บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ลักษณะของฮีลิโอสแตทที่ใช้ในการวิจัย

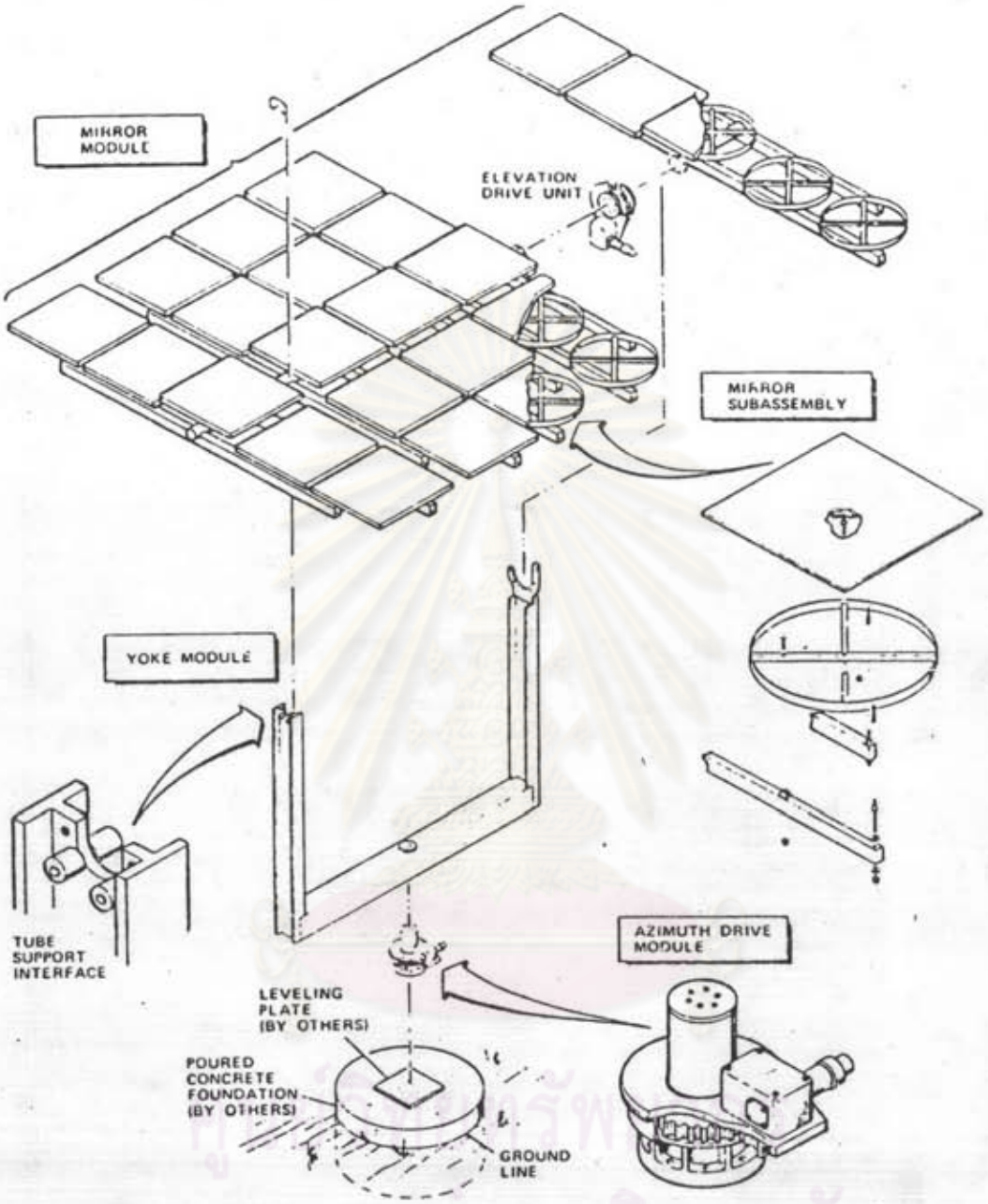
ฮีลิโอสแตทที่ใช้อยู่โดยทั่วไปประกอบด้วยกระจกสะท้อนแสง โครงยึดกระจกให้ติดกับโครงสะท้อนแสง อุปกรณ์ขับเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนั้นการวิจัยฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบประกอบ จำเป็นจะต้องกำหนดขอบเขตและรูปแบบของฮีลิโอ-สแตทที่ใช้โดยจำแนกตามลักษณะและวิธีการขับเคลื่อนได้ดังนี้

ก. ลักษณะของผิวสะท้อนแสง ประกอบด้วยกระจกเงารูปสี่เหลี่ยมผิวราบจำนวน 16 บาน โดยทุกบานมีขนาดเท่ากันหมด ยึดติดอยู่บนโครงสะท้อนแสงโดยปรับความเอียงของผิวกระจกแต่ละบานตามค่ารัศมีความโค้งที่ได้จากโปรแกรม

ข. ระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์ ฮีลิโอสแตทที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์ 2 แบบด้วยกันคือ แบบ Equatorial Mounting และ Altazimuth Mounting (ดังรายละเอียดภาคผนวก ค.) ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์แบบ Altazimuth Mounting ซึ่งใช้กับฮีลิโอสแตทขนาดใหญ่เป็นหลักในการวิจัย

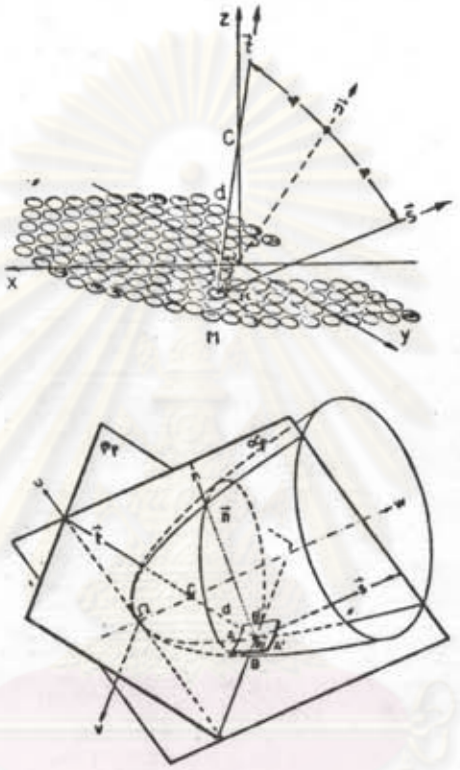
การหารัศมีความโค้งของผิวสะท้อนแสง

การกำหนดค่ารัศมีความโค้งเพื่อใช้ปรับความเอียงของผิวกระจกแต่ละบานนั้นย่อมมีผลโดยตรงต่อขนาดของภาพสะท้อนรวม (Composite image) ที่ปรากฏบนระนาบของตัวรับ ด้วยเหตุนี้จำเป็นต้องศึกษาวิธีการหาค่ารัศมีความโค้งที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ได้ขนาดของภาพสะท้อนรวมไม่ใหญ่จนเกินไปและมีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะทั่ว ๆ ไปของฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบประกอบซึ่งใช้ระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์แบบ Altazimuth Mounting

