พระมหากรุณาธิคุณ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นประโยชน์นั้น จะต้องรวมเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาอยู่ที่ตัวรับแสง ซึ่งตัวรับแสงจะแบ่งตามหลักการที่สำคัญได้ 2 ชนิด คือ

1. ตัวรับแสงแบบแผ่นราบ (Flat-plate collector)
2. ตัวรับแสงแบบรวมแสง (Concentrating collector)

ความแตกต่างของทั้งสองชนิดก็คือ ตัวรับแสงแบบแผ่นราบนี้จะไม่มีความสัมพันธ์กับสภาพท้องฟ้า เพราะรับรังสีได้ทั้งหมด ขึ้นอยู่กับสภาพของผิวตัวรับแสงนั้น ส่วนตัวรับแสงแบบรวมแสง รังสีที่ตกกระทบจะสะท้อนไปรวมอยู่ที่ตัวดูดแสง ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าตัวรับแสง ทำให้ความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นจากหลักของแสงนั้น ตัวรับแสงแบบรวมแสงไม่สามารถรวมแสงจากการแผ่รังสีกระจาย (Diffuse Solar Radiaion) แต่จะรวมแสงได้เฉพาะรังสีตรง (Direct Solar Radiation) เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 ลักษณะตัวรับแสง (ก) แบบแผ่นราบ (ข) แบบรวมแสง

ทฤษฎีของการรวมแสง [10]

ความสัมพันธ์ทั้งหลายในการหาค่าความเข้มของการรวมแสง (Concentration) เมื่อใช้กระจกเงาที่มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ กันนั้น ต้องอาศัยสมมุติฐานดังต่อไปนี้

ก. พลังงานทั้งหมดที่ตกลงบนกระจกเงาต้องถูกสะท้อนออกไป

ข. พื้นที่เป้ารับแสงจะต้องมีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับพื้นที่ของกระจกเงา นั่นก็คือ เป้ารับแสงจะไม่บังแสงที่ตกลงบนกระจกเงา

ค. การแผ่รังสีต้องขนานกับแนวแกนทางออพติคส์ของกระจกเงา

1. คำจำกัดความของคำว่า "ความเข้มของการรวมแสง"

เมื่อกระจกเงาที่ใช้มีคุณลักษณะสมบูรณ์ จะได้ว่า "อัตราการแผ่รังสีที่ตกลงบนกระจกเงาจะเท่ากับ อัตราการแผ่รังสีที่สะท้อนไปตกลงบนเป้ารับแสง" นั่นคือ

$$Q_m = Q_t$$

นำพื้นที่กระจกเงา , A_m คูณและหารทางด้านซ้ายมือ ส่วนด้านขวามือคูณและหารด้วยพื้นที่เป้ารับแสง, A_t จะได้ว่า

$$Q_m \cdot \frac{A_m}{A_m} = Q_t \cdot \frac{A_t}{A_t}$$

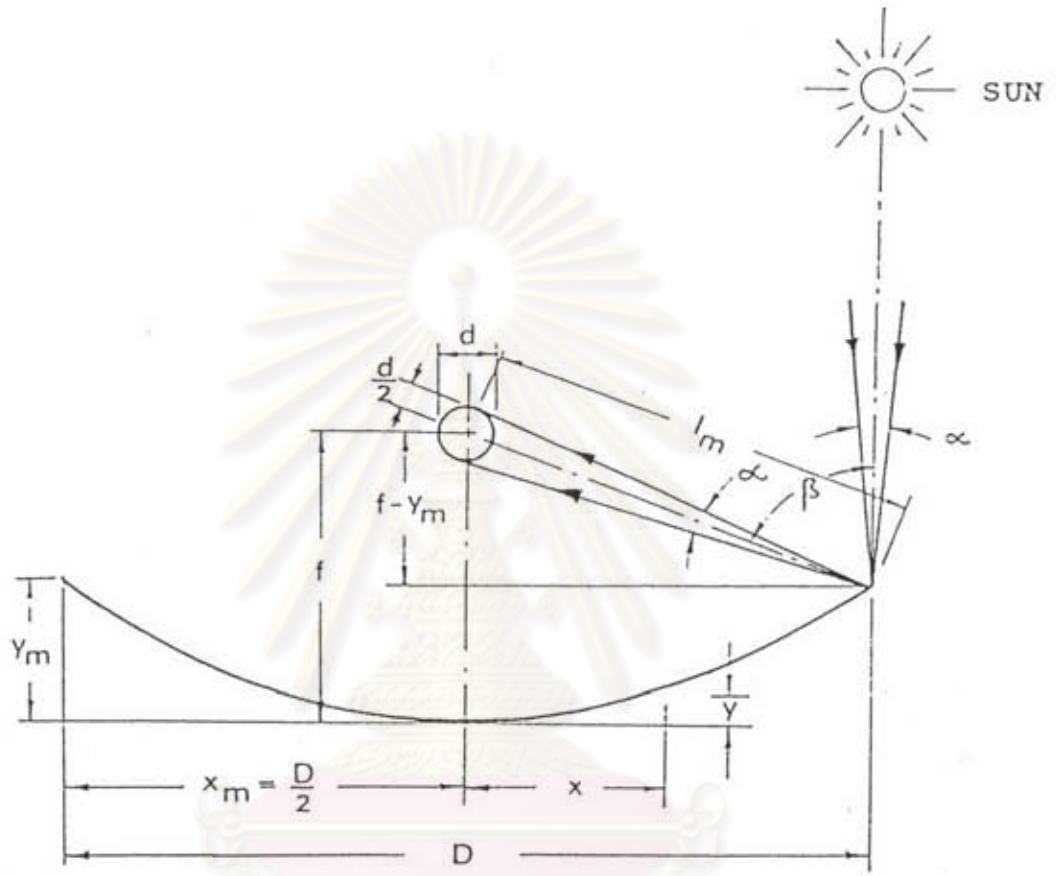
จัดเรียงรูปใหม่จะได้

$$\frac{Q_t / A_t}{Q_m / A_m} = \frac{A_m}{A_t} = C_R \qquad (1)$$

ค่า C_R นี้ก็คือ ค่าความเข้มของการรวมแสง ซึ่งเท่ากับพื้นที่ของกระจกเงาในแนวตั้งฉากกับการแผ่รังสี ต่อ พื้นที่ของเป้ารับแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การรวมแสงของรางพาราโบลิค ซึ่งมีท่อกลมเป็นเป้ารับแสง



รูปที่ 7 กระจกเงารางพาราโบลิค ซึ่งมีท่อกลมเป็นเป้ารับแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาความเข้มของการรวมแสงนี้ ทำได้โดยการแก้ปัญหาทางเรขาคณิต ดังแสดงในรูปที่ 7 ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อรับแสงจะหาได้จากรังสีที่สะท้อนออกมาจากกระจกเงา ซึ่งถือว่า Symmetry

จากสมการ (1) ความเข้มของการรวมแสง

$$C_R = \frac{A_m}{A_t}$$

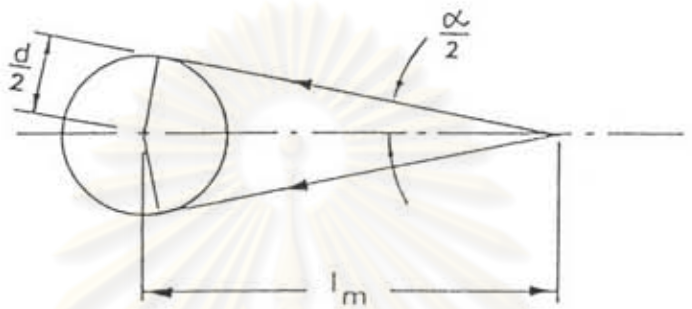
จากรูปที่ 7 เมื่อกำหนดให้ท่อรับแสง และกระจกเงามีความยาวเท่ากับ L

จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$C_R = \frac{DL}{\pi dL} = \frac{D}{\pi d} \qquad (2)$$

กำหนดให้ Relative aperture (n) มีค่าเท่ากับ $\frac{D}{f}$ จะได้ว่า

$$D = nf \qquad (3)$$



รูปที่ 8 ลักษณะของแสงที่ตกลงบนเป้ารับแสง

มุม α เป็นมุมของลำแสงอาทิตย์ มีขนาด 32 ลิบดา ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดของเป้ารับแสง

จากรูปที่ 8 จะได้ว่า

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{d/2}{l_m} = \frac{d}{2l_m}$$

จัดเรียงรูปใหม่ $$d = l_m\left(2\ \sin\frac{\alpha}{2}\right) \qquad (4)$$

จากรูปที่ 7 $$l_m = \sqrt{(f-y_m)^2 + x_m^2} \qquad (5)$$

จากสมการพาราโบลา จะได้ว่า

$$y = \frac{x^2}{4f}$$

หรือ $$x^2 = 4fy$$

ที่ขอบของรางจะได้ว่า

$$x_m^2 = 4fy_m$$

แทนค่าในสมการ (5)

$$l_m = \sqrt{(f-y_m)^2 + 4fy_m}$$

จัดเรียงรูปใหม่จะได้

$$l_m = \sqrt{(f+y_m)^2}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หรือ

$$l_m = f + y_m \quad (6)$$

แต่

$$y_m = \frac{x_m^2}{4f} \quad (7)$$

จากรูปที่ 7 ทราบว่า

$$D = 2x_m$$

เพราะฉะนั้น

$$n = \frac{D}{f} = \frac{2x_m}{f}$$

หรือ

$$x_m = \frac{nf}{2} \quad (8)$$

แทนค่าสมการ (7), (8) ลงใน (6) จะได้

$$l_m = f + y_m$$

$$= f + \frac{x_m^2}{4f}$$

$$= f + \frac{1}{4f}\left[\frac{nf}{2}\right]^2$$

$$= f + \frac{n^2 f}{16}$$

เพราะฉะนั้น $$l_m = f\left(1 + \frac{n^2}{16}\right) \quad (9)$$

แทนค่าสมการ (9) ลงใน (4)

$$d = f\left(1 + \frac{n^2}{16}\right)\left(2 \sin \frac{\alpha}{2}\right) \quad (10)$$

แทนค่าสมการ (3) และ (10) ลงใน (2) จะได้

$$C_R = \frac{D}{\pi d}$$

$$= \frac{nf}{\pi\left[f\left(1 + \frac{n^2}{16}\right)\left(2 \sin \frac{\alpha}{2}\right)\right]}$$

เพราะฉะนั้น $$C_R = \frac{n}{\pi\left(1 + \frac{n^2}{16}\right)\left(2 \sin \frac{\alpha}{2}\right)} \quad (11)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น ความเข้มของการรวมแสง, C_R มีค่าเท่ากับ $\dfrac{n}{\pi\left(1+\dfrac{n^2}{16}\right)\left(2\ \sin\ \dfrac{\alpha}{2}\right)}$

3. ค่าสูงสุดของความเข้มของการรวมแสง ของรางพาราโบลิค ซึ่งมีท่อกลมเป็นเป้ารับแสง

จากสมการ (11)

$$C_R = \frac{n}{\pi\left(1+\dfrac{n^2}{16}\right)\left(2\ \sin\ \dfrac{\alpha}{2}\right)}$$

$$C_R = \frac{An}{\left(1+\dfrac{n^2}{16}\right)}$$

เมื่อ A เป็นตัวคงที่ มีค่าเท่ากับ $\dfrac{1}{\pi\left(2\ \sin\ \dfrac{\alpha}{2}\right)}$

สามารถหาความเข้มสูงสุดของการรวมแสงของรางพาราโบลิค โดย Derivative ; $\dfrac{dC_R}{dn}$ เทียบกับ Relative Aperture ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ดังนี้

$$\frac{dC_R}{dn} = 0 = A\left[\frac{1}{1+\dfrac{n^2}{16}} + \frac{(-1)n\left(\dfrac{2n}{16}\right)}{\left(1+\dfrac{n^2}{16}\right)^2}\right]$$

จัดเรียงรูปใหม่จะได้

$$0 = 1 + \frac{n^2}{16} - \frac{2n^2}{16}$$

หรือ $n^2 - 16 = 0$

ดังนั้น $n = \pm 4$ (12)

ผลที่ได้ของค่า n = -4 นั้นไม่มีความหมายทางกายภาพ ดังนั้นจึงใช้เฉพาะค่า n = +4 แทนค่า n ลงในสมการ (11)

$$C_R = \frac{n}{\pi\left(1+\dfrac{n^2}{16}\right)\left(2\ \sin\ \dfrac{\alpha}{2}\right)}$$

$$= \frac{1}{\pi \sin\ \dfrac{\alpha}{2}}$$

จากหน้า 19 ทราบว่าค่า α = 32 ลิบดา (60 ลิบดา = 1 องศา) $\therefore\ \alpha = \dfrac{32}{60}$ องศา

จะได้ $C_R \cong 68.3$

ดังนั้น ค่าสูงสุดของความเข้มของการรวมแสงมีค่าประมาณ 68.3

4. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของท่อกลมเป้ารับแสง

จากสมการ (10)

$$d = f\left(1+\frac{n^2}{16}\right)\left(2 \sin \frac{\alpha}{2}\right)$$

เมื่อ $n = 4$; $\alpha = \frac{32}{60}$

จะได้ว่า

$$d_{min} = 4\ f \sin 0.267$$
$$= 0.0186\ f$$

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของท่อกลมเป้ารับแสง มีค่าประมาณ 0.0186 เท่าของระยะโฟกัส

5. ค่า Rim angle เมื่อมีความเข้มของการรวมแสงสูงสุด

จากรูปที่ 7 เมื่อ β เป็น Rim angle จะได้ว่า

$$\sin \beta = \frac{D/2}{l_m} = \frac{D}{2\ l_m}$$

จากสมการ (9) $l_m = f\left(1+\frac{n^2}{16}\right)$

จากสมการ (12) $n = 4$

จะได้ว่า $l_m = 2f$

ดังนั้น $\sin \beta = \frac{D}{4f}$ (13)

จากสมการ (3) $D = nf = 4f$ (14)

แทนค่าสมการ (14) ลงใน (13) จะได้ว่า

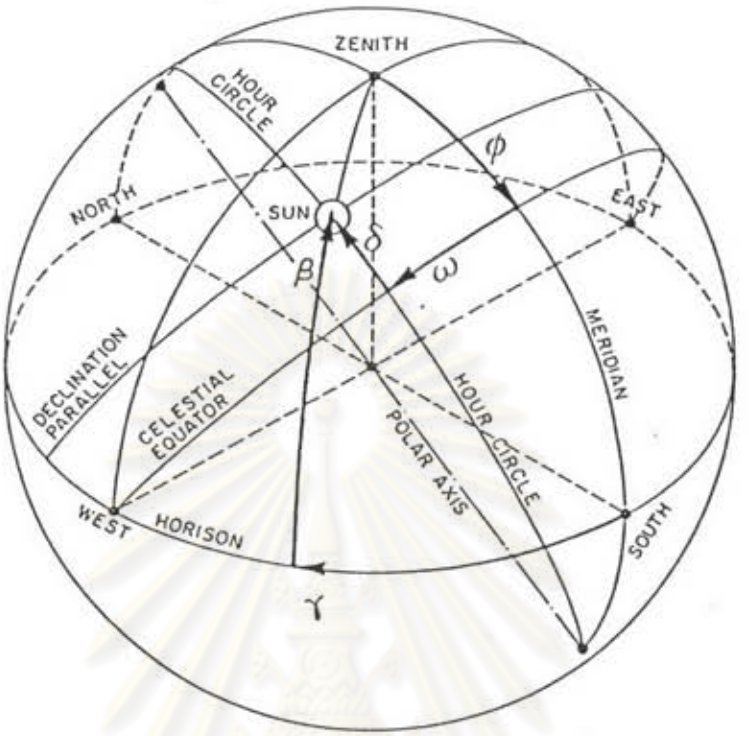
$$\sin \beta = 1$$
$$\beta = 90^\circ$$

ดังนั้น Rim angle ที่ทำให้ความเข้มของการรวมแสงมีค่าสูงสุดนี้ มีค่าเท่ากับ 90 องศา

การหมุนติดตามดวงอาทิตย์ [11]

ตัวรับแสงแบบรางพาราโบลิกนี้ จะรวมแสงโดยสะท้อนรังสีตรงสู่ท่อรับแสง เพื่อให้ได้รังสีตรงเต็มที่ตลอดเวลาจำเป็นต้องเคลื่อนที่หมุนติดตามดวงอาทิตย์ และมุมที่หมุนเคลื่อนที่ติดตามจะต้องสัมพันธ์กับการโคจรของดวงอาทิตย์ พิจารณารูปที่ 9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9 ทรงกลมท้องฟ้าสัมพันธ์กับแกนของโลก

มุมอัลติจูด, β

$$\text{Sin}\,\beta = \text{Sin}\,\varnothing\,\text{Sin}\,\delta + \text{Cos}\varnothing\,\text{Cos}\,\delta\,\text{Cos}\,\omega \qquad (15)$$

มุมอาซิมุท, γ

$$\text{Sin}\,\gamma = \text{Cos}\,\delta\,\text{Sin}\,\omega\,/\,\text{Cos}\,\beta \qquad (16)$$

มุมฤดูกาล, δ

$$\delta = 23.45\ \text{Sin}\ \left[360(284+\text{n})/365\right] \qquad (17)$$

โดยที่ $\varnothing$ = มุมของเส้นรุ้ง (ที่กรุงเทพฯ = 14° เหนือ)

β = มุมอัลติจูด หรือ มุมที่ลากจากดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก

γ = มุมอาซิมุท หรือ มุมที่เส้นตั้งฉากกับพื้นที่โลกเบี่ยงเบนจากแนวเมอริเดียน

δ = มุมฤดูกาล หรือ มุมที่ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงทำกับระนาบศูนย์สูตร (the plane of the equator)

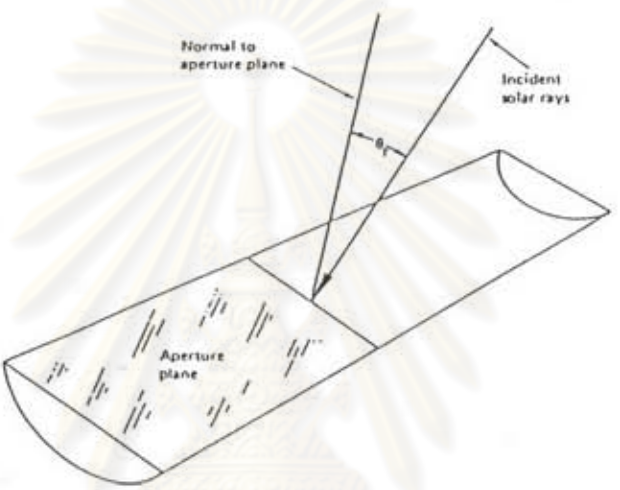
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ω = มุมชั่วโมง ที่เวลาเที่ยงของดวงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ แต่ละชั่วโมงมีค่า 15°, เช้ามีค่าเป็นบวก, บ่ายมีค่าเป็นลบ เช่น $\omega = +15$ เวลา 11:00 น., และ $\omega = -37.5$ เวลา 14:30 น.

n = อันดับของวันนับจากต้นปี (วันที่ในรอบปี) มาถึงวันที่สังเกต

s = the angle between the horizontal and the plane (i.e., the slope);

θ = the angle of incidence of beam radiation, the angle being measured between the beam and the normal to the plane



รูปที่ 10 แสดงลักษณะมุมตกกระทบของรังสีตรงทำกับเส้นตั้งฉากของตัวรับแสง

สำหรับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลิคนี้ ค่าการแผ่รังสีตรงที่ตกกระทบตัวรับแสงในเวลาใด ๆ ดังรูปที่ 10 สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{bn} = I_b \cos\theta_r = (I_G - I_{d'})(\cos\theta_i / \cos\theta_z) \qquad (18)$$

เมื่อ I_b = ค่าการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตัวรับแสง, W/m^2

I_{bn} = ค่าการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตัวรับแสงในทิศทางตั้งฉากกับผิวตัวรับแสง, W/m^2

$I_G, I_{d'}$ = รังสีรวมและรังสีกระจายที่คูณค่า correction factor แล้ว โดยวัดจากแนว horizontal surface, W/m^2

โดย

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\varnothing \cos s - \sin\delta \cos\varnothing \sin s \cos\gamma + \cos\delta \cos\varnothing \cos s \cos\omega + \cos\delta \sin\varnothing \sin s \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin s \sin\gamma \sin\omega \qquad (19)$$

และ มุม θ_z คือ มุมซีนิช (Zenith) ของดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมุมระหว่างรังสีตรงจากดวงอาทิตย์กระทำกับแนวดิ่ง (vertical). ซึ่งหาได้เมื่อ $s = 0^\circ$ (For horizontal surface where $s = 0^\circ$) นั่นคือ

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cos\varnothing \cos\omega + \sin\delta \sin\varnothing \qquad (20)$$

สำหรับตัวรับแสงแบบรางพาราโบลิคหมุนรอบแกน horizontal ในแนวทิศเหนือ-ใต้ ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดเวลาจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก จะได้

$$\text{Incidence Factor, } \cos\theta_i = \left[(\sin\varnothing \sin\delta + \cos\varnothing \cos\delta \cos\omega)^2 + \cos^2\delta \sin^2\omega^{1/2}\right] \qquad (21)$$

ค่า $\cos\theta_i$ เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในหนึ่งวัน และเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

การติดตามดวงอาทิตย์ของตัวรับแสง ตามที่ได้ติดตั้งทดสอบโดยวางตัวรับแสงรางพาราโบลิคในแนวเหนือ-ใต้ และหมุนติดตามดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก (NS horizontal axis, EW tracking) พิจารณารูปที่ 11[12] ในอัตรา 15° ต่อชั่วโมง ซึ่งเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แต่เนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.45° กับวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้นเส้นทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ ในแต่ละวันที่ทำมุมตกกระทบของรังสีตรงกับระนาบของตัวรับแสงจะไม่เท่ากัน (โดยดวงอาทิตย์จะทำมุมฉากกับระนาบนอนบนพื้นโลกในฤดูร้อน และทำมุมน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม ทำให้แสงอาทิตย์ที่ตกลงมาขนานกับแนวแกนของราง แต่ไม่ตั้งฉากกับแนวแกนการหมุนของราง) มีผลทำให้การรวมแสงที่สะท้อนจากรางไปตกรอบท่อนั้น ไม่เต็มตลอดความยาวของท่อ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า End loss effect ดังแสดงในรูปที่ 11 ทั้งนี้ระยะ End loss effect (ad) จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับมุม Azimuth (γ) และ Elevation (β) ที่ดวงอาทิตย์ ทำกับพื้นโลกในแต่ละวันและเวลา

$$\text{ระยะ End loss effect} = \sqrt{\frac{f^2 \cos^2\gamma \cos^2\beta}{1 - \cos^2\gamma \cos^2\beta}} \qquad (22)$$

โดย γ เป็นมุมอะซิมุธ (Azimuth)

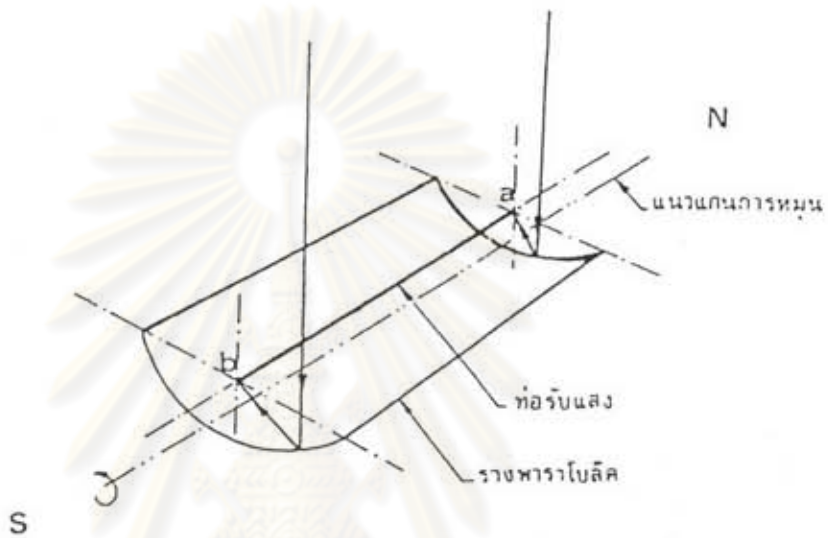
β เป็นมุมยกจากแนวระดับ (Elevation)

f เป็นระยะความยาวโฟกัสของรางพาราโบลิค

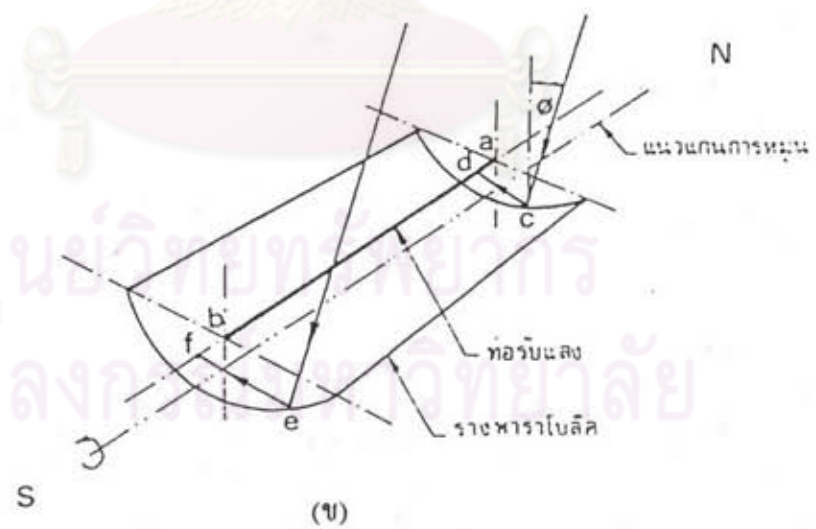
และจากรูปที่ 11

$\varnothing$ เป็นมุมที่แสงอาทิตย์ทำกับ Unit Vector ของรางพาราโบลิค

ถึงแม้ว่า การติดตั้งรางพาราโบลิคแบบนี้ จะมีผลเสียที่มี End loss effect เกิดขึ้น แต่ก็มีผลดีในเวลาต่อรางหลาย ๆ ตัวแบบอนุกรม สามารถมีตำแหน่งในการบังคับให้รางพาราโบลิคเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ เพียงตำแหน่งเดียวได้ ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย



(ก)



(ข)

รูปที่ 11 การเกิด End loss effect [12]

(ก) เมื่อแสงที่ตกลงมาตั้งฉากกับแนวแกนการหมุน

(ข) เมื่อแสงที่ตกลงมาทำมุม (90-$\varnothing$) กับแนวแกนการหมุน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะของพลังงานความร้อนที่ได้จากรางรวมแสงพาราโบลิก[2]

ลักษณะการรวมแสงเป็นเส้นตรงของรางพาราโบลิค จะสูญเสียสมรรถนะการรวมแสงด้าน End loss effect ดังได้กล่าวมาแล้ว เพราะค่ามุม θ_T ที่เปลี่ยนแปลง ประสิทธิภาพจะได้มากที่สุดเมื่อมุม θ_T เท่ากับศูนย์ที่เวลาเที่ยงของดวงอาทิตย์ (Solar noon) ดังนั้นค่าการแผ่รังสีตรงที่ตกกระทบตัวรับแสงในเวลาใด ๆ จะหาได้จากสมการ (18)

พิจารณาพลังงานความร้อนที่รับได้จากท่อดูดแสง โดยสมมุติฐานว่าไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวใน และผิวนอกของท่อเพราะท่อบางมากและทองแดงนำความร้อนได้ดี

การสูญเสียความร้อนจากผิวท่อเกิดจาก การแผ่รังสีและการพาความร้อน

ให้ U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากผิวท่อดูดแสงสู่สิ่งแวดล้อม

$$= \frac{1}{\frac{1}{h_{rg}+h_{f_1}}+\frac{1}{\left(h_{f_2}+h_{gs}\right)\frac{A_2}{A_1}}}, \text{ W/m}^2\text{.K.} \qquad (23)$$

โดย $h_{rg} = \dfrac{\sigma\left(T_r^2+T_g^2\right)\left(T_r+T_g\right)}{\frac{1}{\epsilon_1}+\frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2}\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$, W/m^2.K.

$h_{gs} = \sigma\epsilon_2\left(T_g^2+T_{sur}^2\right)\left(T_g+T_{sur}\right)$, W/m^2.K.

$h_{f_1} = \dfrac{q'}{2\pi r_1\left(T_r-T_g\right)}$, W/m^2.K.

และ $h_{f_2} = \dfrac{Nu_D\cdot k}{D}$, W/m^2.K.

ความหมายของสัญลักษณ์ตัวแปรต่าง ๆ และตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ในรูปความสมดุลย์ทางพลังงานของตัวรับแสงพาราโบลิค พลังงานที่ได้รับแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$Q_u = I_{bn}\rho\gamma(\tau\alpha)_e A_a - U_L A_r\left(T_r-T_{sur}\right)^{[2]} \qquad (24)$$

โดย Q_u = พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ได้จากตัวรับแสงสะท้อนรังสีเข้าสู่ท่อ heat pipe; W.

I_{bn} = ค่าการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตัวรับแสง ; W/m^2

ρ = สภาพการสะท้อนรังสีจากวัสดุที่นำมาทำเป็นตัวรับแสง

γ = สัดส่วนของรังสีตรงที่สะท้อนจากตัวรับแสง (รางพาราโบลิค) เข้าสู่ท่อ heat pipe หรือเรียกว่า Intercept Factor (ซึ่งเป็นค่าที่สามารถบอกได้ว่า curve พาราโบลิคที่เราสร้างขึ้นถูกต้องดีเพียงใด มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ถ้ามีค่า

เข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 แสดงว่า curve พาราโบลิคที่สร้างขึ้นสามารถสะท้อนรังสีเข้าสู่ท่อ heat pipe ได้หมด โดยพลาดเป้าน้อยมาก ถ้าไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Radiation กับ Distance from center line in focal plane จะได้กราฟเป็นไปตาม Normal distribution curve สมมาตรกับแนว center line ดังตัวอย่างในรูปที่ 12 ก. ในทางกลับกันถ้ามีค่าห่างจาก 1 มากแสดงว่า curve ของรางพาราโบลิคที่สร้างมีความผิดพลาดในการสะท้อนรังสีจากรางเข้าสู่ท่อ heat pipe สูง ถ้าไปเขียนกราฟจะได้ลักษณะเป็นไปตาม Normal distribution curve แต่ไม่สมมาตรกับแนว center line ดังตัวอย่างในรูป 12 ข.) ในที่นี้สมมุติให้ curve ของรางพาราโบลิคที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาดในการสะท้อนรังสีน้อยซึ่งมีลักษณะตามแบบกรณีที่ 1 ดังที่กล่าวมาแล้ว จึงให้ $\gamma = 1$

(ก) (ข)

รูปที่ 12 แสดง Normal distribution curve[2]

(ก) แสดงการเปรียบเทียบ Normal distribution curve (เส้นทึบ) กับ Experimental distribution curve for a parabolic cylindrical concentrator. (เส้นประ)

(ข) แสดง Normal distribution curve ของรางรวมแสงพาราโบลิค กรณีที่ curve ของรางที่สร้างยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$(\tau\alpha)_e$ = ผลคูณประสิทธิผลของสภาพส่งผ่านของท่อแก้วกับสภาพการดูดกลืนรังสีของท่อ heat pipe จากผลงานการวิจัยของนายสุรสิทธิ์[13] กล่าวไว้ว่า "จากการดูดกลืนรังสีของท่อ heat pipe ที่มีท่อแก้วสวมครอบอยู่ จะทำให้อุณหภูมิในท่อแก้วสูงขึ้น การสูญเสียความร้อนจากท่อ heat pipe จะลดลง ดังนั้นผลคูณประสิทธิผลของค่าส่งผ่าน-ค่าดูดรังสี (Effective transmittance absorption product, $(\tau\alpha)_e$) จะมีค่า $(\tau\alpha)_e$ = 1.02 $\tau\alpha$ โดยตัวเลข 1.02 เป็นค่า correction factor ซึ่งต้องไปคูณ $\tau\alpha$ ก็เพราะเหตุว่า เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ส่องลงบนรางรวมแสงแล้วสะท้อนเข้าสู่ท่อรับแสงโดยผ่านท่อแก้วที่มีค่าการส่งผ่าน τ ไปตกกระทบกับท่อรับแสง (heat pipe) ซึ่งมีค่าดูดกลืน α แต่จะมีแสงส่วนหนึ่งสะท้อนออกไป แสงส่วนนี้จะไปกระทบกับท่อแก้วที่ครอบไว้ และมีบางส่วนสะท้อนกลับมายังท่อ heat pipe อีก จะเป็นลักษณะเช่นนี้ ตลอดความยาวของท่อ จึงต้องคูณ factor ดังกล่าวเพื่อชดเชยแสงบางส่วนที่สะท้อนออกไปจากท่อ heat pipe"

A_a = พื้นที่ของรางรวมแสงพาราโบลิคที่รับแสงโดยตรง

= (ความกว้างของรางพาราโบลิค-diameter ของท่อแก้ว) × ความยาวของรางพาราโบลิค ; m^2

A_r = พื้นที่ผิวของท่อ heat pipe ; m^2

= πDL (โดย D=diameter ของท่อ; m. และ L=ความยาวของท่อ ; m.)

T_r = อุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อ heat pipe ; $^{\circ}C$

T_{sur} = อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ; $^{\circ}C$

จากสมการที่ 24 เป็นค่าพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ได้จากตัวรับแสงพาราโบลิค และในทางทฤษฎีสามารถใช้สมการนี้หาประสิทธิภาพของตัวรับแสงแบบรางพาราโบลิค (η_a) ได้คือ

$$\eta_a = Q_u / I_{bn} A_a \qquad (25)$$