หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การคำนวณในระบบไฟส่องสว่างพื้นที่

ค่าความสว่างเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของความสว่าง เป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบระบบไฟส่องสว่างพื้นที่ ต้องคำนวณหาเพื่อให้ได้ค่าทั้งสองตามที่กำหนด วิธีคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ยมี 2 วิธี คือ วิธีลูเมน และ วิธีจุดต่อจุด ส่วนค่าความสม่ำเสมอของความสว่างจะคำนวณได้จาก วิธีจุดต่อจุด เท่านั้น

การคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ยด้วยวิธีลูเมน

วิธีลูเมนเป็นการคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ย โดยหาปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นที่คำนวณ แล้วหารด้วยขนาดของพื้นที่คำนวณ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และรวดเร็ว แต่จะทราบเพียงค่าความสว่างเฉลี่ยเท่านั้น จะไม่สามารถระบุค่าความสว่างสูงสุด-ต่ำสุด และค่าความสม่ำเสมอของความสว่างได้ การคำนวณด้วยวิธีลูเมนมีสมการพื้นฐาน ดังนี้

$$Eav = \frac{N \times \phi_u \times MF}{A} \qquad \text{----- 3.1}$$

$$= \frac{N \times \phi_u \times CU \times MF}{A} \qquad \text{----- 3.2}$$

โดย

Eav = ค่าความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)

N = จำนวนโคมฉาย (โคม)

ϕ_u = ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกบนพื้นที่ของโคมฉายแต่ละโคม (ลูเมน)

ϕ_b = ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟ (ลูเมน)

CU = สัมประสิทธิ์การใช้แสงของโคมฉาย

MF = แฟคเตอร์การบำรุงรักษา (LLD x LDD)

A = พื้นที่ (ตารางเมตร)

จากสมการ 3.2 จะเห็นว่าปริมาณฟลักซ์การส่องสว่าง ที่ใช้ในการคำนวณจะเปลี่ยนจากของโคมฉายเป็นของหลอดไฟ เพราะการคำนวณปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างของโคมฉายที่ตกลงบนพื้นที่คำนวณโดยตรงนั้นค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นส่วนใหญ่จะหาจากผลคูณของ ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟ กับค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของโคม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของโคมจะขึ้นอยู่กับแบบของโคมฉาย และลักษณะการติดตั้งโคมฉาย โดยค่าสัมประสิทธิ์นี้จะหาได้จาก Utilization Data ของโคมฉาย สำหรับแฟคเตอร์การบำรุงรักษานั้นจะเป็นผลคูณของแฟคเตอร์ของแสงสว่างที่ลดลงจากการใช้งานครบอายุ (LLD) กับแฟคเตอร์การสูญเสียแสงจากความสกปรกของโคมฉาย (LDD)

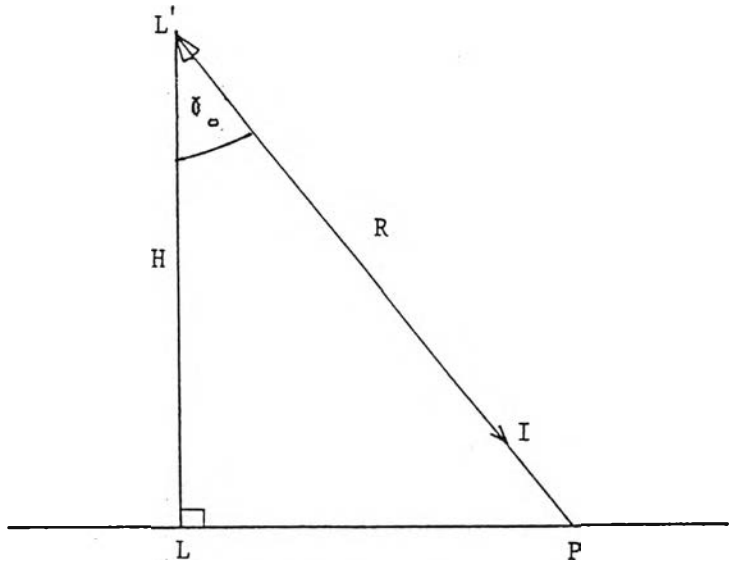
การคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของความสว่างด้วยวิธี จุดต่อจุด

วิธีจุดต่อจุด เป็นการคำนวณค่าความสว่างที่จุดต่าง ๆ บนพื้นที่ ทำให้ทราบค่าความสว่างสูงสุด-ต่ำสุด ค่าความสว่างเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของความสว่างได้ สำหรับค่าความสว่างที่จุดต่าง ๆ นั้นจะสามารถคำนวณได้ทั้งแนวราบ และแนวดิ่ง แต่ในระบบไฟส่องสว่างพื้นที่ส่วนใหญ่จะสนใจค่าในแนวราบเท่านั้น ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะค่าความสว่างในแนวราบเท่านั้น

1. การคำนวณค่าความสว่างที่จุดใด ๆ

การคำนวณค่าความสว่างที่จุดใด ๆ พิจารณาได้จาก รูปที่ 3.1 เมื่อ L คือ โคมฉาย และ P คือจุดคำนวณใด ๆ จะได้

017220



รูปที่ 3.1 แสดงการคำนวณค่าความสว่างที่จุดใด ๆ

$$E = \frac{I \cos(\theta)}{R^2} \quad \text{ลักซ์} \qquad \text{----- 3.3}$$

เนื่องจาก $R = \frac{H}{\cos(\theta)}$

ดังนั้นจะได้

$$E = \frac{I \cos^3(\theta)}{H^2} \quad \text{ลักซ์} \qquad \text{----- 3.4}$$

ถ้ามีโคมฉาย N โคม จะได้ค่าความสว่างที่จุดคำนวณ P ดังนี้

$$E = \sum_{i=1}^{N} \frac{I_i \cos^3(\theta_i)}{H_i^2} \quad \text{ลักซ์} \qquad \text{----- 3.5}$$

เมื่อ

E = ค่าความสว่างที่จุดคำนวณ P (ลักซ์)

I = ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมฉาย บนจุดคำนวณ P (แคนเดลา)

θ_o = มุมตกกระทบ (องศา)

L' = ตำแหน่งที่ติดตั้งโคมฉาย

H = ความสูงเสา (เมตร)

N = จำนวนโคมฉาย (โคม)

2. การหาค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างบนจุดคำนวณใด ๆ

ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมฉาย ที่ตกบนจุดคำนวณจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่าง ลักษณะการติดตั้งโคมฉาย และตำแหน่งจุดที่จะคำนวณ ข้อมูลการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่าง ที่ผู้ผลิตโคมฉายจัดทำขึ้นซึ่งจะอยู่ในระบบมุม C-θ หรือ H-V ดังนั้นจะต้องคำนวณหาค่าของมุมเหล่านี้ก่อน โดยอาศัย จุดติดตั้งโคมฉาย ความสูงเสา จุดเล็งโคมฉาย และตำแหน่งจุดคำนวณนั้น ๆ

จากที่กล่าวแล้วว่า การติดตั้งโคมฉายจะอาศัย มุมเล็ง และมุมหันเป็นมุมเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้จุดเล็งที่ต้องการ ดังนั้น ค่าของมุม C-θ หรือ H-V จึงควรอยู่ในฟังก์ชั่นของมุมเล็ง และมุมหัน

ก. การกำหนดค่าต่าง ๆ

ในการคำนวณค่ามุม θ_o ,C-θ และ H-V จะกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

δ = มุมเล็ง (องศา)

τ = มุมหัน (องศา)

H = ความสูงเสา (เมตร)

P = จุดคำนวณ

A = จุดเล็งโคมฉาย

L = จุดติดตั้งโคมฉายที่ฉายลงบนพื้นที่คำนวณ

L' = จุดติดตั้งโคมฉายบนเสา

X_P, Y_P = โคออร์ดิเนตของจุดคำนวณ

X_A, Y_A = โคออร์ดิเนตของจุดเล็งโคมฉาย

X_L, Y_L = โคออร์ดิเนตของจุดติดตั้งโคมฉาย

$\Delta X = X_P - X_L$

$\Delta Y = Y_P - Y_L$

$\Delta X_A = X_A - X_L$

$\Delta Y_A = Y_A - Y_L$

ข. การคำนวณมุมตกกระทบ (θ_i)