ก. <u>การหาค่ารัศมีความโค้งจากมุมตกกระทบออกแบบ</u> (Ψ_S) เนื่องจากทิศทางของรังสีสะท้อนที่ออกจากกระจกไปยังตัวรับมีค่าคงที่แต่ทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เป็นผลให้ค่ามุมตกกระทบที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนแปรไป ซึ่งเป็นผลให้ค่ารัศมีความโค้งของผิวสะท้อนต้องเปลี่ยนตามไปด้วย พิจารณารูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงผิวสะท้อนรูปพาราโบลอยด์ซึ่งทำให้รังสีสะท้อนไปรวมกันที่จุด c

ให้ c เป็นจุดกึ่งกลางของตัวรับ, M เป็นกระจกสะท้อนแสง, d เป็นระยะทางจากกระจกถึงตัวรับ โดยมี $\bar{s}$, $\bar{t}$, และ $\bar{n}$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของรังสีดวงอาทิตย์, รังสีสะท้อนและหน่วยเวกเตอร์แนวฉากของผิวสะท้อน ตามลำดับ ฉะนั้นถ้าต้องการให้รังสีสะท้อนที่ออกจากกระจก M ไปรวมกันที่จุด c จะต้องให้หน่วยเวกเตอร์ $\bar{n}$ ขนานกับแกนกลางของรูปพาราโบลอยด์ และผิวของกระจก M จะต้องเป็นผิวโค้งรูปพาราโบลอยด์ (Paraboloid Mirror) เท่านั้น ให้ α_p เป็นระนาบรังสีตก–สะท้อนซึ่งเรียกว่า Tangential

Plane ระนาบนี้จะตัดผ่านแกนกลางของรูปพาราโบลอยด์ทำให้เกิดส่วนโค้ง AA′ และให้ β_P เป็นระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบรังสีตก–สะท้อน เรียกว่า Sagital Plane ระนาบนี้จะอยู่ในแนวของรังสีสะท้อนซึ่งจะตัดผ่านจุดกึ่งกลางของตัวรับไปยังกระจก ทำให้เกิดส่วนโค้ง BB′ ส่วนโค้งทั้งสองนี้ทำให้กระจก M สะท้อนแสงไปรวมกันที่จุด C เมื่อทิศทางของรังสีควงอาทิตย์อยู่ในแนวแกนของรูปพาราโบลอยด์

เนื่องจากขนาดของกระจกที่ใช้งานมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะ d ดังนั้นสามารถแทนส่วนโค้ง AA′ และ BB′ ซึ่งเป็นส่วนโค้งของรูปพาราโบลอยด์ด้วยค่ารัศมีความโค้ง R_t และ R_s ตามลำดับ จากสมการทั่วไปของรูปพาราโบลอยด์ในระบบแกนพิกัด u, v และ w โดยให้แกน w เป็นแกนกลางของรูปพาราโบลอยด์จะได้

$$u^2 + v^2 = (4P)w \qquad \text{..... (3.1)}$$

จากสมการที่ (3.1) สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของมุมรังสีตกกระทบและระยะทาง d (รายละเอียดภาคผนวก ง.) จะได้

$$u^2 + v^2 = \left[4d.\cos^2(\psi)\right].w \qquad \text{..... (3.2)}$$

เมื่อ ψ = มุมรังสีตกกระทบ

P = เป็นความยาวโฟกัสของรูปพาราโบลอยด์

ให้ R_v เป็นรัศมีความโค้งใด ๆ ของสมการที่(3.2) อาศัยสมการทางคณิตศาสตร์หาค่ารัศมีความโค้งจะได้

$$R_v = \left[1 + \left(\frac{du}{dw}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}} / (du^2/dw^2) \qquad \text{..... (3.3)}$$

เมื่อแทนสมการที่ (3.1) ในสมการที่ (3.3) จะได้

$$R_v = \left[u^2 + 4p^2\right]^{\frac{3}{2}}/4p^2 \qquad \ldots\ldots\ldots (3.4)$$

ฉะนั้นค่ารัศมีความโค้งที่จุดยอดกระจกจะได้

$$R_v = 2P = (2.d)\cos^2(\Psi) \qquad \ldots\ldots\ldots (3.5)$$

จากค่า R_v สามารถหาค่า R_t และ R_s ได้จากสมการของ Conic Mirrors [22] จะได้

$$R_t = R_v/\cos^3(\Psi) = 2d/\cos(\Psi) \qquad \ldots\ldots\ldots (3.6)$$

$$R_s = R_v/\cos(\Psi) = 2d.\cos(\Psi) \qquad \ldots\ldots\ldots (3.7)$$

จากสมการที่ (3.6) และ (3.7) ค่ารัศมีความโค้ง R_t และ R_s จะขึ้นอยู่กับค่ามุม (Ψ) แต่การใช้งานจริงค่ามุม Ψ จะเปลี่ยนตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ จึงเป็นผลให้ค่ารัศมีความโค้ง R_t และ R_s ของผิวสะท้อนเปลี่ยนตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องหาค่ารัศมีความโค้งเฉลี่ยมาใช้เพื่อให้ปริมาณพลังงานที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับได้มากที่สุด นั่นก็คือต้องเลือกค่ามุมตกกระทบที่เหมาะสมมาใช้หาค่า R_t และ R_s

ให้ Ψ_i เป็นค่ามุมตกกระทบที่ใช้หาส่วนโค้งของผิวกระจก (i เป็นค่าตัวแปรจากค่า min ถึง max) $\rho_i(\Psi_i)$ เป็นค่าปริมาณพลังงานรวมที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับ ณ มุมตกกระทบ Ψ และ $E(\Psi_i)$ เป็นค่าปริมาณพลังงานรวมทั้งหมดที่เข้าสู่ตัวรับตั้งแต่มุมตกกระทบต่ำสุด (Ψ_{min}) ถึงมุมตกกระทบสูงสุด (Ψ_{max}) จะได้

$$E(\Psi_i) = \int_{\Psi_{min.}}^{\Psi_{max.}} \rho_i(\Psi_i).d\Psi \qquad \ldots\ldots\ldots (3.8)$$

ให้ค่า ψ_S เป็นค่ามุมตกกระทบที่ใช้ออกแบบผิวโค้งของกระจกมีค่าอยู่ระหว่าง $\psi_{min.}$ และ $\psi_{max.}$ ซึ่งทำให้ $E(\psi_S) = E(\psi_t)_{max.}$ ดังนั้นค่ารัศมีมีความโค้งที่เหมาะสมจะได้

$$R_t = 2d./\cos(\psi_S) \qquad \ldots\ldots\ldots (3.9)$$

$$R_s = 2d.\cos(\psi_S) \qquad \ldots\ldots\ldots (3.10)$$

ส่วนโค้งของผิวกระจกที่ได้นี้จะเป็นส่วนหนึ่งของผิวรูปโคนัท (Toroidal-Surface) ซึ่งมีค่ารัศมีความโค้งทั้งสองไม่เท่ากัน ในกรณีที่มุมตกกระทบเป็นศูนย์จะได้ค่า $R_t = R_s$ ซึ่งก็คือส่วนโค้งของทรงกลมนั่นเอง

ข. <u>ปรับความเอียงของผิวกระจกตามเวลาที่ใช้ออกแบบ</u> (T_s) เป็นวิธีการปรับให้รังสีสะท้อนที่เกิดจากจุดกึ่งกลางของกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบานไปรวมกันที่จุดกึ่ง-กลางของตัวรับ ซึ่งจะได้ความเอียงของผิวกระจกที่จุดกึ่งกลางเป็นส่วนหนึ่งของผิวโค้งรูปพาราโบลอยด์คล้ายกับวิธีแรก ผลจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ทำให้ที่เวลาอื่น ๆ ต้องปรับความเอียงของกระจกตามไปด้วยเพื่อให้รังสีสะท้อนไปรวมที่จุดกึ่งกลางของตัวรับตลอดเวลา แต่ในการใช้งานจริงการปรับยึดแผ่นกระจกดังกล่าวจะทำเพียงครั้งเดียวในขณะติดตั้งฮีลิโอสแตท ดังนั้นจะต้องหาค่าเฉลี่ยความเอียงของผิวกระจกซึ่งอยู่ในเทอมของเวลาที่ใช้ออกแบบซึ่งทำให้ปริมาณพลังงานที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในรอบปีก็คล้ายกับวิธีแรกที่หาอยู่ในเทอมของมุมตกกระทบออกแบบ แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกและง่ายต่อการจัดทำโปร-แกรมโดยหลักการหาดังนี้

ให้ T_I เป็นเวลาที่ใช้ออกแบบมีค่าอยู่ระหว่าง T_b ถึง T_L เมื่อ T_b เป็นเวลาเริ่มต้นที่ให้รังสีสะท้อนเข้าสู่ตัวรับ และ T_L เป็นเวลาสุดท้ายที่มีการสะท้อนแสงเข้าสู่ตัวรับ จะได้

$$T_b \leqslant T_I \leqslant T_L \qquad \text{..... (3.11)}$$

หรือ $T_{I=1} = T_b,\ T_{I=2}, \ldots, T_{I=n-1}, T_{I=n} = T_L$ ..... (3.12)

ให้ $E_I(t)$ เป็นค่าปริมาณพลังงานที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับที่เวลา t ใด ๆ เมื่อปรับความเอียงของผิวกระจก ณ เวลาออกแบบ T_I จะได้

$$E_I(t) = \rho_m . A_f(t).\cos(\psi_t)\ \phi(t) \qquad \text{..... (3.13)}$$

เมื่อ ρ_m = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของกระจก

$A_f(t)$ = เป็นค่าพื้นที่ของกระจกที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับที่เวลา t

$\phi(t)$ = ค่าความเข้มรังสีตรงที่เวลา t

ψ_t = มุมรังสีตกกระทบที่เวลา t

ฉะนั้นปริมาณพลังงานทั้งหมดที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับในรอบปีจะได้

$$E_I = \int_0^{365}\int_{t_b}^{t_L} \rho_m . A_f(t).\cos(\psi_t).\phi(t).dt.dn \qquad \text{..... (3.14)}$$

ให้ T_s เป็นเวลาออกแบบที่ใช้ปรับความเอียงของผิวกระจกซึ่งเป็นผลให้ค่าปริมาณพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับในรอบปีมีค่าสูงสุด นั่นก็คือ

$$E_s = E_I(\max) \qquad \text{..... (3.15)}$$

การหาค่า E_I ในสมการที่ (3.14) นั้น ต้องหาค่าปริมาณพลังงานทุก ๆ วันในรอบปีซึ่งยุ่งยากในการคำนวณหาค่า และเนื่องจากทิศทางและความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นโลกจะเปลี่ยนแปรตามค่ามุมฤดูกาล ด้วยเหตุนี้จึงได้กำหนดวันที่ใช้คำนวณหาค่าปริมาณพลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อใช้ในการออกแบบ 4 วันด้วยกัน คือ วันที่ 21 ธันวาคม, 21 มีนาคม, 21 มิถุนายน และ 21 กันยายน ตรงกับค่ามุมฤดูกาล -23.45°, 0°, 23.45° และ 0° ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีตรงเท่ากับ

$$\phi(i,j) = I_b(\tau_i, \delta_j) \qquad \text{..... (3.16)}$$

เมื่อ $\phi(i,j)$ เป็นค่าความเข้มรังสีตรงที่มุมชั่วโมง i และมุมฤดูกาล j

τ_i เป็นค่ามุมชั่วโมงที่ i

δ_j เป็นค่ามุมฤดูกาล ($\delta_1 = -23.45^{\circ}$)

ฉะนั้นเมื่อแทนค่า $\phi(i,j)$ ในสมการที่ (3.14) จะได้

$$E_I = \int_j \int_i \rho_m A_f(i).\cos(\psi_i).\phi(i,j)di.dj \qquad \text{..... (3.17)}$$

สมการที่ (3.17) นี้ใช้คำนวณหาค่าปริมาณพลังงาน E_I ที่เข้าสู่ตัวรับเมื่อปรับยึดมุมกระจก ณ เวลา T_I ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนค่าจาก $T_I = T_b$ ถึง $T_I = T_L$ จะได้ค่า E_I ต่าง ๆ หลายค่านำมาเปรียบเทียบหาค่า $E_I(max)$ ซึ่งมีค่าสูงสุดก็จะได้ค่า T_s ที่เหมาะสมในการปรับยึดมุมกระจก

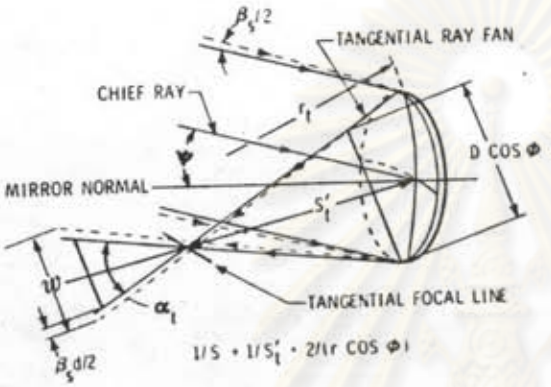
<u>การหาขนาดของภาพสะท้อน</u>

การคำนวณหาค่าปริมาณพลังงานในส่วนที่เข้าสู่ตัวรับนั้นจำเป็นต้องหาขนาดของภาพสะท้อนที่ปรากฏบนระนาบช่องรับแสงซึ่งประกอบด้วยหลักการดังนี้

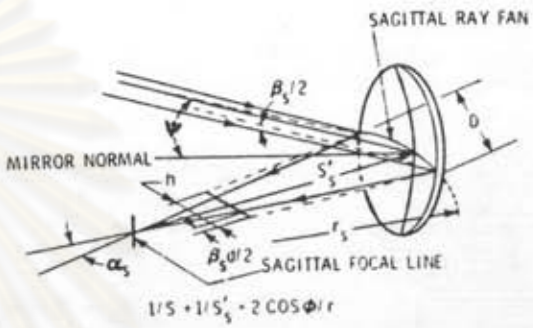
ก. <u>ขนาดของภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกโค้ง</u> เนื่องจากมุมรังสีตกกระทบมีค่าเปลี่ยนไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ทำให้ระยะโฟกัสที่ได้ในเวลาต่าง ๆ มีค่าแปรตามไปด้วย เป็นผลให้ขนาดของภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกโค้งมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม

I16682B5X

พิจารณารูปที่ 3.3ก แสดงขนาดของภาพสะท้อนกว้าง w ในระนาบของรังสีตก–สะท้อนซึ่งเกิดจากกระจกโค้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง D รัศมีความโค้ง R_t ที่มุมรังสีตกกระทบ ψ และรูปที่ 3.3ข แสดงขนาดความยาวของภาพสะท้อน h ซึ่งเกิดจากรัศมีความโค้ง R_s ในระนาบแนวฉากกับระนาบรังสีตก–สะท้อน (Sagital plane)



รูปที่ 3.3 ก



รูปที่ 3.3 ข

รูปที่ 3.3 แสดงความกว้างและความยาวของภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกโค้งรัศมี R_t และ R_s ที่มุมรังสีตกกระทบ ψ

จากสมการของ Coddington ซึ่งกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ, ภาพสะท้อน และระยะทางที่เกิดจากกระจกโค้งโดยมีมุมรังสีตกกระทบ ψ จากสมการดังกล่าวสามารถหาระยะโฟกัสและขนาดของภาพสะท้อนในแต่ละระนาบได้ดังนี้

1. <u>ระนาบรังสีตก–สะท้อน</u> (Tangential Plane)

ระยะโฟกัส $S'_t = R_t.\cos(\psi)/2$ ..... (3.19)

มุมสู่เข้าของรังสี $\alpha_t = D.\cos(\psi)/S_t = 2.D/R_t$ ..... (3.20)

ขนาดภาพสะท้อน $w = \alpha_t . |(d - S'_t)| + \beta_s . d$ ..... (3.21)

2. <u>ระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบรังสีตก–สะท้อน</u> (Sagittal Plane)

ระยะโฟกัส $S'_s = R_s . \sec(\psi)/2$ ..... (3.22)

มุมลู่เข้าของรังสี $\alpha_s = 2.D.\cos(\psi)/R_s = D/S'_s$ ..... (3.23)

ขนาดภาพสะท้อน $h = \alpha_s . |(S'_s - d)| + \beta_s . d$ ..... (3.24)

เมื่อ d = ระยะทางจากกระจกถึงตัวรับ

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระจกโค้ง

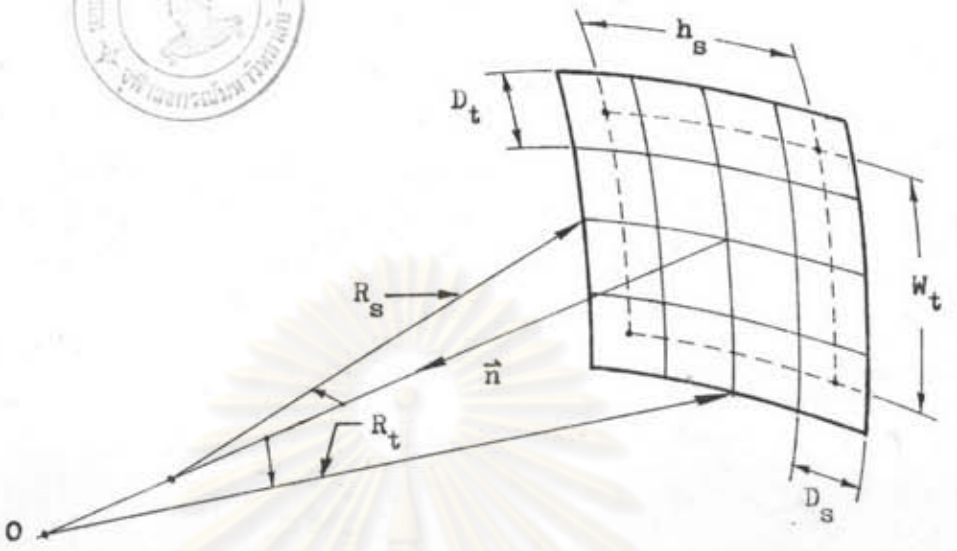
β_s = มุมลู่เข้าของรังสีควงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 9.3 มิลลิเรเดียน

สำหรับฮีลิโอสแตทแบบใช้กระจกโค้งแผ่นเดียวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง D โดยมี ψ_s เป็นมุมตกกระทบออกแบบ ฉะนั้นเมื่อแทนค่าต่าง ๆ ในสมการที่ (3.21) และ (3.24) จะได้

$$h = D.\cos(\psi).|1/\cos(\psi) - 1/\cos(\psi_s)| + \beta_s . d \quad \ldots (3.25)$$

และ $$w = D.|\cos(\psi_s) - \cos(\psi)| + \beta_s . d \quad \ldots\ldots\ldots (3.26)$$

ข. <u>ขนาดของภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกแผ่นราบประกอบ</u> สำหรับฮีลิโอสแตทที่มีผิวสะท้อนแสงเกิดจากการใช้กระจกแผ่นราบประกอบหลาย ๆ บานมาวางเรียงกันโดยปรับให้เส้นแนวฉากจากจุดกึ่งกลางของกระจกแต่ละบานไปรวมกันที่จุดศูนย์กลางของรัศมีความโค้ง R_t และ R_s ในแต่ละระนาบขนาดของภาพสะท้อนที่เกิดจากแผ่นกระจกเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนแผ่นกระจกที่ใช้



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะผิวสะท้อนแสงซึ่งประกอบด้วยกระจกแผ่นราบ 16 บาน วางเรียงตามค่ารัศมีความโค้ง R_t และ R_s

ให้ D_t และ D_s เป็นความกว้างและยาวของแผ่นกระจกในระนาบของรัศมีความโค้ง R_t และ R_s ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4 โดยมี W_t และ h_s เป็นขนาดความกว้างและยาวของผิวสะท้อนแสงซึ่งวัดจากจุดกึ่งกลางของแผ่นกระจกริมสุดด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง ในแนวส่วนโค้งของรัศมี R_t และ R_s ตามลำดับ ฉะนั้นขนาดของภาพสะท้อนที่เล็กที่สุด จะไม่เป็นจุดเหมือนกับกระจกโค้งแบบแผ่นเดียวคือจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับขนาดของภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกแผ่นราบหนึ่งแผ่น ดังนั้นขนาดของภาพสะท้อนรวมในแต่ละระนาบหาได้ดังนี้

พิจารณารูปที่ 3.3ก ขนาดความกว้างของภาพสะท้อนที่ได้รับจะอยู่นอกจุดโฟกัส แต่รูปที่ 3.3ข ระยะโฟกัสจะอยู่เลยระยะภาพ เมื่อเทียบกับรูปที่ 3.4 ถ้าให้รังสีสะท้อนที่ออกจากจุดกึ่งกลางของกระจกแผ่นราบทั้ง 16 บาน จะพบว่าจุดกึ่งกลางของกระจกแผ่นราบ

ที่อยู่ในมุมทั้ง 4 จะเป็นจุดที่ทำให้เกิดภาพใหญ่ที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงได้แยกการหาขนาดของภาพสะท้อนจากกระจกแผ่นราบประกอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ขนาดของภาพที่เกิดจากจุดกึ่งกลางของกระจกแผ่นราบแต่ละบานและภาพที่เกิดจากด้านขอบของกระจกแผ่นราบ ดังนั้นขนาดรวมของภาพสะท้อนจะได้

$$W = w'_t + D'_t \qquad \text{.....} \quad (3.27)$$

จากสมการที่ (3.26) จะได้ $w'_t = w$ และ D'_t หาได้จากภาคผนวก จ. ดังนั้นจะได้

$$W = W_t.\left|\cos(\psi_s) - \cos(\psi)\right| + \frac{D_t}{2}\left[\cos(\psi + \alpha'_t)\right.$$

$$\left. + \cos(\psi - \alpha'_t)\right].\sec(2.\alpha'_t) + \beta_s.d \qquad \text{.....} \quad (3.28)$$

เมื่อ $\alpha'_t = \tan^{-1}(\frac{W_t}{2R_t})$

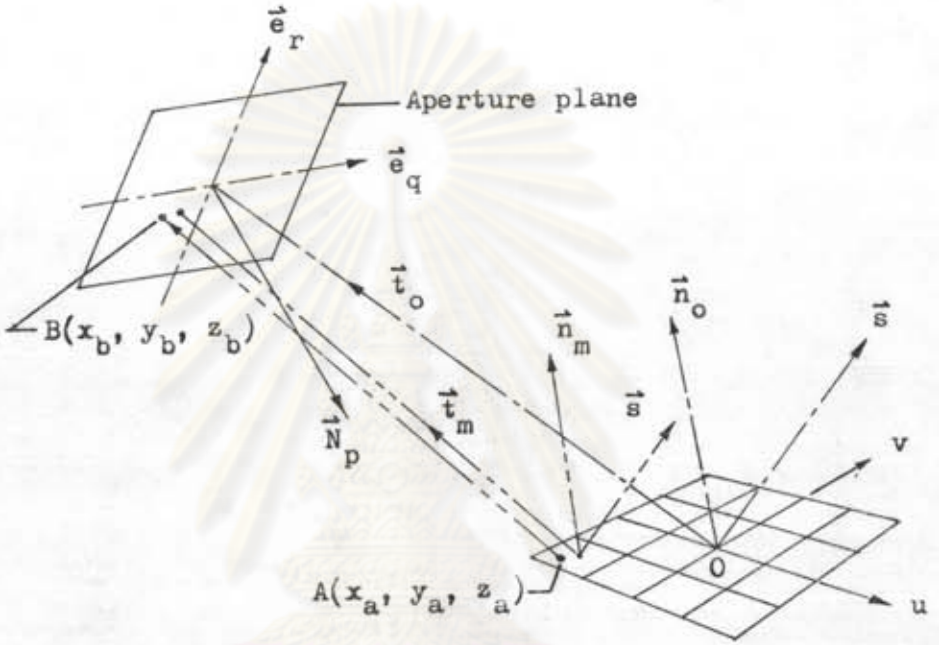
ในทำนองเดียวกันขนาดของภาพสะท้อนที่ได้ในระนาบของรัศมีความโค้ง R_s ก็จะมีค่าเท่ากับค่า h ในสมการที่ (3.25) รวมกับค่าที่เกิดจากความยาวของกระจกแผ่นราบซึ่งแตกอยู่ในระนาบตัดขวางกับรังสีสะท้อนจะได้

$$H = h_s.\left|1 - \frac{\cos(\psi)}{\cos(\psi_s)}\right| + D_s.\sec(\alpha'_s) + \beta_s.d \quad \text{....} (3.29)$$

เมื่อ $\alpha'_s = \tan^{-1}(h_s.\cos(\psi)/R_s)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. <u>การหาภาพสะท้อนจากซีลิโอสแตทที่ใช้ในการจัดทำโปรแกรม</u> ในการจัดทำโปรแกรมหาลักษณะของภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบานนั้นต้องอาศัยสมการทางเวกเตอร์หาจุดตัดของรังสีสะท้อนกับระนาบช่องรับแสงของตัวรับ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ให้ $\vec{s}$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของแสงอาทิตย์ตกบนจุด o ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของโครง



รูปที่ 3.5 แสดงทิศทางของรังสีสะท้อนที่ออกจากกระจกแผ่นราบประกอบไปยังระนาบของตัวรับ

สะท้อนแสง โดยมี $\vec{n}_o$ เป็นหน่วยเวกเตอร์แนวฉากของโครงนี้ อุปกรณ์หันตามดวงอาทิตย์จะควบคุมให้รังสีสะท้อน $\vec{t}_o$ พุ่งตรงไปยังจุดกึ่งกลางของระนาบรับแสงตลอดเวลา ให้ $\vec{n}_m$ เป็นหน่วยเวกเตอร์แนวฉากของแผ่นสะท้อนแสง m ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่า $\vec{n}_o$ (ขึ้นอยู่กับมุมเอียงที่ปรับยึดกระจกแผ่นราบประกอบติดกับโครงสะท้อนแสง) จากค่า $\vec{s}$ และ $\vec{n}_m$

สามารถหาค่า $\vec{t}_m$ ซึ่งเป็นหน่วยเวกเตอร์ของรังสีสะท้อนได้ ดังนั้นถ้าให้รังสีสะท้อนที่ออกจากจุด A ซึ่งเป็นจุดใด ๆ อยู่บนกระจกแผ่นราบ m พุ่งไปตัดกับระนาบของตัวรับที่จุด B โดยมีทิศทางขนานกับหน่วยเวกเตอร์ $\vec{t}_m$ แล้วจะได้จุด B เป็นจุดตกของรังสีสะท้อนที่เกิดจากจุด A ฉะนั้นถ้าเคลื่อนจุด A ไปตามขอบของแผ่นกระจกก็จะได้ตำแหน่งของจุด B เคลื่อนไปเป็นรูปของภาพสะท้อนที่เกิดจากแผ่นกระจก M ซึ่งมีหลักการหาดังนี้

ให้จุด A อยู่ที่ตำแหน่ง (x_a, y_a, z_a) และจุด B อยู่ที่ (x_b, y_b, z_a) โดยมีทิศจาก A ไป B ขนานกับหน่วยเวกเตอร์ $\vec{t}_m$ จะได้

$$\vec{AB} = L.\vec{t}_m \qquad \text{..... (3.30)}$$

เมื่อ $\vec{AB} = (x_b - x_a)\vec{i} + (y_b - y_a)\vec{j} + (z_b - z_a)\vec{k}$

$\vec{t}_m = (a_{tm})\vec{i} + (b_{tm})\vec{j} + (c_{tm})\vec{k}$

L = ค่าคงที่ใด ๆ

ดังนั้นตำแหน่งของจุด B จะได้

$$\begin{aligned} x_b &= x_a + a_{tm}.L \\ y_b &= y_a + b_{tm}.L \qquad \text{..... (3.31)} \\ z_b &= z_a + c_{tm}.L \end{aligned}$$

ให้ $\vec{n}_p$ เป็นหน่วยเวกเตอร์แนวฉากของระนาบช่องรับแสงจะได้

$$\vec{n}_p = (a_p)\vec{i} + (b_p)\vec{j} + (c_p)\vec{k} \qquad \text{..... (3.32)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากค่า $\vec{n}_p$ สามารถหาสมการของระนาบรับแสงซึ่งมีจุด B อยู่บนระนาบนี้จะได้

$$a_p.x_b + b_p.y_b + c_p.z_b = d_p \qquad \text{..... (3.33)}$$

เมื่อ $d_p = a_p.x_o + b_p.y_o + c_p.z_o$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (3.31) ในสมการที่ (3.33) จะได้

$$d_p = a_p(x_a + a_{tm}.L) + b_p(y_a + b_{tm}.L) + c_p(z_a + c_{tm}.L)$$

$$\therefore L = \frac{(d_p - a_p.x_a - b_p.y_a - c_p.z_a)}{(a_p.a_{tm} + b_p.b_{tm} + c_p.c_{tm})} \qquad \text{..... (3.34)}$$

เมื่อแทนค่า L ในสมการที่ (3.31) จะได้ตำแหน่งของภาพสะท้อน B ที่เกิดจากจุด A

จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาจัดทำโปรแกรมหาพื้นที่ของภาพสะท้อนเฉพาะในส่วนที่ผ่านช่องรับแสงเข้าสู่ตัวรับได้ โดยการแบ่งกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบานออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ แล้วหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของพื้นที่เล็ก ๆ เหล่านี้ให้เป็นจุด A_i เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ในสมการที่ (3.34) และ (3.31) แล้วก็จะได้ตำแหน่งของจุด B_i จากนั้นตรวจเช็คว่าตำแหน่งของจุด B_i อยู่ภายในช่องรับแสงหรือไม่ ถ้าอยู่ก็คำนวณหาพื้นที่ของภาพสะท้อนที่เกิดจากพื้นที่เล็ก ๆ เหล่านี้ไว้รวมเป็นพื้นที่ของภาพสะท้อนทั้งหมดที่เข้าสู่ตัวรับจากกระจกแผ่นราบดังกล่าว พิจารณารูปที่ 3.6 ให้กระจกแผ่นราบประกอบมีขนาดกว้าง D_t และยาว D_s หน่วย ประกอบด้วยพื้นที่เล็ก ๆ ขนาดกว้าง ΔF_w และ ΔF_L หน่วย ให้ D_n เป็นจำนวนแถวของพื้นที่เล็ก ๆ ทั้งด้านกว้างและด้านยาว จะได้

$$\Delta F_L = D_s/D_n$$

$$\Delta F_w = D_t/D_n \qquad \text{..... (3.35)}$$

เพื่อความสะดวกในการหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของพื้นที่เล็ก ๆ แต่ละอันให้แกน x' และ y' ขนานกับขอบด้านยาวและด้านกว้างของกระจกโดยมีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดกึ่งกลางของกระจกแผ่นราบประกอบ จากนั้นย้ายแกน x' และ y' มาที่ขอบกระจก ดังรูปที่ 3.6 จะได้

$$A_{ij} = (x'_{ij}, y'_{ij}) \qquad \text{..... (3.36)}$$

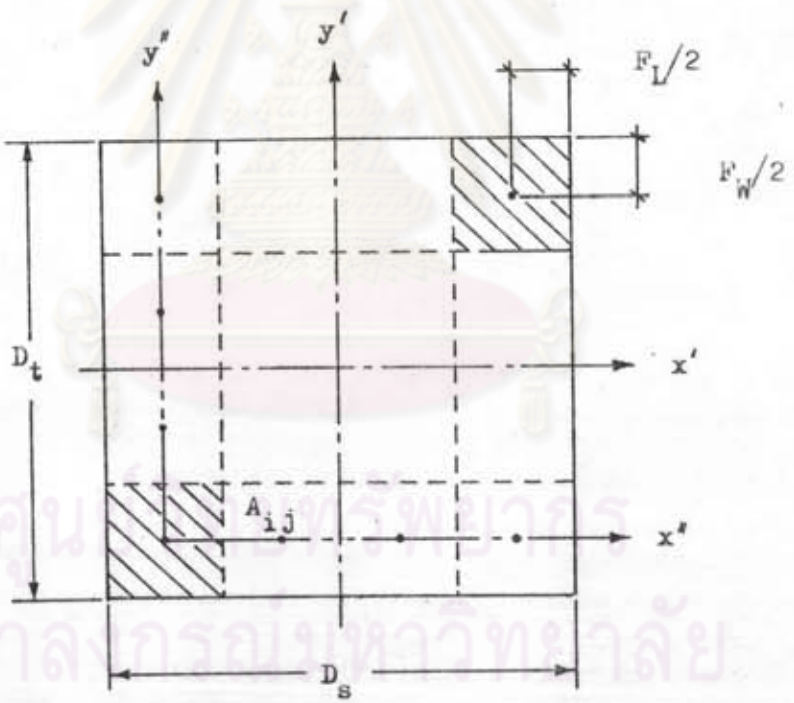
เมื่อ A_{ij} = ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของพื้นที่เล็ก ๆ

$(i = 1,2,\ldots, D_n$ และ $j = 1,2,\ldots D_n)$

$x_{ij} = (i).\ \Delta F_L - (D_s + \Delta F_L)/2$

$y_{ij} = (j).\ \Delta F_w - (D_t + \Delta F_w)/2$

จากนั้นใช้วิธีแมพปิ้งหาตำแหน่ง A_{ij} ให้มาอยู่ในระบบการบอกตำแหน่งจากหอคอยก็สามารถคำนวณหาตำแหน่งของจุด B_{ij} ได้

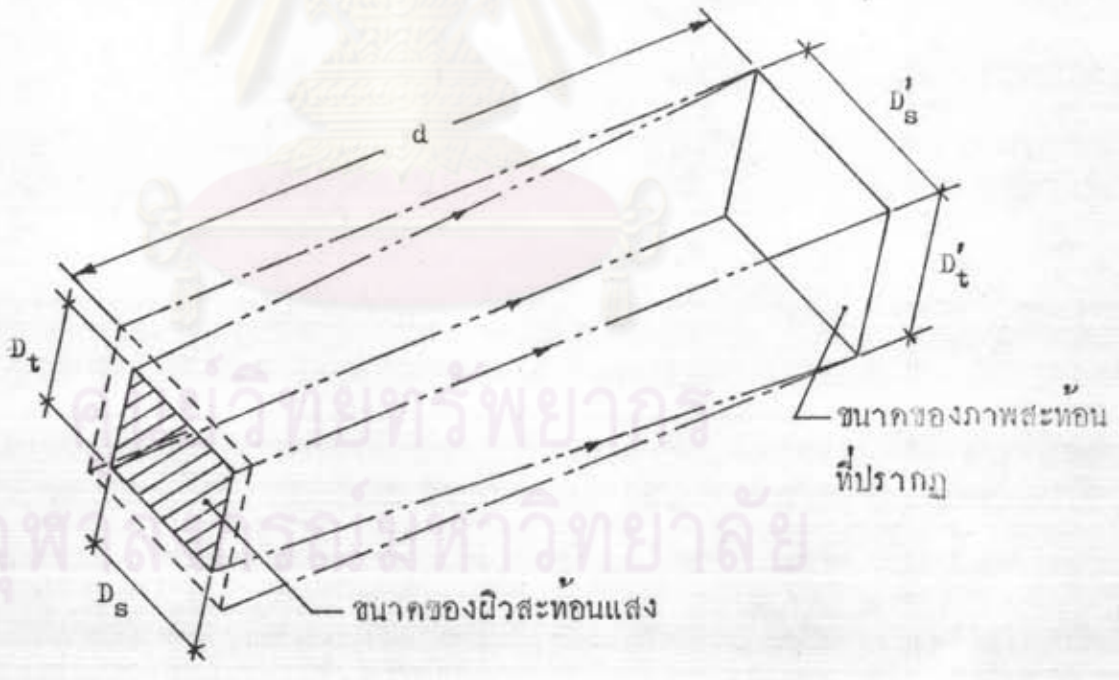


รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งจุดกึ่งกลางของพื้นที่เล็ก ๆ ที่แบ่งจากกระจกแผ่นราบประกอบ

ง. <u>ภาพสะท้อนที่เกิดจากลำแสงของดวงอาทิตย์</u> เนื่องจากลำแสงดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกเป็นลำแสงลู่เข้าด้วยมุมกรวย 0.0093 เรเดียน เป็นผลให้ลำแสงสะท้อนถ่างออกด้วยมุมกรวย 0.0093 เรเดียนเช่นกัน ทำให้ขนาดของภาพสะท้อนที่ได้มีขนาดโตกว่าเดิมซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางจากจุดสะท้อนไปยังตัวรับ ฉะนั้นเพื่อความสะดวกในการหาขนาดของภาพสะท้อนที่เกิดขึ้นจริง โดยใช้การเพิ่มขนาดของแผ่นกระจกให้โตขึ้นก่อน ให้มีขนาดเท่ากับขนาดของแผ่นกระจกบวกกับค่าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมุมกรวยของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.7 ให้ d เป็นระยะทางจากผิวสะท้อนแสงถึงตัวรับโดยมี D_t และ D_s เป็นขนาดความกว้างและยาวของแผ่นกระจกสะท้อนแสง ฉะนั้นขนาดที่ปรับใหม่ของแผ่นกระจกจะได้

$$D'_t = D_t + (0.0093).d$$

$$D'_s = D_s + (0.0093).d \qquad \text{..... (3.37)}$$



รูปที่ 3.7 แสดงการเพิ่มขนาดของแผ่นสะท้อนแสงที่เกิดจากลำแสงดวงอาทิตย์

เมื่อแทนค่า D_t และ D_s ด้วย D'_t และ D'_s แล้วสามารถคำนวณหาตำแหน่งของภาพสะท้อนโดยใช้สมการของลำแสงขนานได้

<u>การหาความเข้มของรังสีสะท้อนบนระนาบช่องรับแสง</u> (I_m)

เนื่องจากภาพสะท้อนรวมที่ปรากฏบนระนาบช่องรับแสงเกิดจากรังสีสะท้อนของกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบานซ้อนทับร่วมกัน ทำให้ความเข้มรวมของภาพสะท้อนที่ได้มีค่าในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน ให้ I_b เป็นค่าความเข้มของรังสีตรง (Beam Radiation) ที่ตกลงบนพื้นที่เล็ก ๆ dA_m ของแผ่นกระจกด้วยมุมรังสีตกกระทบ ψ ให้ ρ_m เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Reflectivity) ของผิวกระจก ดังนั้นค่าความเข้มของรังสีสะท้อนที่ตกบนระนาบช่องรับแสงจะได้

$$I_m = \rho_m . I_b . dA_m . \cos(\psi)/dA_p \quad \text{.....} \quad (3.38)$$

เมื่อ I_m = ค่าความเข้มของรังสีสะท้อนบนระนาบช่องรับแสงที่เกิดจากพื้นที่ dA_m

dA_p = พื้นที่ของภาพสะท้อนบนระนาบช่องรับแสงที่เกิดจากพื้นที่ dA_m

เนื่องจากพื้นที่ dA_p เกิดจากพื้นที่ภาพฉายของ dA_m ในทิศทางของรังสีสะท้อนบวกกับพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากลำแสงลู่เข้าของดวงอาทิตย์ แล้วแตกพื้นที่ดังกล่าวมาอยู่ในระนาบช่องรับแสงจะได้

$$dA_p = dA'_m . \cos(\psi) . \sec(\gamma) \quad \text{.....} \quad (3.39)$$

เมื่อ dA'_m = พื้นที่ขยายของ dA_m ที่เกิดจากลำแสงลู่เข้าของดวงอาทิตย์ ซึ่งหาได้จากสมการที่ (3.37)

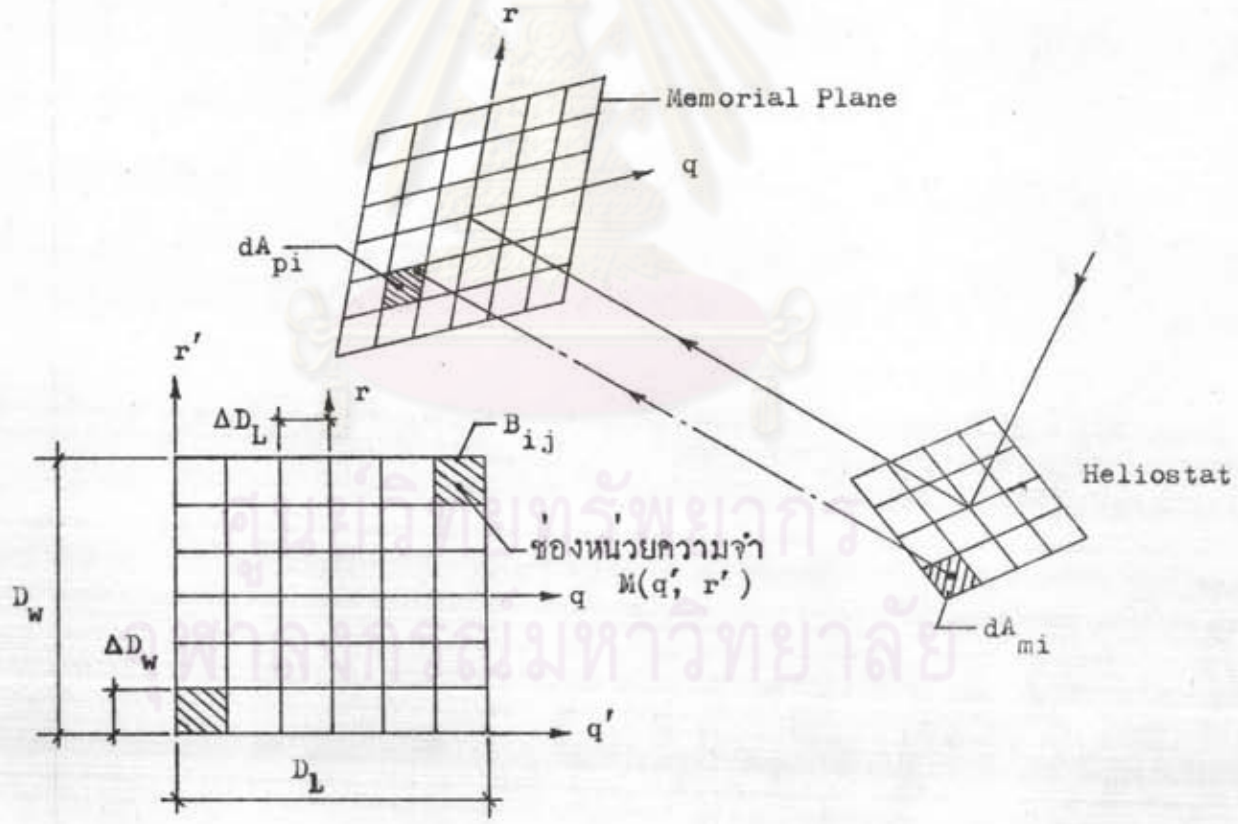
γ = มุมระหว่างรังสีสะท้อนทำกับเส้นแนวฉากของระนาบช่องรับแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการที่ (3.39) ในสมการที่ (3.38) จะได้

$$I_m = \rho_m . I_b . \cos(\gamma) \left[dA_m / dA'_m \right] \qquad \ldots\ldots\ldots (3.40)$$

ค่า I_m จากสมการที่(3.40) เป็นค่าเฉลี่ยของรังสีตรง ณ จุดใด ๆ ในพื้นที่ dA_p แต่ค่าดังกล่าวไม่ได้บอกตำแหน่งของพื้นที่ dA_p ด้วยเหตุนี้ต้องอาศัยระนาบความจำ (Memorial Plane) เพื่อเก็บค่าตำแหน่งและความเข้มของแสงอาทิตย์ไว้ และเมื่อรวมกับภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกแผ่นราบหรือฮีลิโอสแตทชุดอื่น ๆ ที่ตกลงบนตำแหน่งนี้อีก ก็รวมค่าความเข้มใหม่นี้กับค่าความเข้มเดิมไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนฮีลิโอสแตทที่ใช้ก็จะได้ค่าความเข้มรังสีทั้งหมดที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ให้ D_w และ D_L เป็นขนาดความ



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของระนาบความจำซึ่งใช้แทนระนาบช่องรับแสง

กว้างและความยาวของระนาบความจำ และ N_p เป็นจำนวนแถวทั้งในด้านกว้างและด้านยาว ดังนั้นขนาดความกว้างและยาวของช่องหน่วยความจำจะได้

$$\Delta D_w = D_w/N_p$$
$$\Delta D_L = D_L/N_p \qquad \text{..... (3.41)}$$

เพื่อความสะดวกในการหาช่องหน่วยความจำที่รังสีสะท้อนมาตกกระทบจึงย้ายแกน q และ r มาอยู่ที่ขอบของระนาบความจำคือแกน q' และ r' ดังรูปที่ 3.8 ดังนั้นตำแหน่งต่าง ๆ ของจุดตกกระทบ $B_{ij}(q_{ij}, r_{ij})$ เมื่อวัดจากแกน q' และ r' จะได้

$$q'_{ij} = q_{ij} + D_L/2$$
$$r'_{ij} = r_{ij} + D_w/2 \qquad \text{..... (3.42)}$$

เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของจุดตกกระทบใหม่เป็น $B_{ij}(q'_{ij}, r'_{ij})$ แล้วจะต้องตรวจเช็คดูว่าตำแหน่ง B_{ij} ดังกล่าวตกอยู่ภายในช่องหน่วยความจำใดโดยการใช้สมการดังนี้

$$\sum_{m=1}^{NP} \left[\Delta D_w(m-1) < r'_{ij} \leqslant \Delta D_w(m) \right] \qquad \text{..... (3.43)}$$

และ
$$\sum_{n=1}^{NP} \left[\Delta D_L(n-1) < q'_{ij} \leqslant \Delta D_L(n) \right] \qquad \text{..... (3.44)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการที่ (3.43) และ (3.44) เป็นสมการเปรียบเทียบโดยเพิ่มค่า m และ n ครั้งละหนึ่งจนได้ค่า m และ n สอดคล้องตามสมการซึ่งทำให้ทราบตำแหน่งของช่องหน่วยความจำ M(n, m) ได้ จากตำแหน่งที่ได้นี้บวกค่า I_m ใหม่เข้ากับค่า I_m เดิม ในที่สุดก็สามารถหาค่าการแจกแจงความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์บนระนาบช่องรับแสงได้ ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการออกแบบตัวรับต่อไป

<u>ปริมาณพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับ</u> (Q)

การหาค่าปริมาณพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับนั้นสามารถคำนวณหาได้โดยการแบ่งผิวกระจกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ dA_m จากนั้นหาจุดตกกระทบของรังสีสะท้อนที่พุ่งออกจากจุดกึ่งกลางของพื้นที่ dA_m นี้ ถ้าจุดตกกระทบนี้อยู่ภายในช่องรับแสงจึงคำนวณหาค่าปริมาณพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับโดยใช้สมการ

$$d_q = \rho_m . dA_{mi} . \cos(\psi_i) . I_b(t) \qquad \text{..... (3.45)}$$

จากนั้นเปลี่ยนตำแหน่งจุดกึ่งกลางของพื้นที่เล็ก ๆ เหล่านี้ไปจนครบฮีลิโอสแตทหุก ๆ ชุดก็จะได้ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับ ณ เวลา (t) ในชั่วขณะนั้นจะได้

$$Q(t) = \rho_m . I_b(t) \sum_i dA_{mi} . \cos(\psi_i) \qquad \text{..... (3.46)}$$

เมื่อ dA_{mi} เป็นพื้นที่เล็ก ๆ ที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับ

ดังนั้นค่าปริมาณพลังงานที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับในรอบปีจะได้

$$Q_{in} = \sum_t Q(t) \qquad \text{..... (3.47)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย