หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ ๒

ทฤษฎีและการคำนวณเกี่ยวกับค่าแสงสว่างไฟถนน

ในการคิดค่าความส่องสว่างของพื้นผิว นอกจากจะต้องรู้ลักษณะคุณสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวถนนนั้นแล้ว เรายังต้องทราบรายละเอียดประกอบอื่นๆ คือ

๑. แบบของโคมไฟที่ใช้ ซึ่งจะต้องทราบลักษณะการกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคม (luminous intensity distribution curve)

๒. ค่าความสว่างบนพื้นถนน (horizontal illumination distribution) เนื่องจากโคมไฟ ซึ่งได้มาจากการคำนวณข้อมูลทางแสงในข้อ ๑

๓. คุณสมบัติในการสะท้อนแสงของผิวถนน

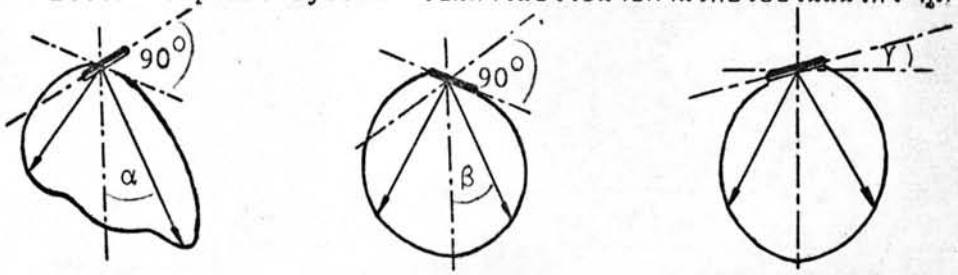
๒.๑ ระนาบทางแสงของโคมไฟถนน

การแสดงค่าการกระจายของความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟถนนนั้น มี ๓ แบบด้วยกัน คือ

๒.๑.๑ A-plane system แบ่งระนาบโดยตั้งฉากกับแกนของโคมไฟออกเป็นระนาบย่อยตามมุม β โดยกำหนดระนาบที่ผ่านกึ่งกลางโคมเป็น β_0 แต่ละระนาบ β จะเป็นลักษณะการกระจายของแสงในมุม α จาก -90^0 ถึง $+90^0$

๒.๑.๒ B-plane system แบ่งระนาบตามแนวแกนของโคมไฟ ออกเป็นระนาบย่อยตามมุม α โดยกำหนดระนาบที่ผ่านโคมในแนวดิ่งเป็น α_0 แต่ละระนาบ α จะเป็นลักษณะการกระจายของแสงในมุม β จาก -90^0 ถึง $+90^0$

๒.๑.๓ C-plane system เป็นการแบ่งระนาบผ่านโดยรอบในแนวดิ่ง ดูภาพ ๒.๑



A-plane system B-plane system C-plane system

รูป ๒.๑

๒.๒ ชนิดของโคมไฟถนน (ดูรายละเอียดภาคผนวก ๑)

โคมไฟถนนมีหลายชนิดด้วยกัน โดยแบ่งตามลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟ โคมแต่ละแบบจะเหมาะกับชนิดของงานแต่ละอย่าง แต่ที่ใช้กันโดยทั่วไป ๓ แบบ คือ

๒.๒.๑ แบบ cut-off

๒.๒.๒ แบบ semi cut-off

๒.๒.๓ แบบ Non cut-off

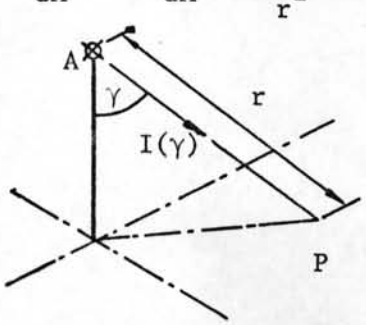
๒.๓ การคำนวณค่าความสว่างของไฟถนน

การคิดค่าความสว่างของพื้นถนนมีหลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายและเร็วที่สุดในการหาค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นถนน คือการหาโดยใช้กราฟ coefficient of Utilization (C.U) หรือ Utilisation factorแต่วิธีนี้ไม่สามารถทราบคุณสมบัติทางแสงอย่างอื่น เช่น ค่าความสม่ำเสมอของแสง ค่าความสว่างต่ำสุด ค่าความสว่างสูงสุด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการหาค่าความสว่างแบบจุดต่อจุดเท่านั้น (point by point illuminance calculation)

๒.๔ การคิดค่าความสว่างแบบจุดต่อจุด (Point by point illuminance calculation)

ค่าความสว่างบนจุดพื้นผิวถนนจุดหนึ่งจุดใด สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรทางแสงง่ายๆ จากรูป ๒.๒ A เป็นโคมไฟโคมหนึ่งและมีค่าการกระจายของความเข้มแห่งการส่องสว่างแบบ rotation symmetry โคมติดตั้งในแนวระดับ P เป็นจุดใดๆ บนพื้นถนน จากกฎทางแสง

$$E = \frac{d\phi}{dA} = \frac{Id\omega}{dA} = \frac{I(\gamma)}{dA} \cdot \frac{dA\cos\gamma}{r^2} = \frac{I(\gamma)}{r^2}\cos\gamma$$



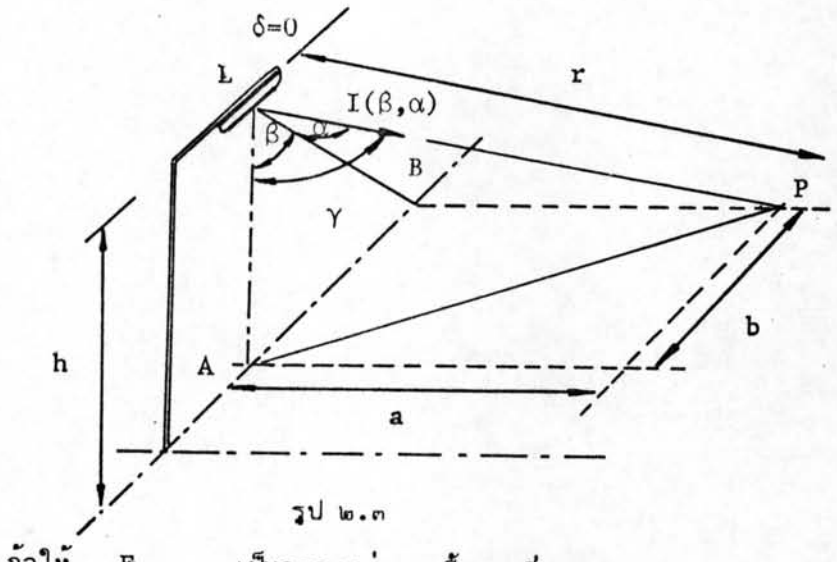
รูป ๒.๒

ถ้ามีโคม A อยู่ n โคม

ความสว่างที่จุด P จะเป็นผลรวมของความสว่างจากโคมไฟทั้งหมดที่ส่องมายังจุดนั้น

$$E_p = \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i(\gamma)}{r_i^2} \cos \gamma_i$$

สำหรับโคมไฟถนนซึ่งมีค่าการกระจายของความเข้มแห่งการส่องสว่างไม่เป็นแบบ rotation symmetry และไม่ว่าแสงของโคมไฟถนนจะ symmetry ในแนวแกนหรือไม่ หรือติดตั้งเป็นมุมเอียง (tilt) เท่าใดเราก็คำนวณได้เช่นกัน แต่การคำนวณจะยุ่งยากขึ้น เนื่องจากมีมุมเข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น ตามรูป ๒.๓ สมมติว่าโคมไฟมีค่าการกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบ A-plane system เพื่อความสะดวกในการคำนวณสูตร ในขั้นแรกสมมุติให้โคมติดตั้งในแนวราบ ($\delta = 0$)



รูป ๒.๓

ถ้าให้ E เป็นความสว่างบนพื้นราบที่จุด P

$I(\beta,\alpha)$ เป็นความเข้มของแสงในทิศทาง β,α อ่านค่าได้จากกราฟการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของดวงโคม

r เป็นระยะจากดวงโคมถึงจุด P

b เป็นระยะจากจุด P ที่ห่างจากแนวระนาบ A_o ของโคมไฟ

a เป็นระยะจากจุด P ที่ห่างจากแนวระนาบ B_o ของโคมไฟ

h เป็นระยะความสูงของดวงโคมเหนือพื้นถนน

γ เป็นมุม ALP

δ เป็นมุมเอียงของโคมไฟตามแนวแกนโคม

จากหลักตรีโกณมิติ

Δ LBP เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก ที่มี B เป็นมุมฉาก

Δ LAB เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก ที่มี A เป็นมุมฉาก

Δ LAP เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก ที่มี A เป็นมุมฉาก

ใน Δ LAP $\quad \cos\gamma = \frac{h}{r}$

ใน Δ LAB $\quad \cos\beta = \frac{h}{LB}$

ใน Δ LBP $\quad \cos\alpha = \frac{LB}{r}$

จากสมการข้างบนจะได้ว่า $\quad \cos\beta \cdot \cos\alpha = \frac{h}{LB} \cdot \frac{LB}{r} = \frac{h}{r} = \cos\gamma$

เพราะฉะนั้น $\quad r = \frac{h}{\cos\gamma} = \frac{h}{\cos\beta\cos\alpha}$

จากสมการง่ายๆ ทางแสง $\quad E = \frac{I(\gamma)}{r^2}\cos\gamma$

เขียนใหม่ได้เป็น $\quad E = \frac{I(\beta,\alpha)}{r^2}\cos\beta\cos\alpha$

เพื่อที่จะให้สมการอยู่ในรูปของตัวที่ทราบค่า h,a,b จึงเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$E = \frac{I(\beta,\alpha)}{h^2}\cos^3\beta\cos^3\alpha$$

$$\cos\beta = \frac{h}{\sqrt{h^2+b^2}}$$

$$\cos\alpha = \frac{\sqrt{h^2+b^2}}{\sqrt{h^2+b^2+a^2}}$$

แทนค่า $\cos\beta$, $\cos\alpha$ ใน E ได้

$$E = \frac{I(\beta,\alpha)}{h^2} \cdot \frac{h^3}{(h^2+b^2)^{3/2}} \left(\frac{h^2+b^2}{h^2+b^2+a^2}\right)^{3/2}$$

$$E = \frac{I(\beta,\alpha)}{(h^2+b^2+a^2)^{3/2}}$$

จะเห็นว่า ค่า $\frac{h}{(h^2+b^2+a^2)^{3/2}}$ เป็นค่าคงที่เมื่อกำหนดความสูงของโคมไฟให้ เราก็สามารถหาค่านี้ก่อนได้สำหรับพื้นที่บนถนนทุกๆ ตารางหน่วยที่ต้องการ ส่วนค่า $I(\beta,\alpha)$ นั้นต้องอ่านจากค่าการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของดวงโคมที่ใช้

โดยทั่วไป ดวงโคมมักถูกติดตั้งให้มีมุมเอียงขึ้น เพื่อให้ฟลักซ์การส่องสว่างของดวงโคมตกบนพื้นถนนให้มากที่สุด การคิดค่าความสว่างจึงมีมุมเอียงเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ถ้าให้ δ เป็นมุมเอียงของดวงโคมที่ติดตั้ง สูตรการคิดค่าความสว่างจะเป็น

$$E = \frac{I(\beta,\alpha)}{h^2} \cos^3(\beta+\delta) \cos^3\alpha$$

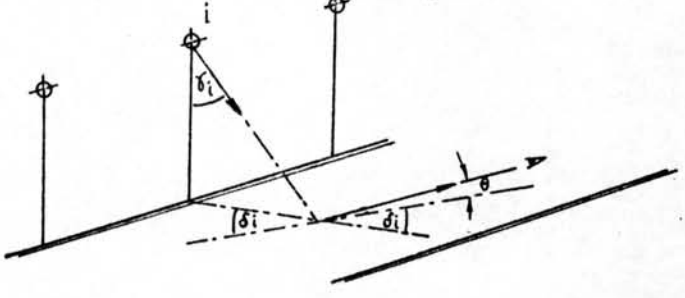
อย่างไรก็ตาม การคำนวณค่าความสว่างแบบจุดต่อจุดนี้ เป็นงานซึ่งไม่ยากแต่เป็นงานซ้ำๆ ซากๆ ซึ่งต้องใช้เวลามาก งานประเภทนี้อาจใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการคำนวณได้เป็นอย่างดี และผลจากการคำนวณการกระจายของความสว่างบนพื้นนี้สามารถนำไปทำกราฟไอโซลักซ์ได้

๒.๕ การหาค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน

การหาค่าความส่องสว่างนั้น ประกอบด้วย ๒ ขั้นตอนด้วยกัน คือการหาคุณสมบัติทางการสะท้อนแสงของผิวถนนอย่างหนึ่ง ซึ่งต้องทำในห้องทดลอง ส่วนอีกอย่างหนึ่งคือ การหาค่าความส่องสว่างโดยการคำนวณ

การกำหนดและอธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติทางการสะท้อนแสงของผิวถนน มาจากสมการที่ว่า ความส่องสว่างของผิวถนนบนจุดP ที่สะท้อนตามทิศทางของผู้สังเกตุตามรูป ๒.๔ เขียนได้ดังนี้

$$L_i = q(\gamma_i, \delta_i\ \theta)\ E_{pi}$$



รูป ๒.๔

โดยที่ L_i เป็นค่าความส่องสว่างที่มองเห็นจากโคมไฟถนนดวงโคมที่ i บนจุด P บนพื้นถนน

γ_i, δ_i เป็นทิศทางของแสงจากดวงโคมดวงที่ i ที่ตกบนจุด P บนถนน

Θ เป็นทิศทางที่คนมองทำมุมกับผิวถนน

E_{pi} เป็นค่าความสว่างบนจุดP เนื่องจากดวงโคมที่ i

สำหรับไฟแสงสว่างบนถนนซึ่งติดตั้งโคมเป็นแถว โคมเหล่านี้ทำให้เกิดความส่องสว่าง L_i ต่างๆ กันที่จุด P แต่ค่าความส่องสว่างรวม ก็คือ ผลรวมของค่าความส่องสว่างย่อยๆ L_i ตามสมการข้างต้น

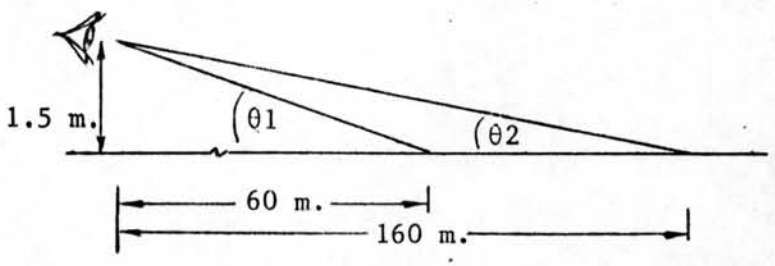
$$L = \sum_{i=1}^{n} L_i = \sum_{i=1}^{n} q(\gamma_i, \delta_i\ \Theta)\ E_{pi}$$

จะเห็นว่าค่าความส่องสว่างที่เห็นบนจุด P จะขึ้นกับลักษณะทางเรขาคณิตของจุดที่มองกับดวงโคมที่ติดตั้ง ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของพื้นถนนและค่าความสว่างตามแนวราบ ณ จุดที่มอง

จากสมการข้างต้น $L_i = q(\gamma_i, \delta_i, \Theta)\ E_{pi}$

จะได้ว่า $q(\gamma_i, \delta_i, \Theta) = \frac{L_i}{E_{pi}}$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง $q(\gamma_i, \delta_i, \Theta)$ นั้นสามารถหาได้โดยตรงจากอัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างที่มองเห็น (L_i) กับค่าความสว่างที่ตกบนจุดนั้น (E_{pi}) ภายใต้มุมที่แสงตก γ_i, δ_i และมุมที่คนมอง Θ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่มีความสำคัญต่อคนขับขี่รถบนถนนนั้น จะอยู่ช่วงระยะ 60 ถึง 160 เมตร ข้างหน้า และระดับสายตาของคนขับรถโดยทั่วไปจะอยู่สูงประมาณ 1.50 เมตรจากพื้น ดูรูป ๒.๕



รูป ๒.๕

จากรูป ๒.๕ ได้ค่า $\Theta_1 = \tan^{-1}\frac{1.5}{60} = 1.4$ องศา

$\Theta_2 = \tan^{-1}\frac{1.5}{160} = 0.5$ องศา

จะเห็นว่ามุมที่มอง Θ จะอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง1.4องศา เราจึงกำหนดให้ Θ เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างมุม Θ_1และΘ_2

$$\Theta = \frac{\Theta_1+\Theta_2}{2} = \frac{1.4+0.5}{2} = 1^o$$

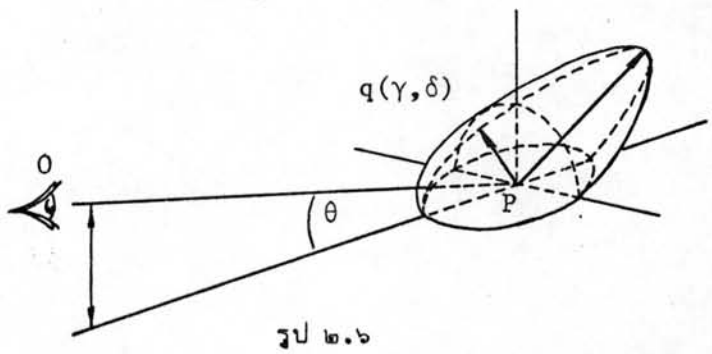
ซึ่งค่ามุม 1^oนี้เป็นมาตรฐานกำหนดของ ซี ไอ อี ที่ใช้กันโดยทั่วไปในการสำรวจแสงไฟถนน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน จึงขึ้นกับมุม ๒ มุมเท่านั้น คือ γ_i และ δ_i

๒.๖ การจัดประเภทของผิวถนน

ประเภทของผิวถนนจะขึ้นกับค่า reflection indicatrix ของพื้นผิว ดูรูป ๒.๖ ลักษณะคุณสมบัติทางแสงของพื้นถนน สามารถกำหนดด้วยค่าคงที่ ๒ ตัวคือ

๒.๕.๑ ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย q_o (The average luminance coefficient) ค่านี้เป็นตัวบอกถึงระดับความสามารถในการสะท้อนแสงทั้งหมดของพื้นผิวนั้น ดูรูป ๒.๗

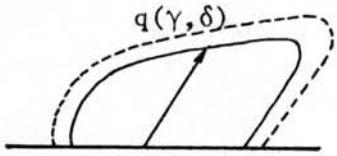
๒.๕.๒ ค่าความมันของผิว X (The specular factor) ค่านี้เป็นตัวบอกถึงระดับความเงาของผิวถนน ดูรูปประกอบ ๒.๘



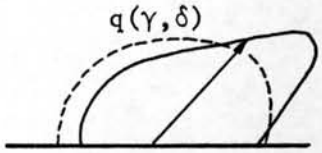
รูป ๒.๖

000449

รูป ๒.๖ แสดงถึงลักษณะการสะท้อนแสงของผิวถนน 0 เป็นจุดที่มอง (γ,δ) เป็นทิศทางที่แสงตก ความยาวของเวคเตอร์ $q(\gamma,\delta)$ คือค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง ซึ่งขนาดของเวคเตอร์นี้จะวิ่งไปตามผิวของรูปนี้



รูปที่ ๒.๗ ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างบนระนาบหนึ่ง ซึ่งมีค่า q_o ต่างกัน แต่ X_p เท่ากัน



รูปที่ ๒.๘ ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างบนระนาบหนึ่งที่มีค่า X_p ต่างกัน q_0 เท่ากัน

๒.๗ การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย q_o

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย q_o ก็คือการหาค่าเฉลี่ยของ q ที่มุมต่างๆ ในครึ่งทรงกลมบนพื้นผิวนั้น โดยคิดถึงจุดทุกจุดที่อาจมองเห็นได้จากพื้นผิวนั้น อย่างไรก็ตาม ก็ไม่จำเป็นต้องหาทั้งหมดครึ่งทรงกลม ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างหาได้ตามส่วนเฉลี่ยในมุมเชิงตันของครึ่งทรงกลม เราจึงนิยามค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย q_o ได้ว่าเป็นค่าคงที่ซึ่งเมื่ออินทริเกตรอบมุมตันนั้น จะมีค่าเท่ากับการอินทริเกต ค่า q ที่มุมต่างๆ ในมุมตันนั้น เขียนได้เป็นสมการว่า

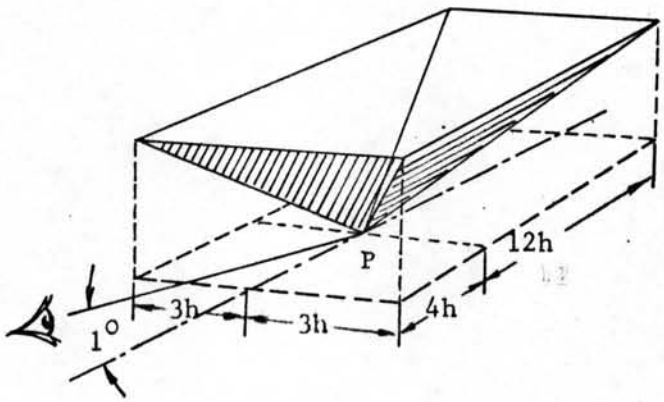
$$\iint_{\Omega} q_o \, d\gamma d\delta = \iint_{\Omega} q \, d\gamma d\delta$$

ดังนั้น
$$q_o = \frac{\iint_{\Omega} q \, d\gamma d\delta}{\iint_{\Omega} d\gamma d\delta} = \frac{1}{\Omega} \iint_{\Omega} q \, d\gamma d\delta$$

Ω เป็นมุมตันซึ่งครอบคลุมทิศทางของแสงจากโคมไฟที่มีความสูง h บนพื้นราบตามรูป ๒.๙ ค่ามุมตันนี้ควรอยู่ภายในช่วงที่กำหนดดังนี้ คือ

๒.๗.๑ ระยะตามขวางถนน ควรมีช่วงกว้างประมาณ $\pm$ 3h คือมุมที่แสงตกทางด้านข้างอยู่ระหว่างมุม $\pm 71.5^{o}$

๒.๗.๒ ระยะตามแนวยาวถนน ควรมีช่วงตามยาวถนนจาก -4h ถึง +12h คือมุมที่แสงตกอยู่ระหว่างมุม -75.9^{o}ถึง 85.2^{o}



รูป ๒.๙

๒.๘ การคำนวณหาค่าความมันผิว X

ความมันของผิวถนนเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางแสงอย่างหนึ่ง ของพื้นถนนตัวที่ใช้กำหนดค่านี้คือ ค่าสูงสุดของ reflection indicatrix ที่วัดได้ แต่เนื่องจากค่านี้มักจะอยู่นอกบริเวณการวัดปกติ และเนื่องจากค่าสูงสุดนี้ มักหาได้ยาก เราจึงใช้ตัวค่าต่ำสุดของสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเป็นตัวบอกความมันของผิวถนน โดยตามหลักแล้วการหาแบบนี้ก็เป็นการแสดงออกถึงค่าสูงสุดทางอ้อมเช่นกัน เนื่องจากค่า q_o เป็นตัวบอกขนาดปริมาตรของ reflection indicatrix ทั้งหมด ถ้าค่าสูงสุดยิ่งมาก

ค่าต่ำสุดก็จะยิ่งน้อยลง เมื่อค่า q_o คงที่ และค่าต่ำสุดนี้ยังวัดง่ายและหาสดวกกว่า เนื่องจากค่าต่ำสุดมักอยู่ใกล้จุดแสงตกตั้งฉากกับผิว

เรานิยามค่าความมันของผิวว่า

$$X = \log \frac{(q_o)}{q_{min}}$$

การหาค่า X ก็เหมือนกับการหาค่า q_o ซึ่งขึ้นกับลักษณะการกระจายของ q ที่วัดได้ และค่า q_{min} มักจะอยู่ใกล้จุด q(0,0)

$$q_{min} = q(0,0)$$

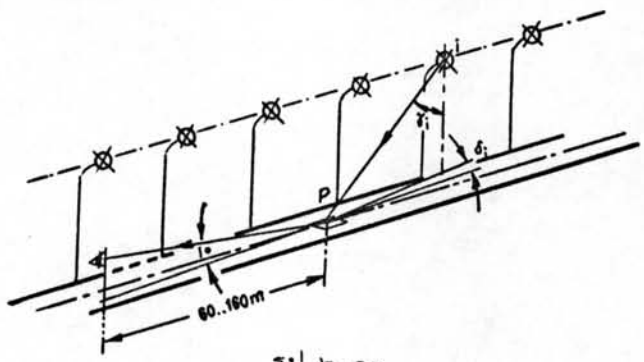
ฉะนั้นอาจเขียนได้ว่า $$X_p = \log \frac{(q_o)}{q(0,0)}$$

ปริมาณของค่า q_o และ X_p เป็นตัวบอกประเภทของผิวถนนอย่างหยาบๆ การวัดแยกชนิดของผิวถนนตามลักษณะของ X_p ดังนี้

แบบ	ช่วง X_p	แบบการสะท้อนแสง
RI	$X_p < 0.22$	ด้าน
RII	$0.22 < X_p < 0.33$	ด้านและเงานิดหน่อย
RIII	$0.33 < X_p < 0.44$	เงานิดหน่อย
RIV	$0.44 < X_p < 0.55$	เงา

๒.๔ การคำนวณค่าความส่องสว่างแบบจุดต่อจุด (luminance point by point Calculation)

การคำนวณค่าความส่องสว่างแบบจุดต่อจุด จะคล้ายกับวิธีการคำนวณค่าความสว่างแบบจุดต่อจุดที่กล่าวมาแล้ว

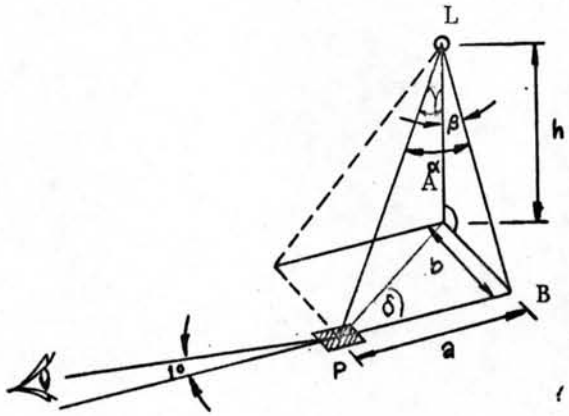


รูป ๒.๑๐

ตามรูป ๒.๑๐ ค่าความส่องสว่างที่จุด P เขียนได้ด้วยสมการ

$$L_p = q(\gamma_i, \delta_i)\ E_{pi}$$

ค่า q จะขึ้นกับมุม γ , δ โดยกำหนดให้มุมที่ตามมองเห็น 1° (ตามมาตรฐาน ซี ไอ อี)



รูป ๒.๑๑

ตามรูป ๒.๑๑ ถ้ากำหนดให้

a เป็นแนวขนานกับทิศทางที่มอง

b เป็นแนวตั้งฉากกับทิศทางที่มอง

α เป็นมุมที่โคมตามแนว a

β เป็นมุมที่โคมตามแนว b

h เป็นความสูงของโคม

จากหลักตรีโกณมิติ

ใน Δ LAP $\quad \cos\gamma = \frac{h}{LP}$

ใน Δ LAB $\quad \cos\beta = \frac{h}{LB}$

ใน Δ LBP $\quad \cos\alpha = \frac{LB}{LP}$

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{LB}{LP} \cdot \frac{h}{LB} = \frac{h}{LP}$$

$$\cos\gamma = \cos\alpha\cos\beta \qquad \text{——— ก.}$$

ใน Δ ABP $\quad \tan\delta = \frac{AB}{BP} = \frac{b}{a}$

ใน Δ LBP $\quad \cot\alpha = \frac{LB}{BP} = \frac{LB}{a}$

ใน Δ LAB $\quad \sin\beta = \frac{AB}{LB} = \frac{b}{LB}$

$$\cot\alpha \sin\beta = \frac{LB}{a} \cdot \frac{b}{LB} = \frac{b}{a}$$

$$\tan\delta = \cot\alpha \sin\beta \qquad \text{——— ข.}$$

จากสมการ ก และ ข จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง จะหาในรูป $q(\gamma,\delta)$ หรือหาในรูป $q(\alpha,\beta)$ แทนก็ได้ เพราะระบบโคออดิเนท ทั้ง ๒ มีความสัมพันธ์เหมือนกัน ถ้าให้ h เป็นความสูงของโคมเหนือถนน a,b เป็นระยะบนผิวถนนตามรายละเอียดที่กล่าวแล้วในรูป ๒.๑๐

จากหลักตรีโกณมิติจะได้

$$\tan\alpha = \frac{a}{\sqrt{h^2+b^2}}$$

$$\tan\beta = \frac{b}{h}$$

ในกรณีพิเศษที่แนวแกนถนน ขนานกับแนวทิศทางการสังเกตุของผู้มองระบบโคออดิเนทแบบα,β จะเหมาะสมและง่ายกว่าในการคิด เพราะค่า α,β ในที่นี้จะมีค่าเหมือนกับ α,β แบบการหาค่าความสว่างแบบจุดต่างจุดที่กล่าวมาแล้ว

ค่าความส่องสว่างที่จุด P เขียนในรูปของ α,β ใหม่ได้เป็น

$$L_p = q(\alpha_i,\beta_i)\ E_{pi}$$

และค่าสัมประสิทธิ์ของความส่องสว่างก็หาได้จาก

$$q(\alpha_i,\beta_i) = \frac{L_p}{E_{pi}}$$

ในการทดลองนี้ เราได้หาค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างในระบบโคออดิเนทแบบ α-β และจะกล่าวถึงวิธีการวัดละเอียดในบทต่อไป

จากสมการ $L_{pi} = q(\alpha_i,\beta_i)\ E_{pi}$

สมมติว่าผู้มองได้มองไปตามแนวแกนถนน ค่าโคออดิเนทα,β ในq และ E จะเป็นอันเดียวกัน จากหัวข้อที่แล้ว $E_{pi} = \frac{I(\alpha,\beta)}{h^2} \cos^3\alpha \cos^3\beta$

แทนค่าในสมการข้างต้น

$$L_{pi} = q(\alpha_i,\beta_i)\ \frac{I(\alpha_i,\beta_i)}{h^2} \cos^3\alpha_i \cos^3\beta_i$$

ถ้าให้ $$R(\alpha_i,\beta_i) = q(\alpha_i,\beta_i)\cos^3\alpha_i\cos^3\beta_i$$

$$L_{pi} = \frac{R(\alpha_i,\beta_i).I(\alpha_i,\beta_i)}{h^2}$$

ค่าความส่องสว่างที่จุดๆ หนึ่งบนพื้นถนนจะเป็นผลรวมค่าความส่องสว่างย่อยๆ จากโคมแต่ละดวง ฉะนั้นค่าความส่องสว่างรวมที่จุด Pจะได้

$$L_p = \sum_{i=1}^{n} L_{pi} = \sum_{i=1}^{n} q(\alpha_i,\beta_i)\frac{I(\alpha_i,\beta_i)}{h^2}\cos^3\alpha_i\cos^3\beta_i$$

จากสูตรนี้ เราสามารถคำนวณหาค่าความส่องสว่างที่จุดต่างๆ บนพื้นถนน เมื่อค่านี้ได้กำหนดบนพื้นถนนแล้ว และได้ต่อจุดที่มีค่าความส่องสว่างเท่ากันเข้าด้วยกันจะได้เส้นกราฟซึ่งเรียกว่า ไอโซลูมิแนนส์ (isoluminance diagram) การหากราฟ ไอโซลูมิแนนส์นี้ต้องใช้เวลามากมาย ซึ่งการคำนวณอาจใช้คอมพิวเตอร์ช่วยทำกราฟนี้ได้