จากรูป 3.2 พิจารณา Δ LL'P จะได้

$$\cos \theta_i = \frac{LL'}{L'P} \qquad \text{----- 3.6}$$

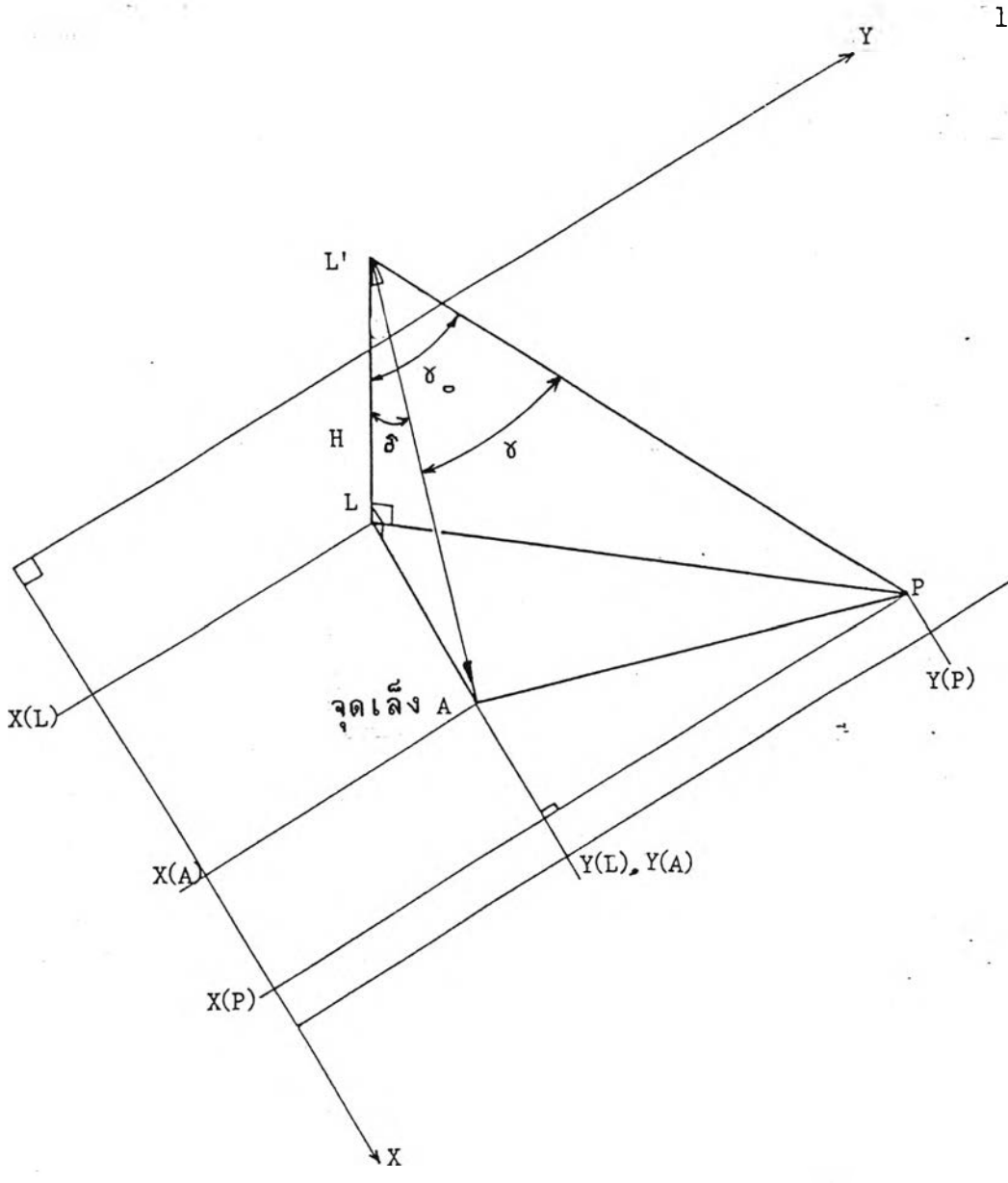
$$LL' = H \qquad \text{----- 3.7}$$

$$L'P^2 = H^2 + LP^2$$

$$= H^2 + \Delta X^2 + \Delta Y^2 \qquad \text{----- 3.8}$$

แทนค่า สมการ 3.7 และ 3.8 ใน สมการ 3.6 จะได้

$$\cos \theta_i = \frac{H}{\sqrt{H^2 + \Delta X^2 + \Delta Y^2}} \qquad \text{----- 3.9}$$



รูปที่ 3.2 แสดงการคำนวณหา มุม ช$_o$ และ มุม ช
เมื่อมุมหันเท่ากับศูนย์

ค. การคำนวณมุม C-ช

1. เมื่อให้มุมหันเท่ากับศูนย์

จากรูป 3.2 พิจารณา $\triangle$ L'AP และจาก Cos-Law จะได้

$$AP^2 = L'A^2+L'P^2 - 2.(L'A).(L'P).\text{Cos } ช$$

$$\text{Cos } \gamma = \frac{L'A^2 + L'P^2 - AP^2}{2\ L'A.L'P} \qquad \text{----- 3.10}$$

พิจารณา Δ LL´A จะได้

$$L'A = \frac{H}{\text{Cos } \beta} \qquad \text{----- 3.11}$$

จากการคำนวณมุมตกกระทบ

$$L'P^2 = H^2+\Delta X^2+\Delta Y^2 \qquad \text{----- 3.12}$$

พิจารณา Δ AOP จะได้

$$AP^2 = (Xp - X_A)^2 + (Yp - Y_A)^2$$

จาก $X_A = X_L + LA$

$$= X_L + H.\text{Tan } \beta$$

และ $Y_A = Y_L$

จะได้

$$AP^2 = ((X_P-X_L) - H.\text{Tan } \beta)^2 + (Y_P-Y_L)^2$$

$$= (\Delta X - H.\text{Tan } \beta)^2 + \Delta Y^2$$

----- 3.13

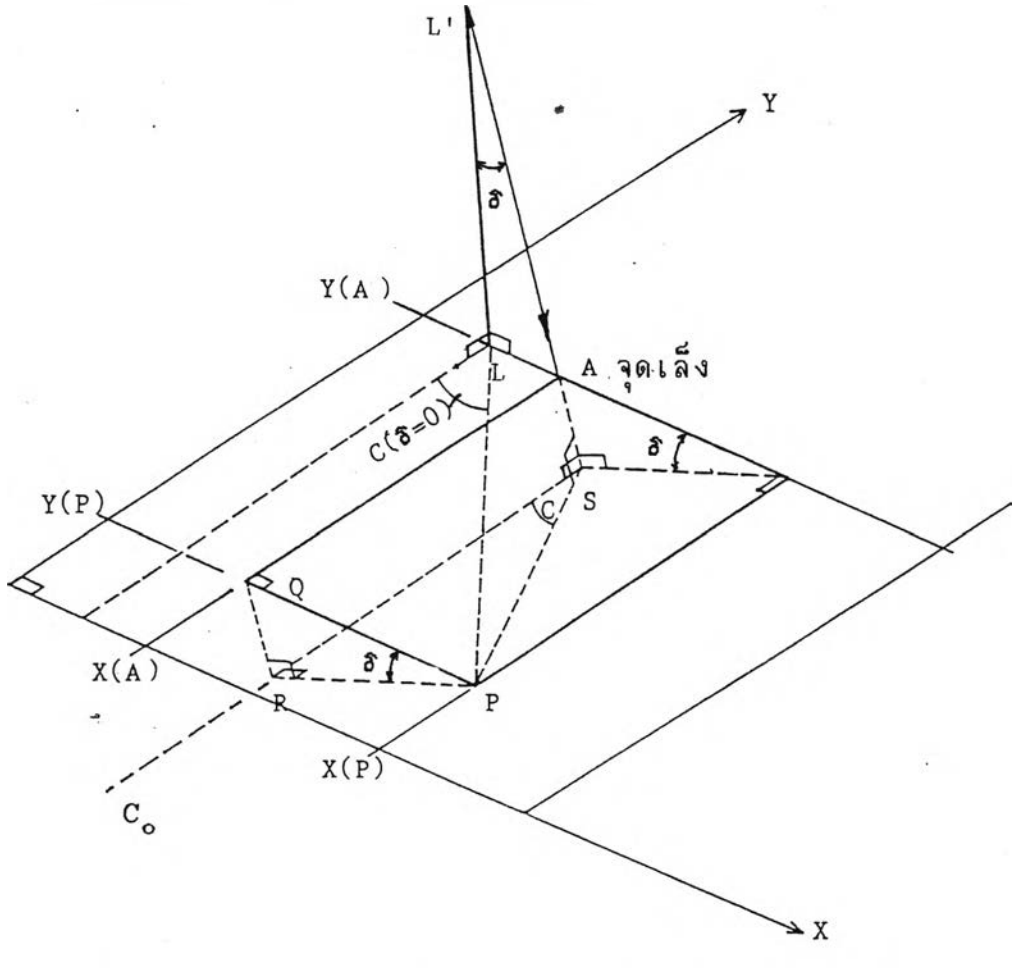
แทนค่าสมการ 3.11, 3.12 และ 3.13 ในสมการ 3.10 จะได้

$$\cos \alpha = \frac{\cos \delta \ (H + \Delta X . \tan \delta)}{\sqrt{H^2 + \Delta X^2 + \Delta Y^2}}$$

$$= \cos \alpha_o \ (\cos \delta + \frac{\sin \delta \ . \Delta X}{H})$$

----- 3.14

สำหรับการคำนวณมุม C นั้น เนื่องจากมีมุมเล็งเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ระนาบมุม C ที่จุดเล็ง และจุดคำนวณไม่ตั้งฉากกับพื้นที่ ดังแสดงจากรูป 3.3 เส้นประ SP เป็นขอบของระนาบมุม C ที่จุดคำนวณ และเส้นประ SR เป็นขอบของระนาบมุม C เท่ากับศูนย์



รูปที่ 3.3 แสดงการคำนวณค่ามุม C เมื่อมุมหันเท่ากับศูนย์

จากรูปที่ 3.3 พิจารณา Δ PRS จะได้

$$\text{Tan } C = \frac{PR}{RS} \qquad \text{----- 3.15}$$

พิจารณา Δ PRQ จะได้

$$PR = PQ \cdot \text{Cos } \theta$$

$$= (X_P - X_A) \cdot \text{Cos } \theta$$

จากการคำนวณ มุม θ ได้

$$X_P - X_A = \Delta X - H.\text{Tan } \theta$$

ดังนั้น

$$PR = (\Delta X - H.\text{Tan } \theta) \text{ Cos } \theta \qquad \text{----- 3.16}$$

จาก $RS = AQ = Y_P - Y_L$

จะได้

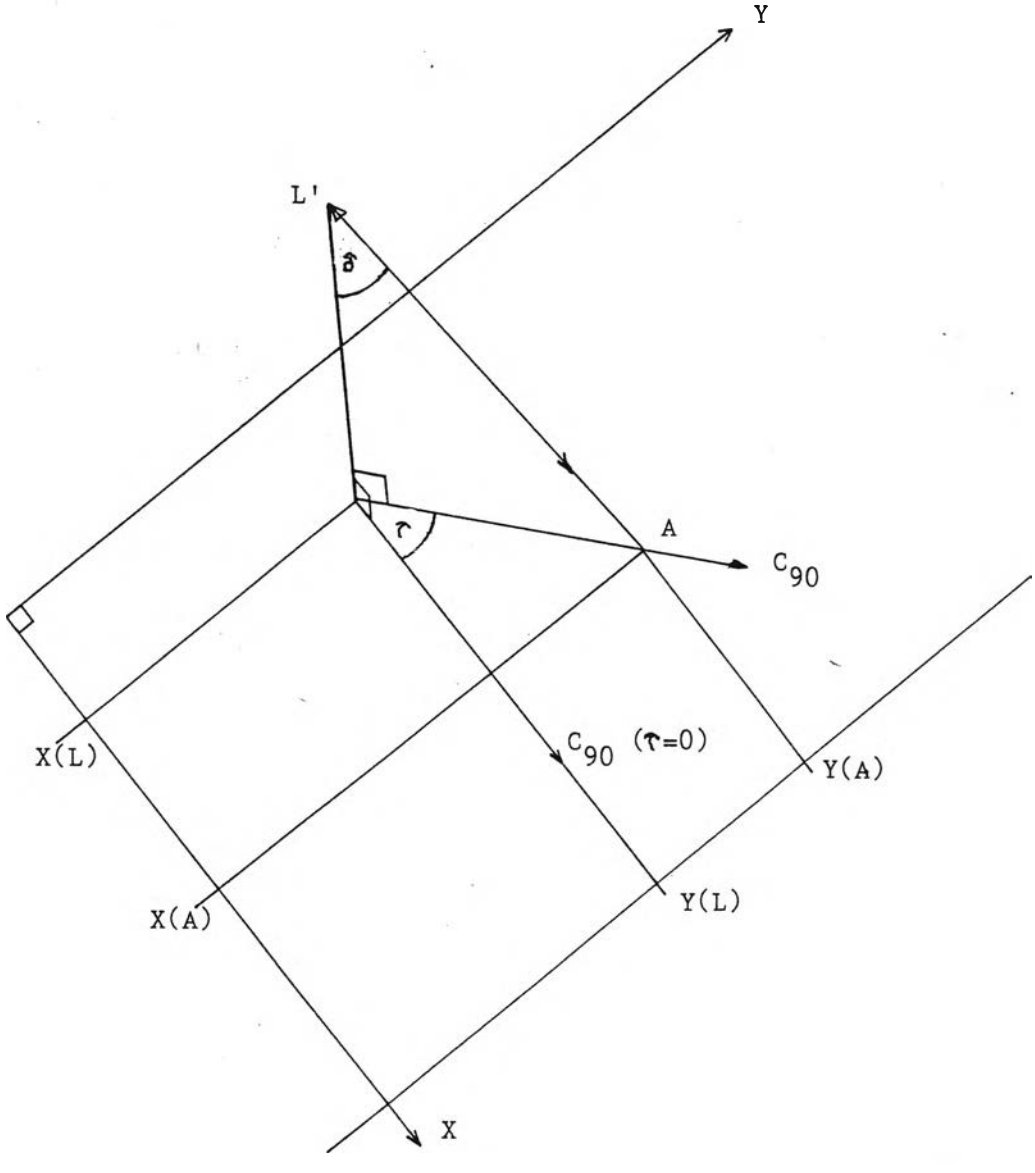
$$RS = \Delta Y \qquad \text{----- 3.17}$$

แทนค่าสมการ 3.16 และ 3.17 ใน สมการ 3.15 จะได้

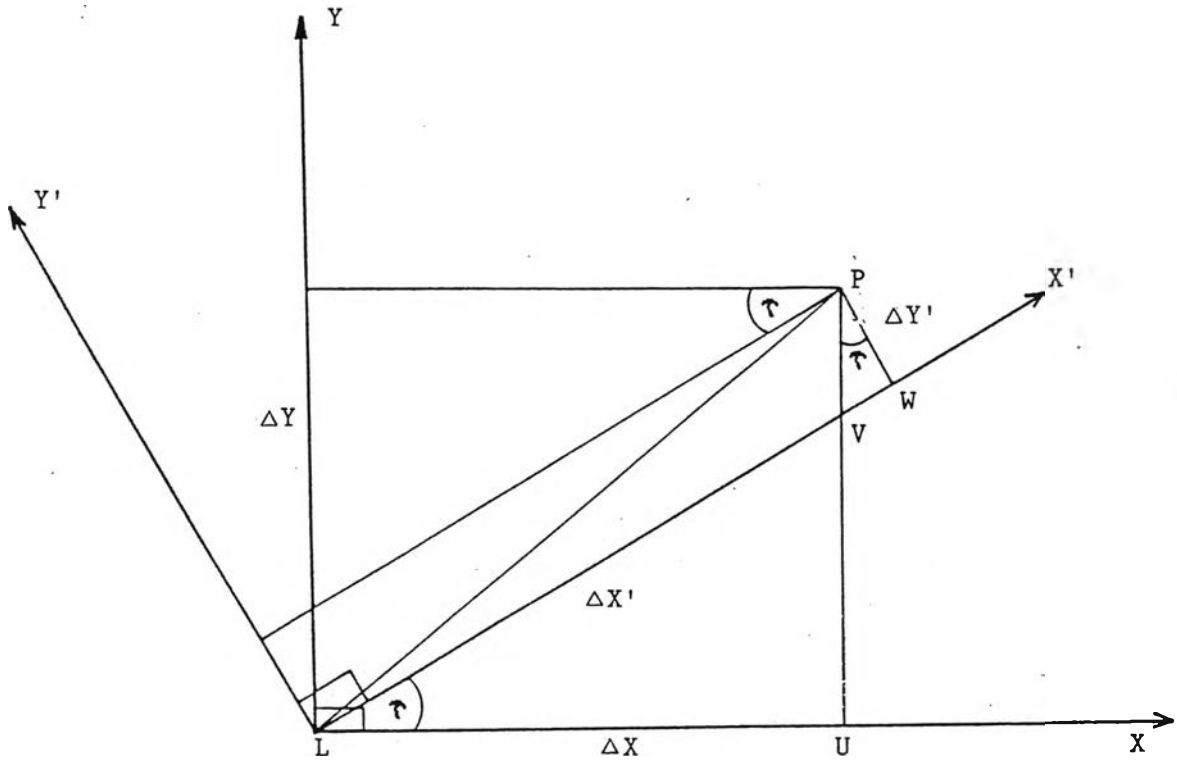
$$\text{Tan } C = \frac{(\Delta X - H.\text{Tan } \theta) \text{ Cos } \theta}{\Delta Y} \qquad \text{----- 3.18}$$

2. เมื่อให้มุมหันเท่ากับ τ

ในการคำนวณมุม C-ช เมื่อมีค่ามุมหันเข้ามาเกี่ยวข้อง ระนาบมุม C_{10} จะถูกหมุนไปเท่ากับมุมหัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 การคำนวณมุม C-ช เมื่อมีมุมหันจะอาศัยค่ามุม C-ช เมื่อมุมหันเท่ากับศูนย์เป็นพื้นฐาน ซึ่งเมื่อมีมุมหันค่า ΔX และ ΔY จะเปลี่ยนไปโดยสามารถหาค่าที่เปลี่ยนไปนี้ได้ เมื่อ พิจารณาจากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แสดง การคำนวณมุม C-ช เมื่อมุมหันเท่ากับ τ



รูปที่ 3.5 แสดงการคำนวณ $\Delta X'$ และ $\Delta Y'$

จากรูปที่ 3.5 พิจารณา Δ LUV และ Δ PVW จะได้

$$\Delta X' = LW = LV + VW$$

$$= LV + PV \sin \tau$$

$$= \frac{\Delta X}{\cos \tau} + (\Delta Y - \Delta X.\tan \tau) \sin \tau$$

$$= \frac{\Delta X(1 - \sin^2 \tau) + \Delta Y.\sin \tau.\cos \tau}{\cos \tau}$$

$$\Delta X' = \Delta X.\cos \tau + \Delta Y.\sin \tau \qquad \text{----- 3.19}$$

พิจารณา Δ PVW จะได้

$$\Delta Y' = PW = PV.\cos \tau$$

$$= (\Delta Y - \Delta X.\tan \tau).\cos \tau$$

$$\Delta Y' = \Delta Y.\cos \tau - \Delta X.\sin \tau \quad \text{----- 3.20}$$

จากการคำนวณมุม C-ช เมื่อมุมหันเท่ากับศูนย์จะได้ค่ามุม C-ช เมื่อมีมุมหัน เท่ากับ τ ดังนี้

$$\cos ช = \cos ช_{o} \left(\cos ฮ + \frac{\sin ฮ \ .\Delta X'}{H}\right) \quad \text{----- 3.21}$$

$$\tan C = \frac{(\Delta X' - H.\tan ฮ).\cos ฮ}{\Delta Y'} \quad \text{----- 3.22}$$

แทนค่าสมการ 3.19 และ 3.20 ในสมการ 3.21 และ สมการ 3.22 จะได้

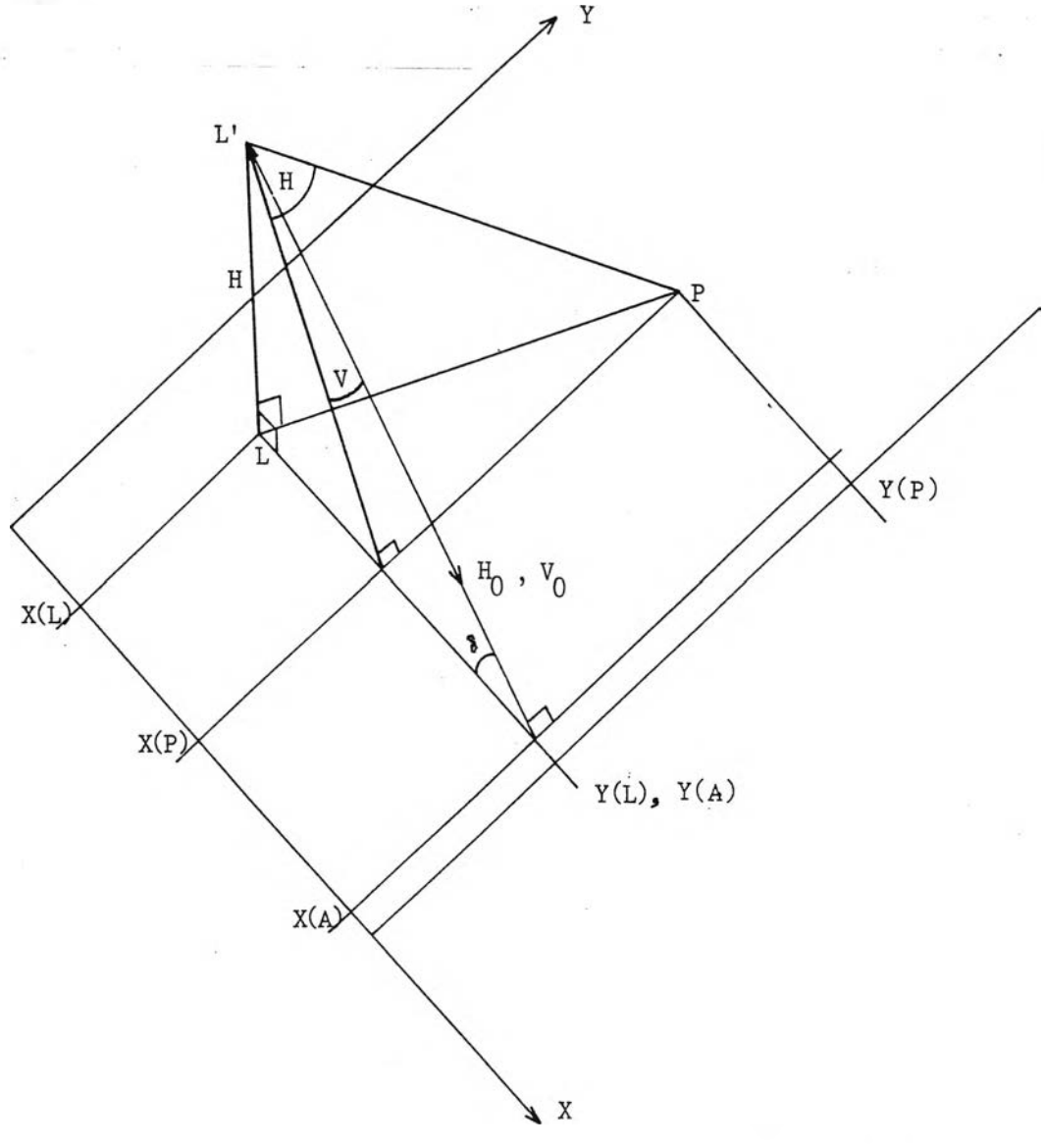
$$\cos ช = \cos ช_{o}.\left(\cos ฮ + \frac{\sin ฮ(\Delta X.\cos \tau + \Delta Y.\sin \tau)}{H}\right) \quad \text{----- 3.23}$$

$$\tan C = \frac{((\Delta X.\cos \tau + \Delta Y.\sin \tau) - H.\tan ฮ).\cos ฮ}{\Delta Y.\cos \tau - \Delta X.\sin \tau} \quad \text{----- 3.24}$$

ง. การคำนวณมุม H-V

1. เมื่อให้มุมหันเท่ากับศูนย์

การคำนวณมุม H-V ตามมาตรฐาน CIE นั้น มุมเล็งที่กำหนดจะต่างจากการคำนวณมุม C-ช โดยจะถือเส้นที่ตั้งฉากกับเสาเป็นมุมเล็งที่ศูนย์องศา แต่ในการคำนวณมุม C-ช จะถือ เส้นตรงที่ขนานกับเสาเป็นมุมเล็งที่ศูนย์องศา การคำนวณมุม H-V พิจารณาได้จาก รูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 แสดงการคำนวณมุม H เมื่อมุมหันเท่ากับศูนย์

จากรูป 3.6 พิจารณา Δ L'LA จะได้

$$\text{Sin } \delta = \frac{L'L}{L'A}$$

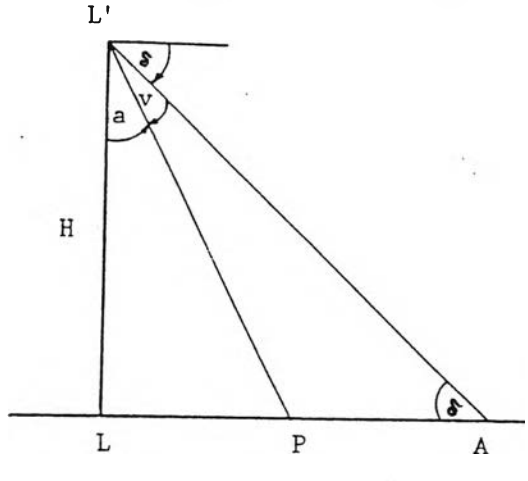
$$= \frac{H}{\sqrt{H^2 + \Delta X_A^{\,2}}} \qquad \text{(เมื่อมุมหันเท่ากับศูนย์)}$$

$$= \frac{H}{\sqrt{H^2 + \Delta X_A^{\,2} + \Delta Y_A^{\,2}}} \qquad \text{(เมื่อมีมุมหัน)}$$

พิจารณา Δ L'P'P จะได้

$$\text{Sin } H = \frac{PP'}{L'P}$$

$$= \frac{\Delta Y}{\sqrt{H^2 + \Delta X^2 + \Delta Y^2}} \qquad \text{----- 3.25}$$



รูปที่ 3.7 แสดงการคำนวณ มุม V เมื่อมุมหันเท่ากับศูนย์

พิจารณารูป 3.7 จะได้

$$a+(-V)+(-\delta) = 90$$

$$a = V + (90 + \delta) \quad \text{----- 3.26}$$

พิจารณา Δ L'LP' จะได้

$$\text{Tan } a = \frac{LP'}{L'L}$$

$$= \frac{\Delta X}{H} \quad \text{----- 3.27}$$

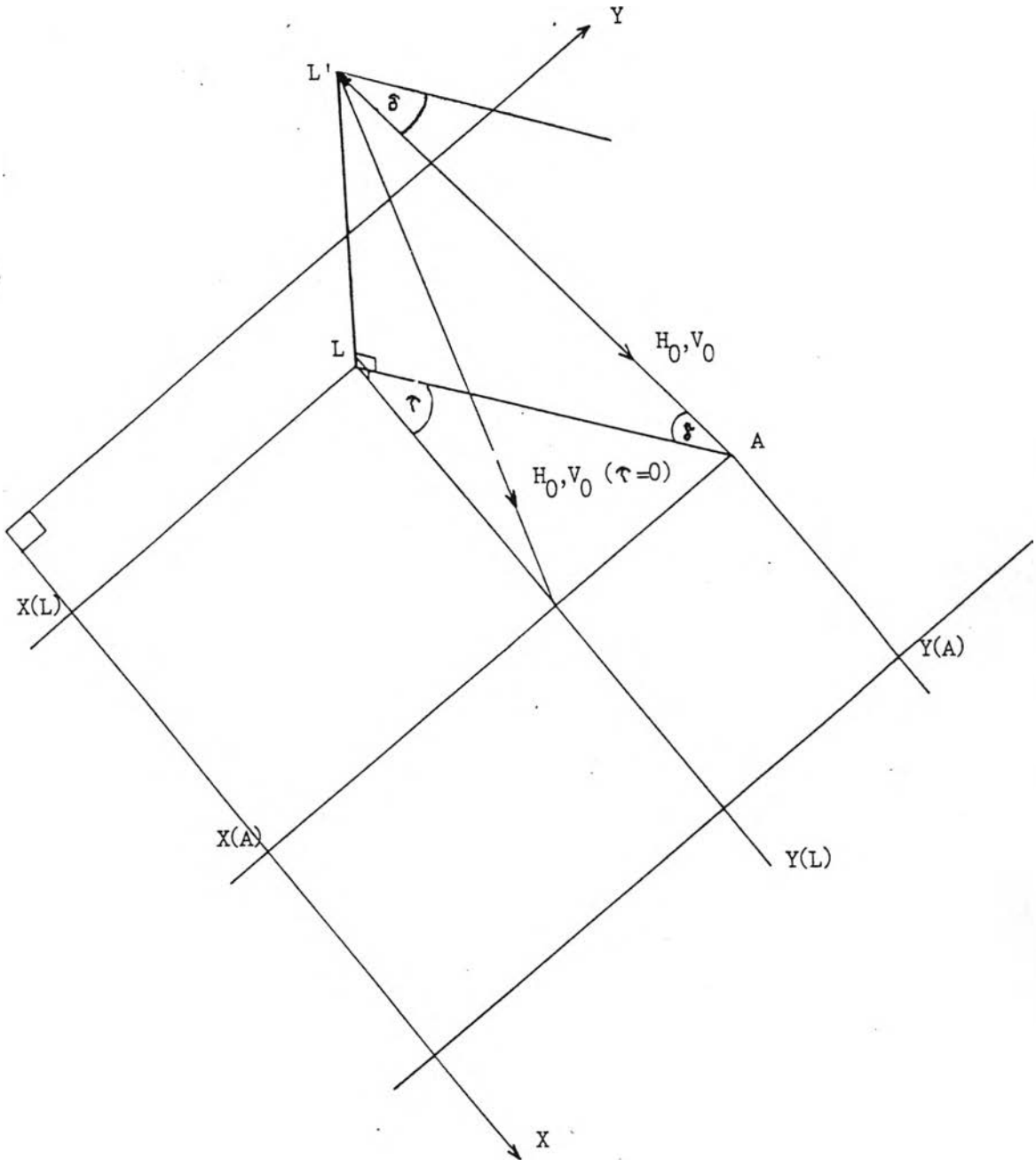
แทนค่า a ในสมการ 3.27 จะได้

$$\text{Tan}(V+(90+\delta)) = \frac{\Delta X}{H}$$

$$V = \text{Arctan}\frac{\Delta X}{H} - (90 + \delta) \quad \text{----- 3.28}$$

2. เมื่อให้มุมหันเท่ากับ τ

เมื่อมุมหันเข้ามาเกี่ยวข้องระนาบมุม H-V เท่ากับศูนย์จะถูกเปลี่ยนไปเท่ากับมุมหัน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งการคำนวณมุม H-V เมื่อมีมุมหันจะเหมือนกับการคำนวณมุม C-δ คือค่า ΔX และ ΔY จะเปลี่ยนไปซึ่งค่า $\Delta X'$ และ $\Delta Y'$ ที่ได้ใหม่จะเหมือนกับที่ได้ในการ คำนวณมุม C-δ ดังนั้นจะได้



รูปที่ 3.8 แสดง การคำนวณมุม H-V เมื่อมีมุมหันเท่ากับ τ

$$H = \text{Arcsin} \frac{\Delta Y'}{\sqrt{H^2 + \Delta X'^2 + \Delta Y'^2}} \qquad \text{----- 3.29}$$

$$V = \text{Arctan} \frac{\Delta X'}{H} - (90 + \delta) \qquad \text{----- 3.30}$$

แทนค่าสมการ 3.19 และ 3.20 ในสมการ 3.29 และ 3.30 และ จากรูป 3.4 จะได้ $\Delta X^2 + \Delta Y^2 = \Delta X'^2 + \Delta Y'^2$ ดังนั้นจะได้ มุม H-V เมื่อมุมหันเท่ากับ τ ดังนี้

$$H = \text{Arcsin} \frac{\Delta Y.\text{Cos}\ \tau - \Delta X.\text{Sin}\ \tau}{\sqrt{H^2 + \Delta X^2 + \Delta Y^2}}$$

----- 3.31

$$V = \text{Arctan} \frac{\Delta X.\text{Cos}\ \tau + \Delta Y.\text{Sin}\ \tau}{H} - (90 + \delta)$$

----- 3.32

3. การคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของความสว่าง

การคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของความสว่างโดยวิธีจุดต่อจุดนั้น จะแบ่งพื้นที่คำนวณออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็ก ๆ ขนาดแล้วแต่ความเหมาะสม (CIE แนะนำให้ด้านของสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็น 0.2 เท่าของความสูงเสา) โดยจุดต่าง ๆ บนสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่จะคำนวณหาค่าความสว่างนั้นมี 2 ประเภท คือ คำนวณความสว่างที่จุดกึ่งกลางสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือคำนวณความสว่างที่มุมทั้งสี่ของสี่เหลี่ยมจัตุรัส การคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ยทั้ง 2 ประเภทจะแตกต่างกันไป ส่วนการคำนวณค่าความสม่ำเสมอของความสว่างจะเหมือนกัน

ก. เมื่อคำนวณค่าความสว่างที่มุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จุดต่าง ๆ ที่ต้องคำนวณความสว่างแสดงได้ดัง รูปที่ 3.9 และ ค่าความสว่างเฉลี่ย จะคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Eav = \frac{(\ 1/4\ Ec + 1/2\ Eb + Ei\ )}{(\ 1/4\ Nc + 1/2\ Nb + Ni\ )} \quad \text{(ลักซ์)}$$

$$U_o = Emin / Eav$$

$$U_i = Emin / Emax$$

โดย

Eav = ค่าความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)
Ec = ผลรวมค่าความสว่างของจุดที่มุมพื้นที่ (ลักซ์)
Eb = ผลรวมค่าความสว่างของจุดที่ขอบพื้นที่ (ลักซ์)
Ei = ผลรวมค่าความสว่างของจุดภายในพื้นที่ (ลักซ์)
Nc = จำนวนจุดคำนวณที่มุมของพื้นที่คำนวณ (จุด)
Nb = จำนวนจุดคำนวณที่ขอบของพื้นที่คำนวณ (จุด)
Ni = จำนวนจุดคำนวณที่ภายในพื้นที่คำนวณ (จุด)

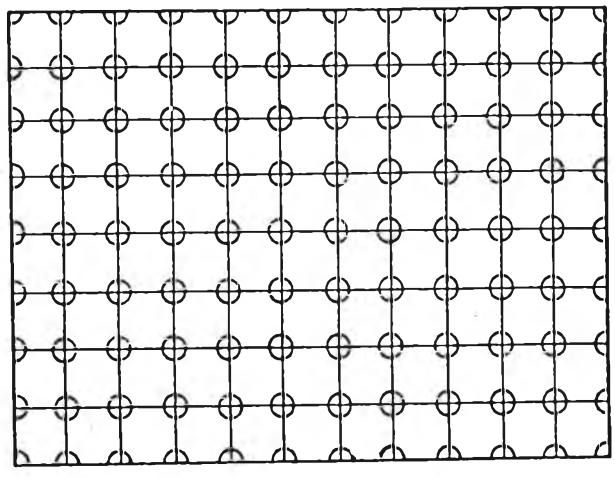
ข. เมื่อคำนวณความสว่างที่จุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จุดต่าง ๆ ที่ต้องการคำนวณสว่างแสดงได้ดัง รูปที่ 3.10 และค่าความสว่างเฉลี่ยจะคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$Eav = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} Ei \quad \text{(ลักซ์)}$$

โดย

Eav = ค่าความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)
Ei = ค่าความสว่างที่จุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสใด ๆ
N = จำนวนจุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่คำนวณ

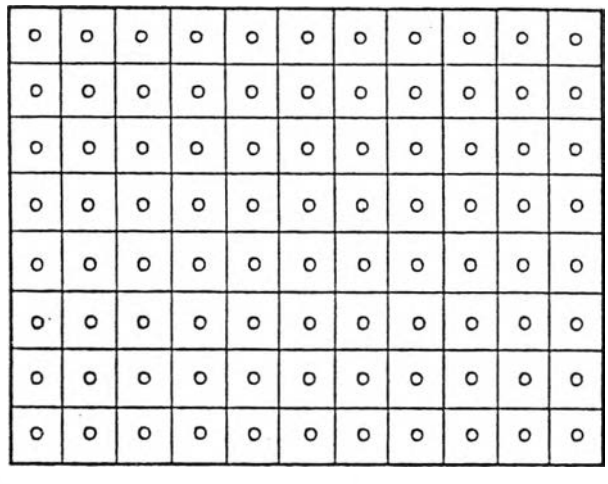


○ จุดคำนวณที่ภายในพื้นที่คำนวณ

◑ จุดคำนวณที่ขอบของพื้นที่คำนวณ

◪ จุดคำนวณที่มุมของพื้นที่คำนวณ

รูปที่ 3.9 แสดงจุดคำนวณที่ มุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส



รูปที่ 3.10 แสดงจุดคำนวณที่จุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัส