หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 4

อุปกรณ์รวมแสง

อุปกรณ์รวมแสง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักวิชาแสงเกี่ยวกับการสะท้อนหรือหักเหแสงมารวมกันที่จุดโฟกัส ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้นและยังเพิ่มอุณหภูมิที่จุดโฟกัสให้สูงขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อนได้อีกด้วย การสูญเสียพลังงานความร้อนขึ้นอยู่กับพื้นที่เนื่องจากที่จุดโฟกัสมีพื้นที่เล็ก ดังนั้นการสูญเสียพลังงานความร้อนก็ย่อมน้อย แต่อุปกรณ์รวมแสงก็ยังมีการสูญเสียพลังงานความร้อนอีก2ประการ ประการแรก อุปกรณ์รวมแสงใช้แสงเฉพาะลำแสงตรงแต่อย่างเดียวทำให้ต้องสูญเสียแสงกระจายไปโดยเปล่า ประการที่สอง การสูญเสียพลังงานแสงเนื่องจากการสะท้อน การสูญเสียประการแรกซึ่งไม่สามารถจะแก้ไขได้ ส่วนประการหลังอันนี้สามารถจะลดการสูญเสียโดยการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุที่ทำเป็นแผ่นวัสดุสะท้อนแสงโดยใช้แผ่นสะท้อนแสง เช่น เงิน อโนดไดซ์อลูมิเนียมและกระจกเงา

<u>ทฤษฎีการรวมแสง</u>

หลักการของอุปกรณ์โดยการทำให้เกิดภาพจริงของดวงอาทิตย์บนแผ่นรับแสงที่จุดโฟกัสด้วยความสัมพันธ์ของขนาดดวงอาทิตย์และระยะทางของดวงอาทิตย์ที่ห่างจากโลกคิดเป็นค่ามุมที่กระทำกับผิวโลก 32 ลิปดา (บทที่ 2) โดยใช้ทฤษฎีการสะท้อนของแสงจึงสามารถคำนวนขนาดภาพจริงของดวงอาทิตย์ที่จุดโฟกัสดังสมการ

$$w' = \frac{2.r.\tan(16')}{\cos(\phi)} \qquad (4.1)$$

r : รัศมีความโค้งจากจุดบนอุปกรณ์ไปยังจุดโฟกัส

ϕ : มุมระหว่างเส้นตรงที่ผ่านจุดกึ่งกลางของอุปกรณ์กับเส้นตรงที่ลากจากจุดขนส่วนโค้งไปยังจุดโฟกัสดังรูป 4.1

สมการที่ใช้สร้างอุปกรณ์รวมแสงเป็นสมการพาราโบลา

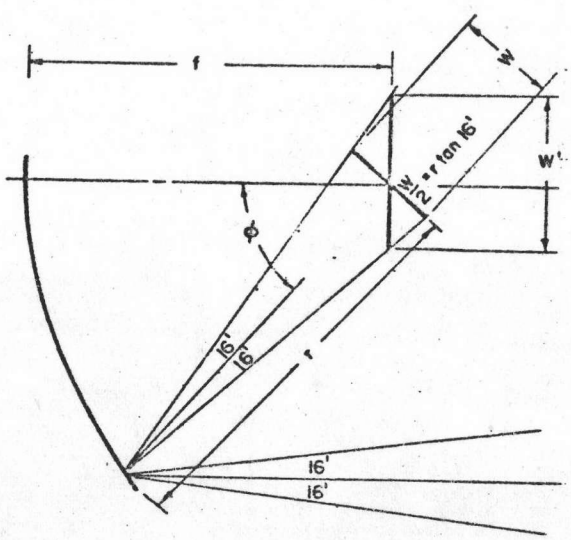
$$x^2 = 4.f.y \qquad (4.2)$$

f = ความยาวโฟกัส

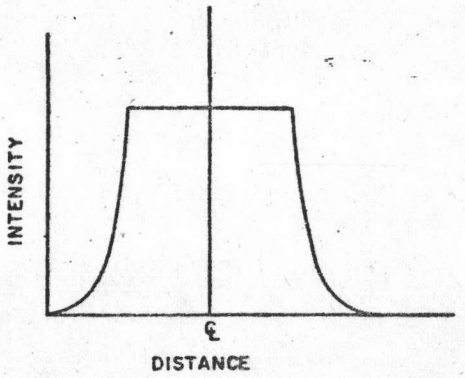
จากค่าความยาวโฟกัส เราสามารถหาค่ารัศมีความโค้งได้

$$r = \frac{2.f}{1+\cos(\phi)} \qquad (4.3)$$

ขนาดภาพจะมีขนาดจาก W เมื่อ r เท่ากับ f ถึง W' เมื่อ $r = r_{max}$



รูป 4.1 ภาพแสดงขนาดภาพจริงดวงอาทิตย์ที่จุดโฟกัสของอุปกรณ์รวมแสงแบบพาราโบลอยดัล



รูป 3. 2 การกระจายรังสีของภาพจริงดวงอาทิตย์ที่จุดโฟกัส

รูป 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มของแสงกับระยะทางจากจุดโฟกัส จะเห็นว่าความเข้มของแสงบริเวณใกล้จุดโฟกัสมีค่าคงที่แล้วลดลงเมื่อระยะห่างออกไป

ชนิดอุปกรณ์รวมแสง

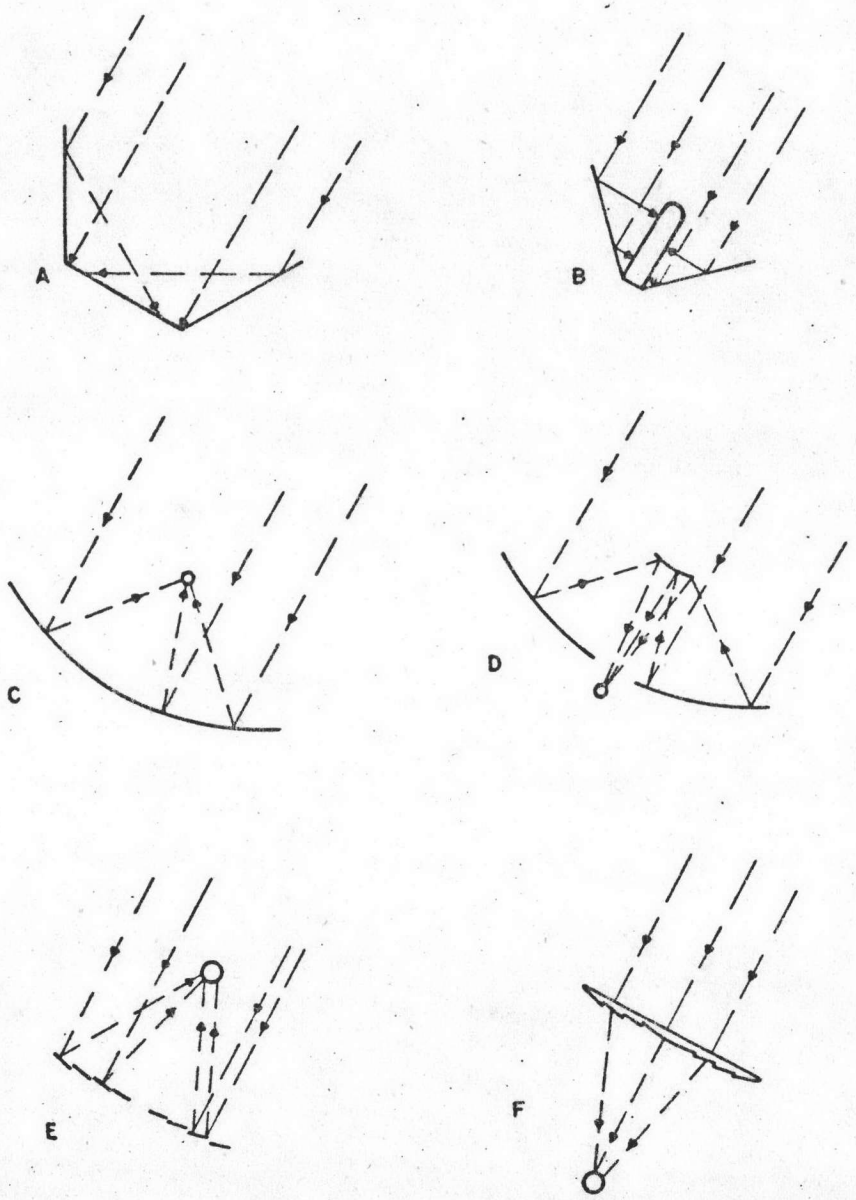
การที่จะเพิ่มความเข้มของแสงอาทิตย์มีหลายวิธี เช่นใช้เลนซ์นูนรวมแสง, กระจกเว้าและแผ่นกระจกประกอบเป็นรูปแบบสะท้อนแสง ซึ่งนำมาจัดวางได้หลายรูปแบบและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม เพื่อได้มาซึ่งอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพทั้งราคาประหยัด

รูป 4.3 แสดงรูปแบบอุปกรณ์รวมแสงแบบต่างๆ

แบบ A ใช้วัสดุสะท้อนแสงทำเป็นแผ่นระนาบซึ่งอาจจะทำด้วยแผ่นกระจกเงาหรืออลูมิเนียมอโนดไดซ์ประกอบเข้าเป็นรูปดังภาพและมีแผ่นพื้นรองรับแสงสะท้อน แบบนี้ให้ความเข้มของแสงต่ำและมีความเข้มแสงสูงสุดไม่เกินสี่เท่าของความเข้มแสงขาเข้า

แบบ B ใช้วัสดุสะท้อนแสงอาจจะทำด้วยกระจกเงาหรืออลูมิเนียมอโนดไดซ์ประกอบเป็นกรวยและมีรูปทรงกระบอกรับแสงสะท้อน แบบนี้ให้ความเข้มของแสงเท่ากับแบบ A

แบบ C ใช้วัสดุสะท้อนแสงอาจจะทำด้วยแผ่นกระจกเงาหรืออลูมิเนียมอโนดไดซ์ประกอบเป็นรูปทรงพาราโบลอยดัล หรือ กระบอกพาราโบลิก แบบนี้ให้ความเข้มของแสงสูง และ ตัวรับแสงเคลื่อนที่ตามอุปกรณ์รับแสง



รูป 4.3 รูปแบบอุปกรณ์รวมแสงชนิดต่าง ๆ

แบบ D เหมือนแบบ C ต่างกันที่แบบนี้มีแผ่นสะท้อนแสงอีกแผ่นหนึ่งอยู่ที่จุดโฟกัส

แบบ E เป็นแบบกระจกเว้าเฟรสเนล

แบบ F เป็นแบบเลนซ์เฟรสเนล

แบบ C นี้เป็นรูปทรงที่นิยมใช้กันมากกว่าแบบอื่นเนื่องจากให้ความเข้มสูงกว่าแบบอื่น นอกจากนั้นการประกอบรูปทรงก็ไม่ยากนัก ดังนั้นเราจะพิจารณาคำนวณหาการกระจายความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่จุดโฟกัสของสองรูปทรง คือ รูปทรงกระบอกพาราโบลิก และแบบพาราโบลอยดัล

ในการวิเคราะห์นี้เราพิจารณาทางอุดมคติเพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายเข้า โดยตั้งสมมุติฐานเพื่อการวิเคราะห์

1. ขนาดดวงอาทิตย์เป็นจุดอยู่ที่อนันต์ (ลำแสงขนาน) หรือคิดเป็นมุม32ลิปดา ณ ตำแหน่งผิวโลก
2. ความเข้มของการแผ่รังสีสม่ำเสมอมีค่า I_0 บนพื้นผิวที่แสงอาทิตย์ตกตั้งฉาก
3. พิจารณาเฉพาะลำแสงตรงจากดวงอาทิตย์ ไม่คำนึงถึงอิทธิพลของแสงกระจายและบริเวณรอบดวงอาทิตย์
4. สัมประสิทธิการสะท้อนแสงมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับมุมตกกระทบ
5. สมมุติให้พื้นผิวสะท้อนแสงเป็นมันเรียบ

<u>รูปทรงกระบอกพาราโบลิก</u>

กำหนดขนาดดวงอาทิตย์เป็นจุดอยู่ที่อนันต์สำหรับพิจารณาการกระจายของแสงอาทิตย์รอบผิวท่อขนาดรัศมี

I_0 : ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบตั้งฉากพื้นผิว

ρ : สัมประสิทธิการสะท้อนของพื้นผิว

ϕ : ฟลักซ์ของพลังงานแสงอาทิตย์

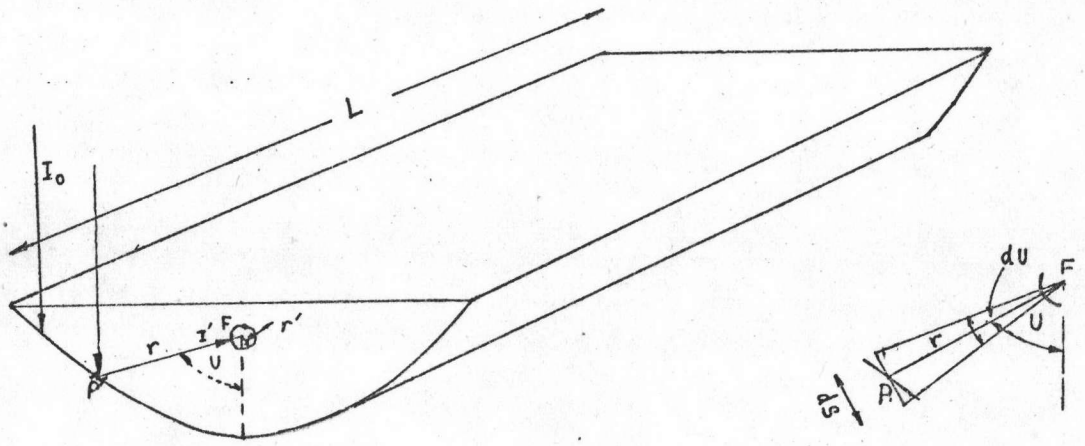
I' : ความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่จุดรอบท่อ

f : ความยาวโฟกัส

r : รัศมีความโค้งพื้นผิว

r' : รัศมีของท่อ

L : ความยาวของอุปกรณ์



รูป 4.4 อุปกรณ์รวมแสงแบบทรงกระบอกพาราโบลิก

ฟลักซ์ของแสงอาทิตย์ที่จุด P $d\phi = IdA$

$= \rho I_0 dSdL$

แต่ $dS = rdU$

$d\phi = \rho I_0 rdUdL$

$I' = \frac{I_0 rdUdL}{dA'}$

แต่ $dA' = r'dUdL$

$I' = \frac{\rho I_0 rdUdL}{r'dUdL}$

$= \frac{\rho I_0 r}{r'}$

$r = \frac{2f}{1+\cos U}$

∴ อัตราส่วนความเข้มรังสี $\frac{I'}{I_0} = \frac{2f}{(1+\cos U)\, r'}$ (4.4)

<u>รูปทรงพาราโบลอยดัล</u>

การพิจารณาการกระจายของรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ที่บริเวณจุดโฟกัสของอุปกรณ์รับแสงแบบพาราโบลอยดัล โดยใช้สมมุติฐานขนาดดวงอาทิตย์คิดเป็นมุม 32 ลิปดา ณ.ผิวโลก ในการศึกษาการกระจายของแสงอาทิตย์บนแผ่นรับแสงที่จุดโฟกัส

b_1 : แกนยาวของรูปวงรี

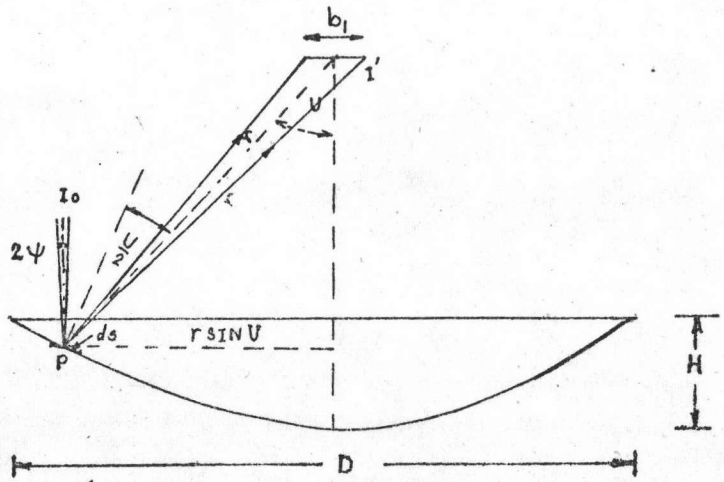
b_2 : แกนสั้นของรูปวงรี

r : รัศมีความโค้ง

f : ความยาวโฟกัส

I_0 : ความเข้มของการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์

2Ψ : มุมขนาดดวงอาทิตย์



รูป 4.5 อุปกรณ์รวมแสงแบบพาราโบลอยดัล

$$b_1 = 2.r\tan\psi.\sec U \qquad (4.5)$$

$$b_2 = 2.r\tan\psi \qquad (4.6)$$

$$r = \frac{2.f}{1+\cos U}$$

$$U_1 = \frac{\tan(f-H).2}{D}$$

โดยพิจารณาส่วนสั้น dS บน curve ที่จุด P

$$dS = r.\sec(U/2)dU$$

ทุกจุดบนวงแหวนที่มีรัศมี rsinU จะให้ภาพที่โฟกัสเป็นวงรี

พื้นที่ส่วนย่อยที่จุด P $\quad dA = r.\sin U.dS.d\alpha \qquad 0\leq\alpha\leq 2\pi$

$$dS = r.\sec(U/2).dU$$

$$dA = r^2\sin U\sec(U/2).d\alpha.dU$$

$$d\phi = I_0\cos(U/2)dA$$

$$= r^2 I_0 \sin U.d\alpha.dU$$

พื้นวงรี

$$A_c = \frac{\pi}{4}b_1 b_2 \qquad (4.7)$$

$$= \pi r^2\tan^2\sec U$$

$$\therefore \text{ความเข้มจุดใดบนวงรี}(A_o)\ I' = \frac{\rho\phi}{A_c}$$

$$= \int_V^{U_1}\int_0^{2\pi}\frac{\rho r^2 I_0\sin U.d\alpha.dU}{\pi r^2\tan\psi\sec U}$$

$$= \frac{\rho I_0}{\tan^2\psi}\int_V^{U_1}\frac{2\sin U\cos U.dU}{r^2\sec U}$$

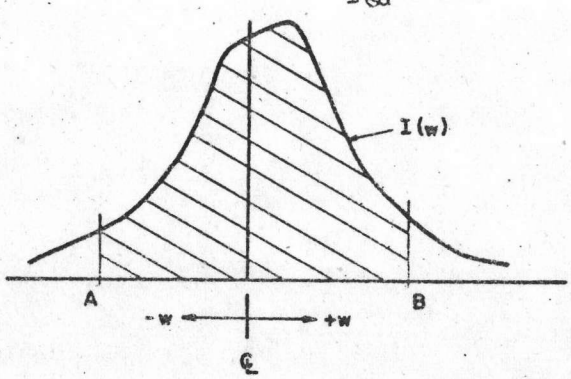
$$= \underbrace{\rho I_0}_{\tan^2\psi} \int_V^{U_1} 2\sin U\cos U \, .dU$$

$\therefore$ อัตราส่วนความเข้ม $\dfrac{I'}{I_0} = \dfrac{\rho\,(\sin^2 U_1 - \sin^2 V)}{\tan^2 16'}$ (4.8)

อินเตอร์เซ็พชั่นแฟคเตอร์

เมื่อพิจารณาการกระจายรังสีที่จุดโฟกัสมีความสัมพันธ์กับระยะทางบนพื้นที่ของจุดโฟกัสที่แสดงในรูป 5.6 จะเห็นว่ากราฟในรูป 5.6 เพี้ยนจากอุดมคติในรูป 5.2 เนื่องจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าไม่สม่ำเสมอ คือ บริเวณตรงกลางของดวงอาทิตย์มีความเข้มของแสงสูงกว่าบริเวณรอบนอก รูป 5.6 เป็นพลังงานทั้งหมดที่ได้รับที่จุดโฟกัส แต่ได้เลือกขนาดของตัวดูดพลังงานความร้อนจาก A ถึง B ดังนั้นอินเตอร์เซ็พชั่นแฟคเตอร์มีค่า

$$\gamma = \frac{\int_A^B I(w).dw}{\int_{-\infty}^{\infty} I(w)dw} \qquad (4.9)$$



รูป 5.6 การกระจายของฟลักซ์ที่จุดโฟกัสซึ่งมีขนาดตัวดูดแสงเท่ากับ AB