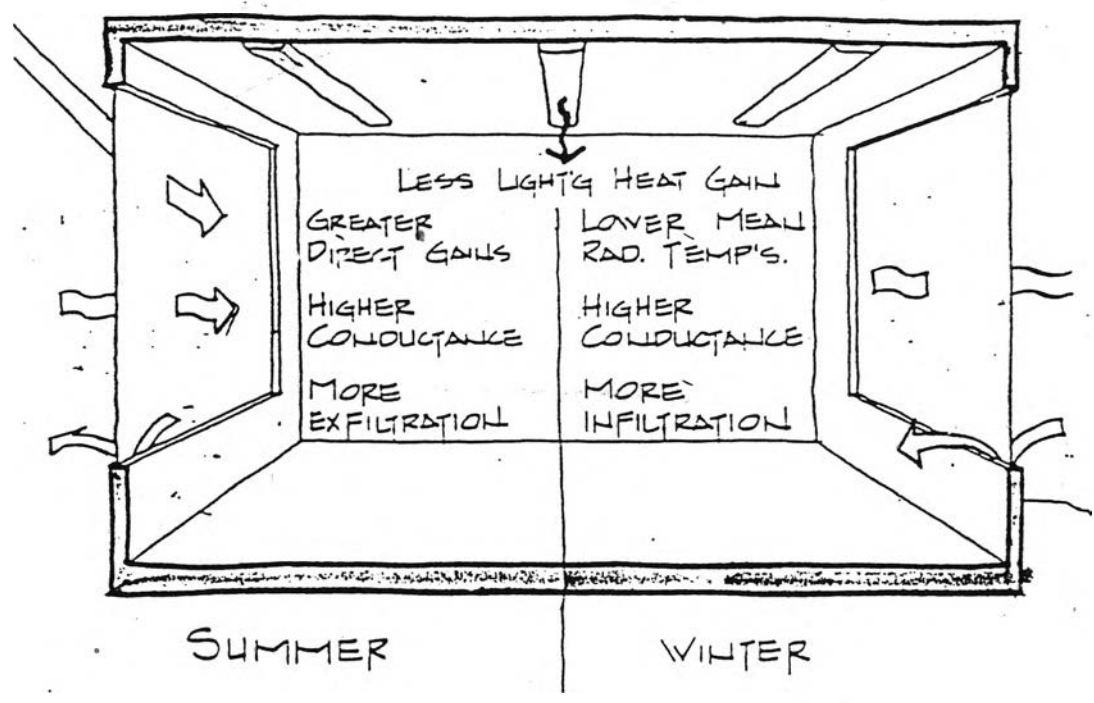
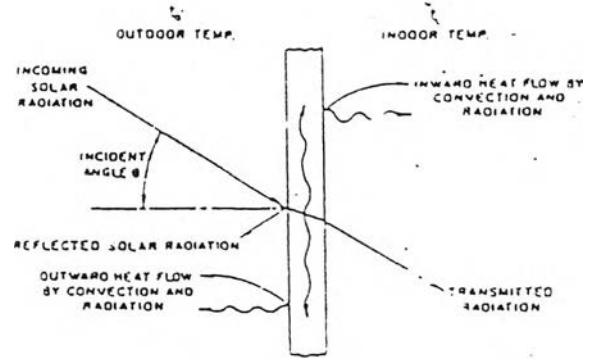
$SHGF$ = ปริมาณการนำความร้อนเข้ามาเนื่องจากแสงอาทิตย์
(Solar Heat Gain Factor)

CLF = ปริมาณความร้อนที่ผนังปล่อยออกมาทำความเย็น (Cooling Load Factor) ดูจากตาราง

$T_{out} - T_{in}$ = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน

และเนื่องจากพิจารณาเฉพาะด้านทิศเหนืออย่างเดียว ถือว่า $H_T = 0$ ดังนั้น เขียนความสัมพันธ์ใหม่จะได้

$$Q = A_g \times S_c \times S H G F \times C L F + U_g \times A_g \times (T_{out} - T_{in}) \dots\dots 2.18$$



รูป 2.11 แสดงสมดุลย์ความร้อนของกระจกที่ถูกแสงแดดเวลาใดๆ