บทที่ 3

วิธีการคำนวณเกี่ยวกับค่าแสงสว่างไฟถนน

3.1 การคำนวณ ค่าความสว่าง(Illuminance) และ ค่าความส่องสว่าง(Luminance)

วิธีการคำนวณที่ใช้ในที่นี้จะเป็นการคำนวณแบบจุดต่อจุด(Point by Point Method) เพราะสามารถคำนวณหาคุณสมบัติทางแสงบนผิวถนน เช่น ค่าความสม่ำเสมอ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของความสว่างและความส่องสว่างได้

ค่าความสว่างและความส่องสว่าง ในแนวระดับที่จุด P บนผิวถนน หาได้จาก (พิจารณารูปที่ 3.1)

$$E_{p(HOR)} = \frac{I(\gamma,C).Cos(\gamma)}{D^2}$$

โดยที่ D เป็นค่าระยะห่างจากโคมไฟมายังจุด P, $D = H/Cos(\gamma)$ ดังนั้น

$$E_{p(HOR)} = \frac{I(\gamma,C).Cos^3(\gamma)}{H^2} \qquad (3.1)$$

ค่าความส่องสว่างที่จุด P บนพื้นผิวถนน มีค่า

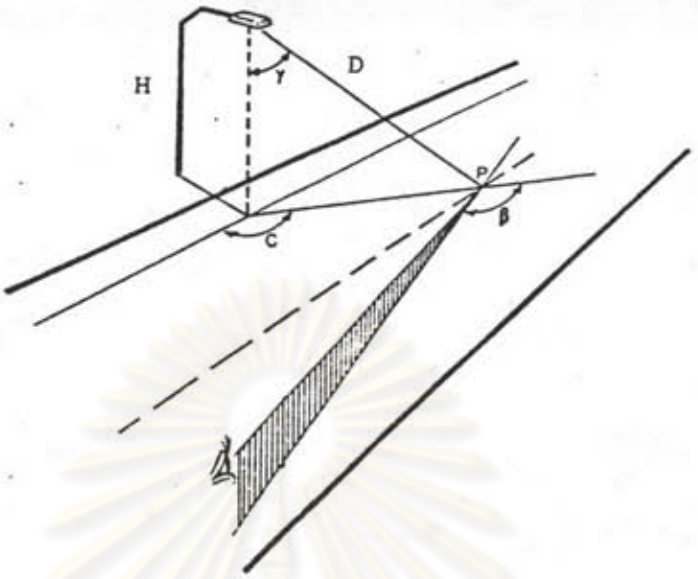
$$L_p = q(\gamma,\beta).E_{p(HOR)}$$

$$L_p = q(\gamma,\beta).\frac{I(\gamma,C).Cos^3(\gamma)}{H^2} \qquad (3.2)$$

เนื่องจาก $R(\gamma,\beta) = q(\gamma,\beta).Cos^3(\gamma)$ ดังนั้น

$$L_p = R(\gamma,\beta).\frac{I(\gamma,C)}{H^2} \qquad (3.3)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของโคม ผู้สังเกต และจุดที่พิจารณา(จุด P) บนผิวถนน

โดยที่ $I(\gamma,C)$ = Luminous Intensity ของดวงโคมที่มุม γ บนระนาบ C

$q(\gamma,\beta)$ = Luminance Coefficient บนผิวถนน

$R(\gamma,\beta)$ = Reduced Luminance Coefficient

H = ความสูงของดวงโคม

β = มุมของระนาบแสงตกกับระนาบที่มอง

γ = มุมของแนวแสงตกกับแนวดิ่ง

C = มุมของระนาบ C ณ.จุดที่พิจารณา

ในกรณีที่มีจำนวนดวงโคมเท่ากับ n ดวงโคม จะได้ว่า

$$E_{P(HOR)} = \sum^{n} \frac{I(\gamma,C).\cos^{3}(\gamma)}{H^{2}} \quad \text{lux} \qquad (3.4)$$

$$L_{p} = \sum^{n} R(\gamma,\beta).\frac{I(\gamma,C)}{H^{2}} \quad \text{Cd/m}^{2} \qquad (3.5)$$

แต่โดยปกติทั่วๆไป การติดตั้งดวงโคมจะมีค่า มุมเงย (Tilt Angle) เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังนั้นความสว่าง และความส่องสว่างจะมีค่า

$$E_{p(HOR)} = \frac{I(\gamma_1, C).\cos^3(\gamma_2)}{H^2} \quad \text{lux} \qquad (3.6)$$

$$L_p = R(\gamma_2, \beta).\frac{I(\gamma_1, C)}{H^2} \quad \text{Cd/m}^2 \qquad (3.7)$$

จากรูปที่ 3.2 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

พิจารณา สามเหลี่ยม A'PE'

$$A'P = \sqrt{(A'x-Px)^2+(A'y-Py)^2}$$

$$PE' = \sqrt{(Px-E'x)^2+(Py-E'y)^2}$$

$$E'A' = \sqrt{(E'x-A'x)^2+(E'y-A'y)^2}$$

โดย Cosine Law

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{A'P^2+PE'^2-E'A'^2}{2.A'P.PE'}\right) \qquad (3.8)$$

$$\beta = 180^\circ - \alpha \qquad (3.9)$$

พิจารณา สามเหลี่ยม A'PL

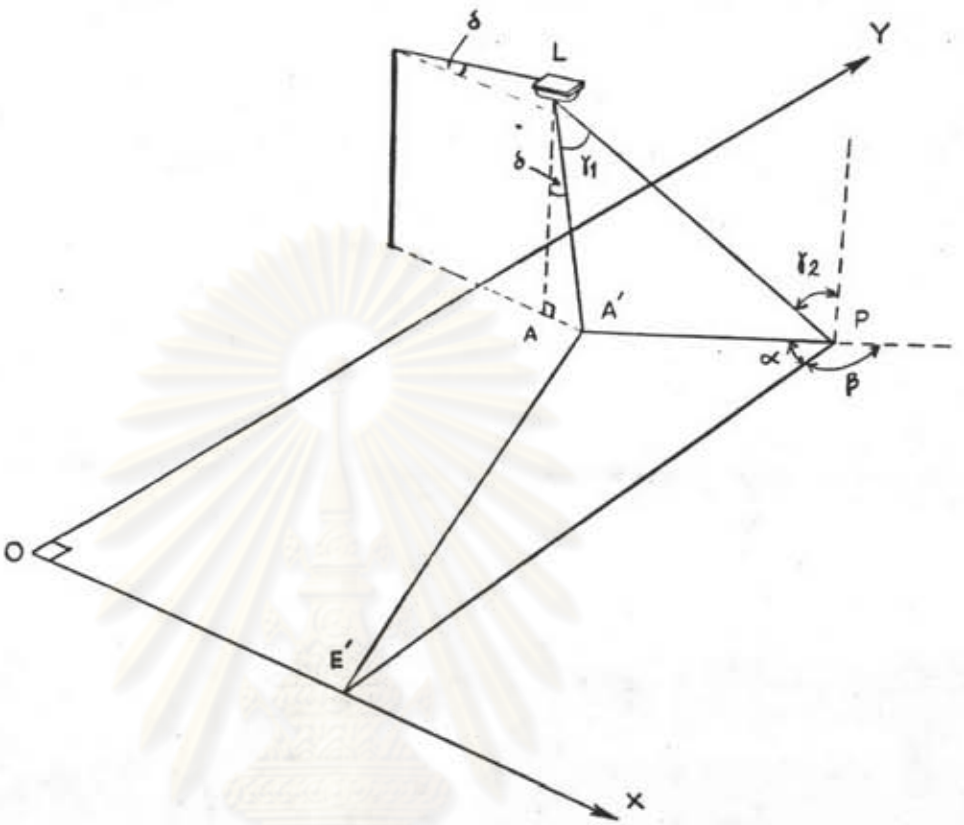
$$PL = \sqrt{(Px-Lx)^2+(Py-Ly)^2+H^2}$$

$$LA' = H/\cos(\delta)$$

โดย Cosine Law

$$\gamma_1 = \cos^{-1}\left(\frac{LA'^2+PL^2-A'P^2}{2.LA'.PL}\right) \qquad (3.10)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 แสดงการคำนวณหาค่ามุม γ_1 มุม γ_2 และมุม β

รูปที่ 3.2 กำหนดให้

Lx : ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน X

Ly : ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y

A'x : ตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟตามแกน X

A'y : ตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟตามแกน Y (= Ly)

E'x : ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน X บนระนาบ XY
(= 1/4 ของความกว้างของถนน)

E'y : ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน Y บนระนาบ XY (= 0)

Px : ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน X

Py : ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน Y

$$\gamma_2 = \text{Tan}^{-1}(AP/H) \qquad (3.11)$$

โดยที่ $AP = \sqrt{(Lx-Px)^2+(Ly-Py)^2}$

การคำนวณหาค่ามุม C ทำได้โดยการพิจารณาจากรูปที่ 3.3 เนื่องจากมีมุมเงย (Tilt Angle) มาเกี่ยวข้องทำให้ผิวถนนไม่ตั้งฉากกับ C-Plane ดังนั้นจึงต้องหาระนาบที่ตั้งฉากกับ C-Plane ที่ผ่านจุด P จากรูปคือระนาบ PRS ที่มีด้าน RS อยู่ใต้ผิวถนนยาวเท่ากับ A'Q ซึ่งอยู่บนผิวถนน

พิจารณาสามเหลี่ยม PRS ซึ่งเป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก

$$PR = (Px-A'x).\text{Cos}(\delta)$$

$$RS = A'Q = Py-A'y$$

$$C = \text{Tan}^{-1}(PR/RS) \qquad (3.12)$$

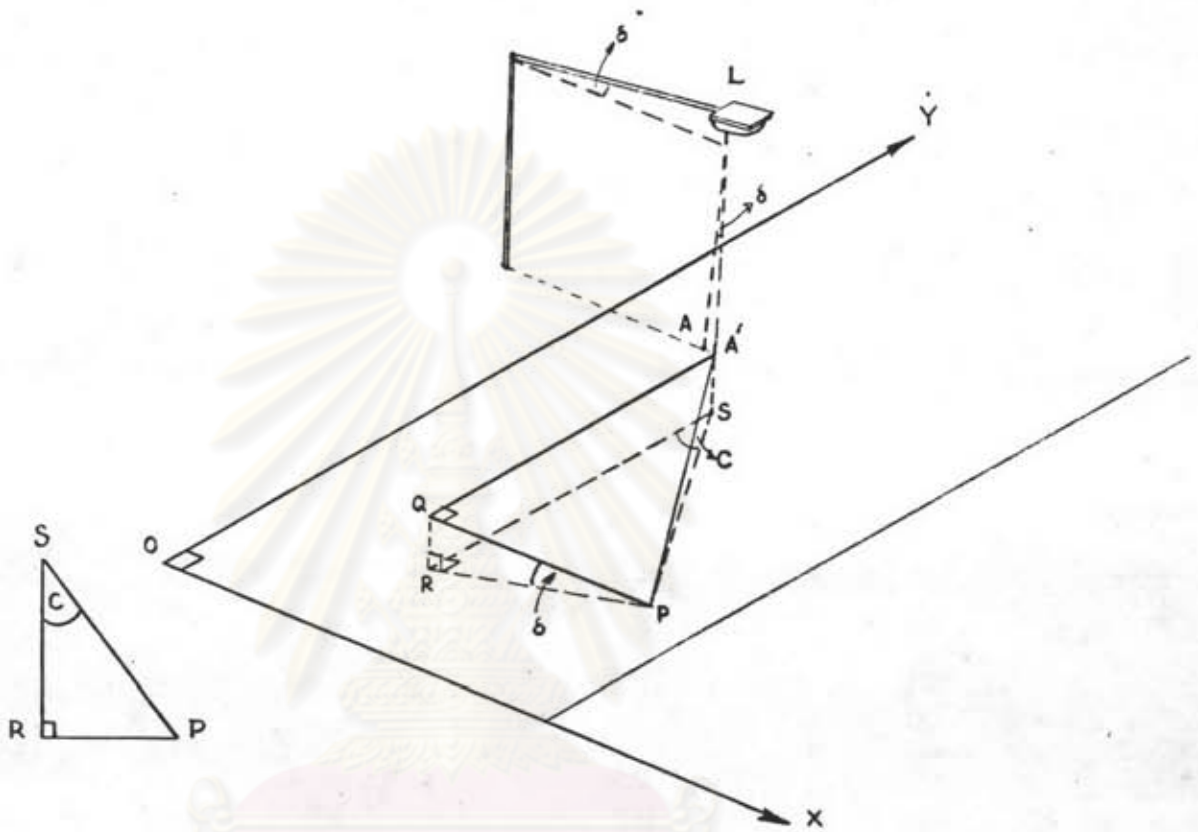
จากค่ามุม C และมุม γ_1 นำไปคำนวณหาค่า Luminous Intensity จากตาราง I ของดวงโคม และค่ามุม β และมุม γ_2 นำไปหาค่า Reflection Coefficient จาก ตาราง R ของผิวถนนที่กำหนดให้เพื่อนำมาคำนวณหาค่า ความสว่าง (Illuminance) และ ความส่องสว่าง (Luminance) ที่จุด P ต่อไป

3.2 การคำนวณ Disability Glare

ในการหาค่า Disability Glare โดยทั่วไปจะพิจารณาในเทอมของค่า Veiling Luminance (L_v) หรือ ค่า Threshold Increment (TI) ซึ่งมีหน่วยเป็น เปอร์เซนต์(%) ดังนั้นการคำนวณต่อไปนี้จะเป็นการคำนวณเพื่อหาค่า L_v และ TI (%)

โดยคิดว่าผู้ขับขี่ยวดยานมองผิวถนนโดยทำมุมลงกับแนวระดับ 1 องศา และโคมไฟที่อยู่ภายในมุมยกขึ้น 20 องศากับแนวมองจะต้องนำมาคิดค่า L_v ทั้งหมด ซึ่งก็คือโคมไฟที่อยู่ภายในมุม 19 องศากับแนวระดับนั่นเอง ดูรูปที่ 3.4 ขั้นตอนในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาตำแหน่งของโคมที่จะพิจารณาโคมแรก โดยจะเริ่มพิจารณาโคมที่อยู่ข้าง



รูปที่ 3.3 แสดงการคำนวณหาค่ามุม C

รูปที่ 3.3 กำหนดให้

Lx : ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน X

Ly : ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y

A'x : ตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟตามแกน X

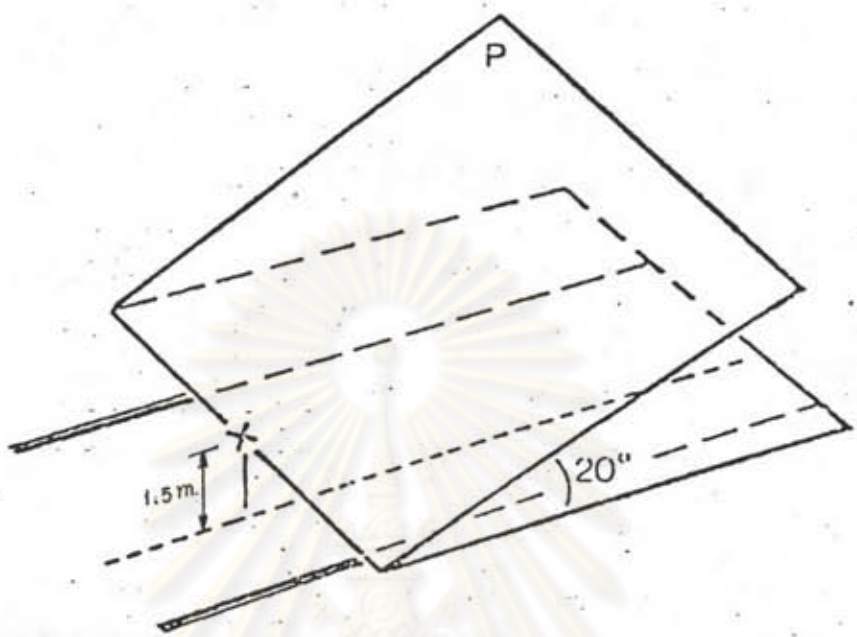
A'y : ตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟตามแกน Y (= Ly)

Px : ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน X

Py : ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน Y

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้าของผู้สังเกต และอยู่ใกล้กับผู้สังเกตที่สุดสำหรับแต่ละแถว



รูปที่ 3.4 แสดงช่วงของมุมในการมองขณะที่ผู้ขับขี่ขับยวดยานไปตามถนน

จากรูปที่ 3.5 คำนวณหามุม θ ถ้ามุม θ น้อยกว่า 19 องศา จะนำโคมนั้นมาพิจารณาหา Veiling Luminance ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 19 องศา ให้พิจารณาโคมถัดไปในแถวเดียวกัน และคำนวณหามุม θ เพื่อตรวจสอบอีกจนกว่ามุม θ จะน้อยกว่า 19 องศา จึงให้โคมดวงนั้นเป็นโคมดวงแรกในแถวของโคมที่กำลังพิจารณาซึ่งจะเริ่มคำนวณหาค่า Veiling Luminance จนกระทั่งค่า L_v ของโคมใดๆ(ที่พิจารณา)มีค่าน้อยกว่า 2 % ของค่า L_v รวมของแถวนั้น

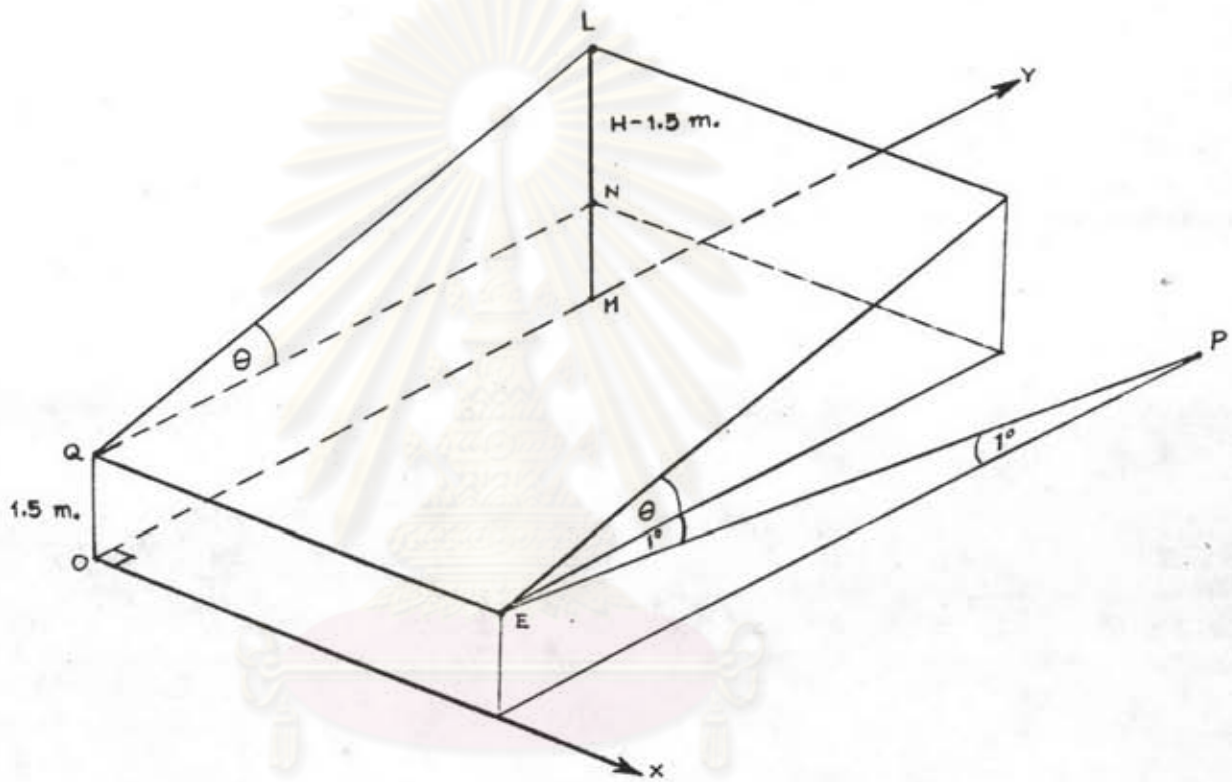
จากรูปที่ 3.5 มุม θ = $Tan^{-1}((H-1.5)/Ly)$ โดยที่ Ly เป็นตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y

2. การคำนวณหามุม γ และมุม C

จากรูปที่ 3.6 กำหนดให้

Lx : ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน X

Ly : ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y



รูปที่ 3.5 แสดงการคำนวณหามุม θ

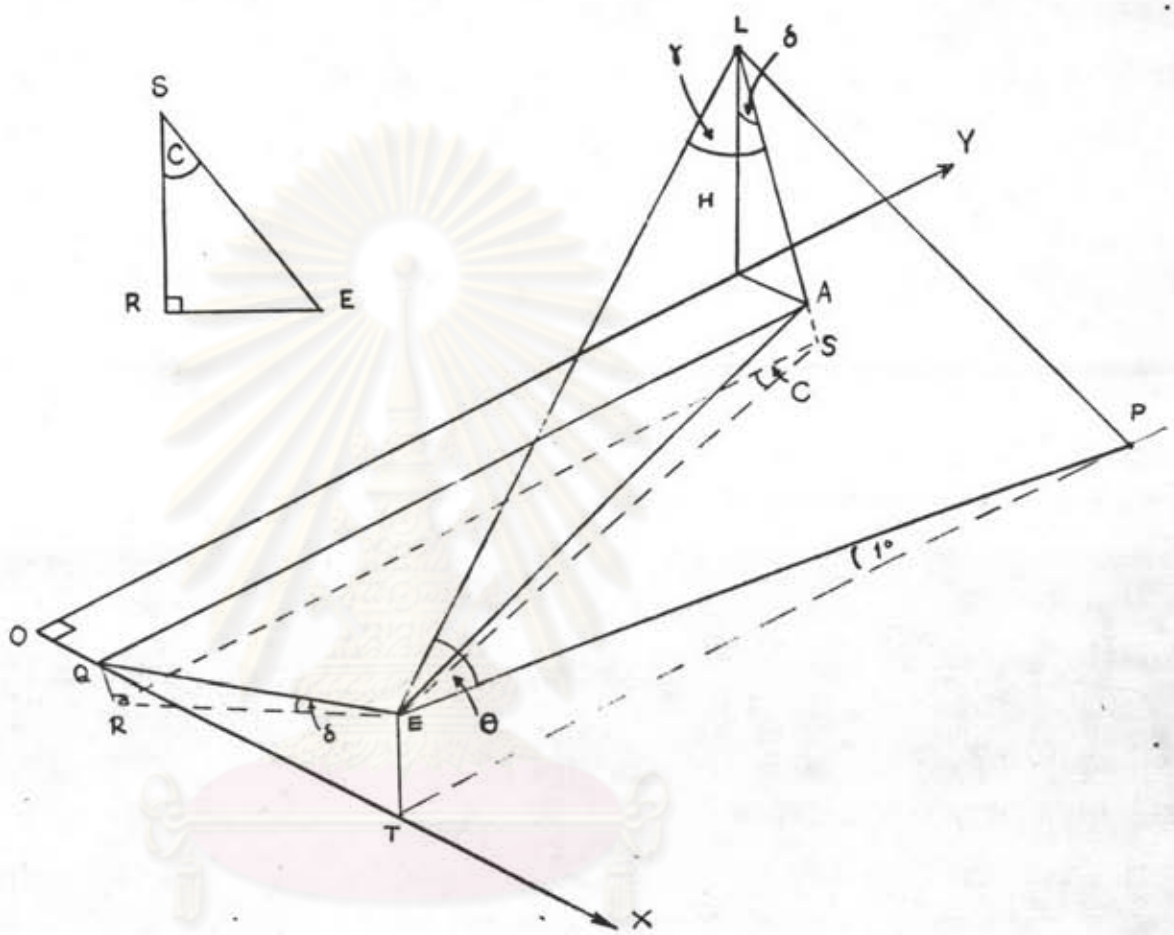
จุด E เป็นตำแหน่งตาของผู้สังเกตอยู่สูงจากผิวถนน 1.5 เมตร

จุด P เป็นจุดสังเกตบนผิวถนน

จุด L เป็นตำแหน่งของดวงโคม

ค่า H เป็นความสูงของดวงโคม จากผิวถนน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แสดงการคำนวณหาค่ามุมต่างๆเพื่อนำมาคำนวณหาค่า Veiling Luminance

จุด E เป็นตำแหน่งตาของผู้สังเกตอยู่สูงจากผิวถนน 1.5 เมตร

จุด P เป็นจุดสังเกตบนผิวถนน

จุด L เป็นตำแหน่งของดวงโคม

จุด A เป็นจุดเล็งของดวงโคมบนผิวถนน

มุม δ เป็นค่ามุมเงย (Tilt Angle) ของโคมไฟ

ค่า H เป็นความสูงของดวงโคม จากผิวถนน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ax : ตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟตามแกน X

Ay : ตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟตามแกน Y (= Ly)

Ex : ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน X (= 1/4 ของความกว้างของถนน)

Ey : ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน Y (= 0)

Px : ตำแหน่งจุดมองของผู้สังเกตบนพื้นถนนตามแกน X (= Ex)

Py : ตำแหน่งจุดมองของผู้สังเกตบนพื้นถนนตามแกน Y (= 1.5/Tan(1°))

ก. การหามุม γ

พิจารณาสามเหลี่ยม LAE

$$LA = \sqrt{H^2+(Ax-Lx)^2}$$

$$AE = \sqrt{(1.5)^2+(Ex-Ax)^2+(Ey-Ay)^2}$$

$$EL = \sqrt{(H-1.5)^2+(Lx-Ex)^2+(Ly-Ey)^2}$$

จาก Cosine Law

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{LA^2+EL^2-AE^2}{2.LA.EL}\right) \qquad (3.13)$$

ข. การหามุม C

พิจารณาสามเหลี่ยม SRE ซึ่งเป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก

$$SR = AQ = Ay$$

$$RE = QE.\cos(\delta) = \sqrt{(Ex-Ax)^2 + (1.5)^2}\ .\cos(\delta)$$

$$C = \tan^{-1}(RE/SR) \qquad (3.14)$$

จากค่ามุม γ ,C สามารถนำไปคำนวณค่า I จากตารางซึ่งจะเป็น ค่า I จากโคมไฟที่พิจารณาในทิศทางจากโคมไฟที่พิจารณามายังผู้สังเกต

3. การคำนวณหาค่า Veiling Luminance

สามารถคำนวณหาค่า Illuminance จากโคมที่มาตกบนตาผู้สังเกตได้จาก

$$E = \frac{I(\gamma, C)}{D^2} \qquad (3.15)$$

โดยที่ D เป็นระยะจากโคมมายังตาของผู้สังเกต (ระยะ LE ตามรูปที่ 3.6)

$$D = \sqrt{(H-1.5)^2+(Lx-Ex)^2+(Ly-Ey)^2}$$

จากนั้นสามารถหาค่า Illuminance ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการมองของผู้สังเกตได้จาก

$$E_v = E.\cos(\theta) = \frac{I(\gamma, C).\cos(\theta)}{D^2}$$

โดยที่มุม θ หาได้จาก (รูปที่ 3.6)

พิจารณาสามเหลี่ยม LPE

$$LP = \sqrt{H^2+(Lx-Px)^2+(Ly-Py)^2}$$

$$PE = 1.5/\sin(1^\circ)$$

$$LE = \sqrt{(H-1.5)^2+(Lx-Ex)^2+(Ly-Ey)^2}$$

จาก Cosine Law

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{LE^2+PE^2-LP^2}{2.LE.PE}\right) \qquad (3.16)$$

ดังนั้นสามารถหาค่า Veiling Luminance (L_v) ได้จาก

$$L_v = 0.003 \sum_{i=1}^{n} \frac{E_{vi}}{\theta^2} \qquad (\theta \text{ in radians}) \qquad (3.17)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$L_v = 10 \sum_{i=1}^{n} \frac{E_{vi}}{\theta^2} \qquad (\theta \text{ in degrees}) \qquad (3.18)$$

โดยที่ n เป็นจำนวนโคมทั้งหมดที่ทำให้เกิด Veiling Luminance (เป็นโคมที่ถูกพิจารณาภายใต้เงื่อนไขตามที่ได้กล่าวมาแล้ว)

ดังนั้น สามารถหา Threshold Increment (TI %) ได้จาก

$$TI = \frac{65. \ L_v}{(L_{av})^{0.8}} \ \% \qquad (3.19)$$

โดยที่ค่า L_{av} เป็นค่า Average Luminance ในบริเวณที่พิจารณา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย