บทที่ 5

ทฤษฎี และการคำนวณเกี่ยวกับค่าแสงสว่างไฟถนน

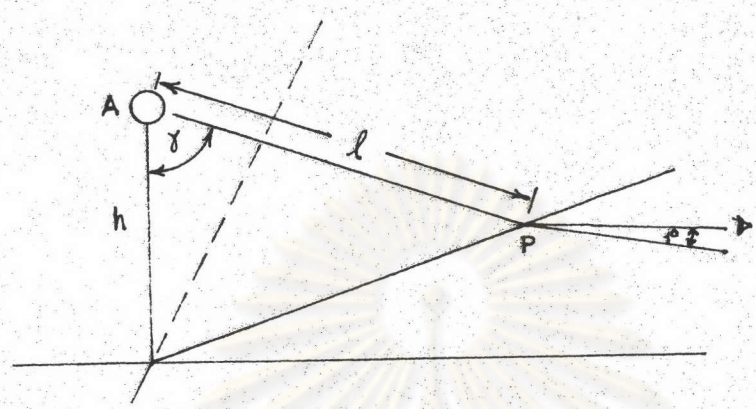
เมื่อได้ศึกษาถึงสภาพการมอง เห็นวัตถุบนถนน คุณสมบัติของหลอดไฟ โคมไฟ ลักษณะการติดตั้งไฟถนนตามประเภทของถนน และคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนนแล้ว ต่อไปก็เป็นการคำนวณเกี่ยวกับค่าแสงสว่างไฟถนนที่จุดต่าง ๆ บนผิวถนนช่วงที่พิจารณาดังต่อไปนี้

5.1 การคำนวณค่าความสว่างและความส่องสว่างของไฟถนน

การคิดค่าความสว่างและความส่องสว่างของไฟถนนมีหลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายและเร็วที่สุดในการหาค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นถนนและค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนน คือ การหาโดยใช้กราฟ coefficient of utilization หรือ utilization factor และกราฟ luminance yield ตามลำดับ แต่วิธีนี้ไม่สามารถทราบคุณสมบัติทางแสงอย่างอื่น เช่น ค่าความสม่ำเสมอ ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการหาค่าความสว่างและความส่องสว่างแบบจุดต่อจุดเท่านั้น

ค่าความสว่างบนจุดพื้นผิวถนนจุดหนึ่งจุดใด สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรทางแสงง่าย ๆ จากรูป 5.1 ถ้า A เป็นโคมไฟโคมหนึ่งและมีค่าการกระจาย ของความเข้มแห่งการส่องสว่างแบบ rotation symmetry โดยโคมไฟติดตั้งในแนวระดับ P เป็นจุดใด ๆ บนพื้นถนน จากกฎทางแสง

$$E = \frac{d\phi}{dA} = \frac{I(\gamma)dw}{dA} = \frac{I(\gamma)}{dA} \cdot \frac{dA \cos \gamma}{l^2} = \frac{I(\gamma)}{l^2} \cdot \cos \gamma$$



รูปที่ 5.1 แสดงการคำนวณค่าทางแสงสว่างของโคมไฟที่มีการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างแบบ rotation symmetry

ถ้ามีโคม A อยู่ n โคม ความสว่างที่จุด P จะเป็นผลรวมของความสว่างจากโคมไฟทั้งหมดที่ส่งมายังจุดนั้น

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

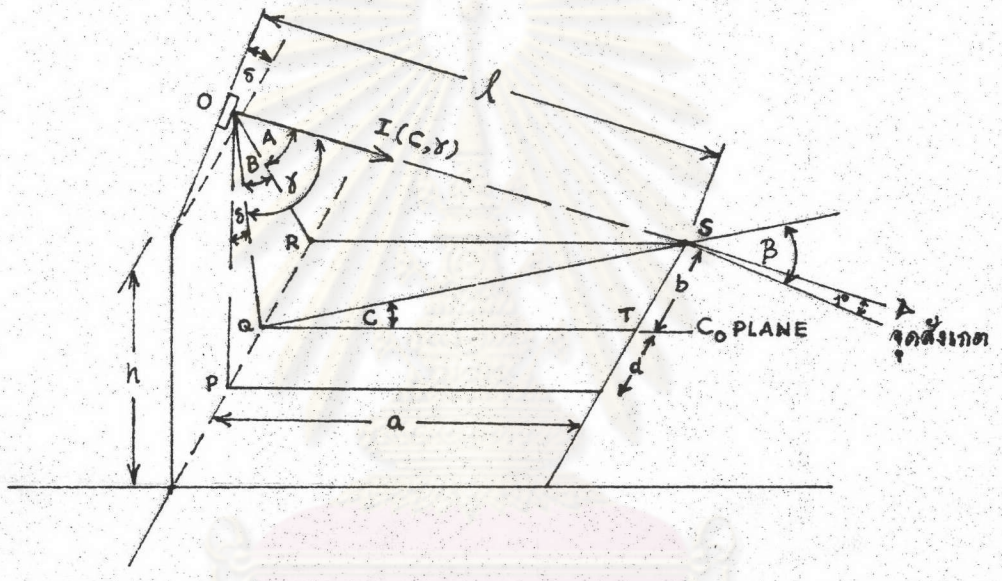
และในการคำนวณค่าความส่องสว่างของผิวถนนที่จุด P ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ของความส่องสว่าง q จะได้

$$L = q(\beta,\gamma).E = q(\beta,\gamma)\frac{I(\gamma)}{l^2} \cdot \cos \gamma = q(\beta,\gamma)\cos^3\gamma \cdot \frac{I(\gamma)}{h^2} = r(\beta,\gamma)\frac{I(\gamma)}{h^2}$$

ถ้ามีโคม n โคม จะได้ค่าความส่องสว่างรวมดังนี้

$$L_p = \sum_{i=1}^{n} r_i(\beta,\gamma) \cdot \frac{I_i(\gamma)}{h^2}$$

สำหรับโคมไฟถนนที่มีค่าการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างไม่เป็นแบบ rotation symmetry และไม่ว่าแสงของโคมไฟถนนจะ symmetry ในแนวแกนหรือไม่ หรือติดตั้งเป็นมุมเอียง (tilt) เท่าใดเราก็คำนวณได้เช่นกัน แต่การคำนวณจะยุ่งยากขึ้น เนื่องจากมีมุมเข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น รูป 5.2 ถ้าโคมไฟมีค่าการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างแบบ C-ɣ plane system



รูปที่ 5.2 แสดงการคำนวณค่าทางแสงสว่างของโคมไฟที่มีการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างไม่เป็นแบบ rotation Symmetry

ถ้าให้ E เป็นความสว่างบนพื้นราบที่จุด S

I(C, ɣ) เป็นความเข้มของแสงในทิศทาง C-ɣ plane system ซึ่งอ่านค่าได้จากตารางการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟ

h เป็นความสูงของโคมไฟเหนือพื้นถนน

δ เป็นมุมเอียงของโคมไฟกับแนวระดับและเท่ากับมุม POQ

a เป็นระยะจากจุด S ที่ห่างจากแนวระนาบ C_{90} ของโคมไฟ

b เป็นระยะจากจุด S ที่ห่างจากแนวระนาบ C_o ของโคมไฟ

l เป็นระยะจากจุด S ถึงโคมไฟ

A เป็นมุมของระนาบ A เท่ากับมุม ROS

B เป็นมุมของระนาบ B เท่ากับมุม QOR

C เป็นมุมของระนาบ C เท่ากับมุม TQS

γ เป็นมุมในระนาบ C ใด ๆ เท่ากับมุม QOS

β เป็นมุมระหว่างระนาบที่แสงตกกับระนาบของการมองจากหลักตรีโกณ

Δ OPR เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก มีมุม P เป็นมุมฉาก

Δ OQS เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก มีมุม Q เป็นมุมฉาก

Δ ORS เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก มีมุม R เป็นมุมฉาก

ใน Δ OPR $\cos (B + \delta) = \frac{OP}{OR} = \frac{h}{OR}$

Δ OQS $\cos \gamma = \frac{OQ}{OS} = \frac{OQ}{1}$

Δ ORS $\cos A = \frac{OR}{OS} = \frac{OR}{1}$

Δ OPQ $\cos \delta = \frac{OP}{OQ} = \frac{h}{OQ}$

จากสมการข้างบนจะได้ว่า

$$\cos (B + \delta) . \cos A = \frac{h}{OR} . \frac{OR}{1} = \frac{h}{1}$$

$$\cos \gamma . \cos \delta = \frac{OQ}{1} . \frac{h}{OQ} = \frac{h}{1}$$

เพราะฉนั้น $\cos (B + \delta) . \cos A = \cos \gamma . \cos \delta$

จากสมการง่าย ๆ ทางแสง $E = \frac{I(C,\gamma)}{1^2} . \cos \gamma . \cos \delta$

$$= \frac{I(C,\gamma)}{1^2} . \cos (B + \delta) \cos A$$

ถ้าให้สมการอยู่ในรูปของระยะ h, a, d, b ก็อาจเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$E = \frac{I(C,\gamma)}{h^2}.\cos^3(B+\delta).\cos^3 A$$

$$\cos(B+\delta) = \frac{h}{\sqrt{h^2+(d+b)^2}}$$

$$\cos A = \frac{\sqrt{h^2+(d+b)^2}}{\sqrt{h^2+(d+b)^2+a^2}}$$

แทนค่า $\cos(B+\delta)$ และ $\cos A$ ในสมการ E จะได้

$$E = \frac{I(C,\gamma)}{h^2}.\frac{h^3}{\left[h^2+(d+b)^2\right]^{3/2}}.\frac{\left[h^2+(d+b)^2\right]^{3/2}}{\left[h^2+(d+b)^2+a^2\right]^{3/2}}$$

$$= I(C,\gamma).\frac{h}{\left[h^2+(d+b)^2+a^2\right]^{3/2}}$$

$$= I(C,\gamma).\frac{h}{\left[h^2+(d+b)^2+a^2\right]^{3/2}}$$

ในการคำนวณค่าความส่องสว่างของผิวถนน คิดเช่นเดียวกับการคำนวณเมื่อโคมไฟเป็นแบบ rotation symmetry จะได้

$$L = q(\beta,\gamma).\frac{I(C,\gamma)}{h^2}.\cos^3(B+\delta).\cos^3 A$$

หรือ $$= q(\beta,\gamma).\frac{I(C,\gamma)}{h^2}.\cos^3\gamma.\cos^3\delta$$

หรือ $$L = r(\beta,\gamma).\frac{I(C,\gamma)}{h^2}.\cos^3\delta$$

ซึ่งหากมีโคมไฟหลายโคม ค่าความส่องสว่างที่จุดใด ๆ ก็คือ ผลรวมของความส่องสว่างของโคมไฟแต่ละโคมนั่นเอง ผลการคำนวณความสว่างและความส่องสว่างนี้สามารถนำไปเขียนเป็น

ไอโซลักซ์ไดอะแกรมและไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรม ได้ตามลำดับ

5.2 Discomfort glare

ในการหาค่า discomfort glare (G) อาจทำได้ 2 วิธี คือ

5.2.1 วิธีคำนวณจากสมการ ซึ่งอาจคำนวณด้วยมือหรือใช้คอมพิวเตอร์ช่วยก็ได้

5.2.2 วิธีหาค่าโดยใช้กราฟดังรูป 5.3 จะหาค่าได้เร็วกว่าการคำนวณด้วยมือ และมีความผิดพลาดน้อยมาก ซึ่งการหาค่าโดยใช้กราฟนี้จะดีกว่าการคำนวณโดยใช้สมการ 3 ประการ คือ

ก. ไม่ต้องใช้เครื่องมือการคำนวณ หรือคอมพิวเตอร์ช่วย

ข. จะเห็นความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ได้ชัดเจน

ค. ในกราฟจะระบุขีดจำกัดของสมการการคำนวณค่า G ด้วย ซึ่งทำให้การหาค่า G จากกราฟไม่ต้องกังวลกับขีดจำกัดของการใช้สมการค่า G เลย

ตัวอย่างการหาค่า G โดยใช้กราฟ

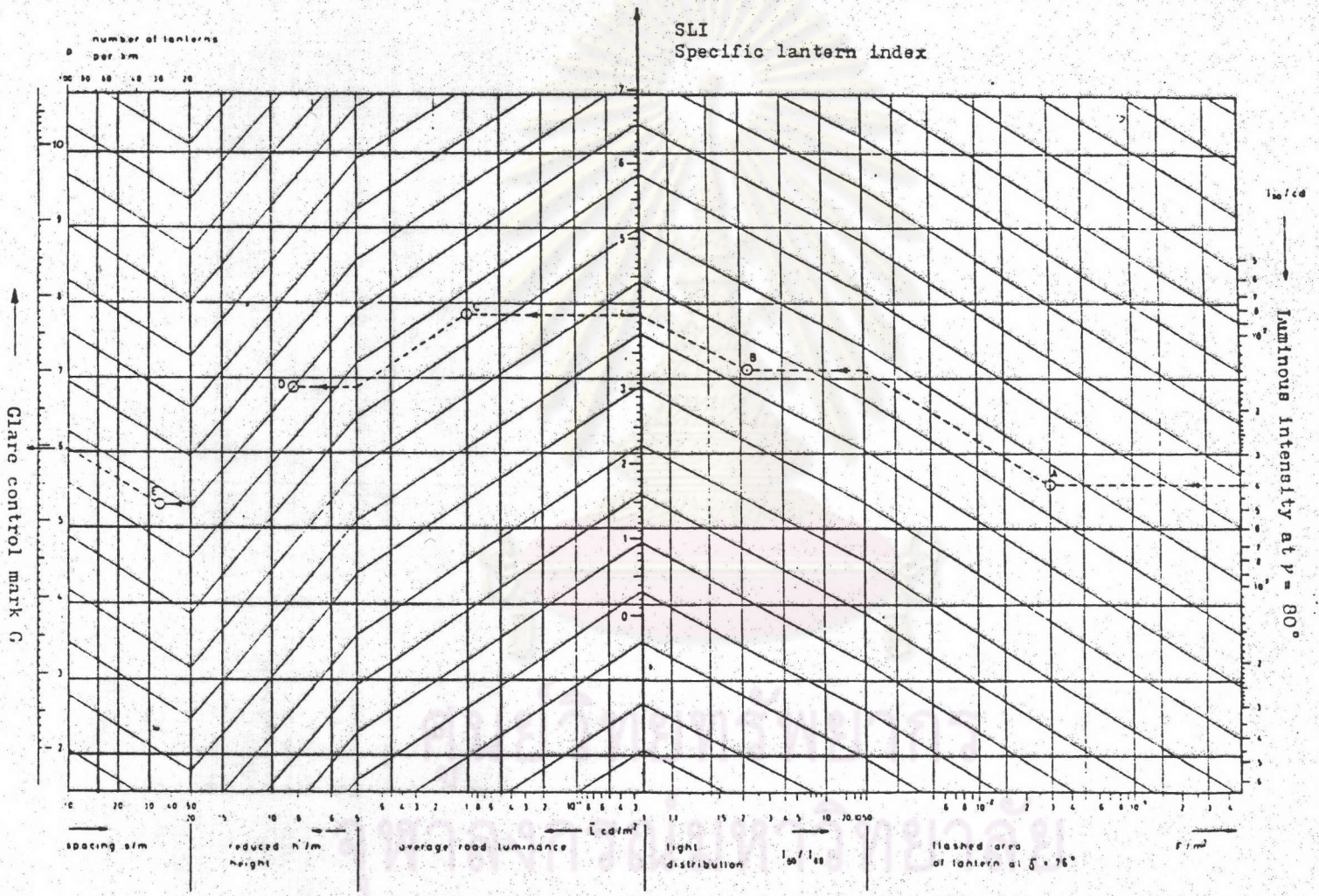
ถ้า I_{80} = 400 Cd L_{av} = 1 Cd/m^2

I_{80}/I_{88} = 2.17 F = 0.03 m^2

h' = 8.5 m S = 33 m

C = 0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 แสดงการหาค่า Glare control mark (G) โดยวิธีกราฟ

จากรูป 5.3 เริ่มต้นด้านขวามือของกราฟที่ I_{80} = 400 Cd แล้วลากเส้นตามเส้นประไปทางด้านซ้ายมือของกราฟก็จะได้ค่า G = 5.95 ดังนี้เป็นต้น

5.3 Disability glare

ในการหาค่า disability glare ซึ่งหมายถึง threshold increment (TI) ดังที่กล่าวแล้วในบทที่ 2 อาจหาค่าได้ 2 วิธีคือ

5.3.1 การคำนวณจากสมการ ซึ่งอาจคำนวณด้วยมือหรือใช้คอมพิวเตอร์ช่วยก็ได้

5.3.2 การหาค่าโดยใช้กราฟ ซึ่งจะใช้ได้เฉพาะกรณีที่ผู้มองยืนอยู่ในระนาบ C_o ของโคมไฟ และนำโคมไฟมาคิดเพียง 12 โคมเท่านั้น โดยที่โคมไฟเพียง 4 โคมแรกจะมีผลต่อการหาค่า equivalent veiling luminance (L_v) เป็นส่วนใหญ่ดังรูป 5.4

การหาค่า TI โดยวิธีกราฟ คิดว่าผู้ขับขี่ยวดยานมองผิวถนนโดยทำมุมลงกับแนวระดับ 1 องศา และโคมไฟที่อยู่ในมุมยกขึ้น 20 องศา กับแนวที่มองจะต้องนำมาคิดค่า L_v ทั้งหมด ซึ่งก็คือโคมไฟที่อยู่ในมุม 19 องศากับแนวระดับนั่นเอง หรือมุม γ ของโคมไฟ เท่ากับ 71 องศา และหาค่า TI โดยใช้รูป 5.5

ตัวอย่างการหาค่า L_v และ TI ของไฟถนนแห่งหนึ่งซึ่งผู้มองอยู่ในระนาบ C_o- plane ที่โคมไฟมีการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างดังนี้

γ/องศา	65	70	75	80	83	85	87	88	89	90
I/Cd/Klm	238	123	77	42	28	23	17	15	13	10

ฟลักซ์ของหลอดไฟ (ϕ) = 9.6 Klm

ช่วงห่างของเสาไฟ (S) = 33 เมตร

ความสูงของโคมไฟ (h) = 10 เมตร

จากค่าการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟ สามารถเขียน curve ในรูป 5.4 ได้ และการหาค่าจากกราฟเริ่มจากรูปมุมขวามือด้านล่าง S/h แล้วลากเส้นแนวระดับไปด้านซ้ายมือตัดกับเส้นโคมไฟดวงที่ 1 ถึง 12 ตามลำดับ ลากเส้นในแนวดิ่งขึ้นไปตัดกับ curve ที่เขียนไว้ก่อน ก็จะได้ค่า Y_i แล้วจึงคำนวณค่า L_v โดยใช้สมการ

$$L_v = K.\phi \sum_{i=1}^{12} Y_i$$

โดยที่ $K = \dfrac{2.81 \times 10^{-3}}{(h-1.5)^2}$

ได้ $\sum_{i=1}^{12} Y_i = 200$

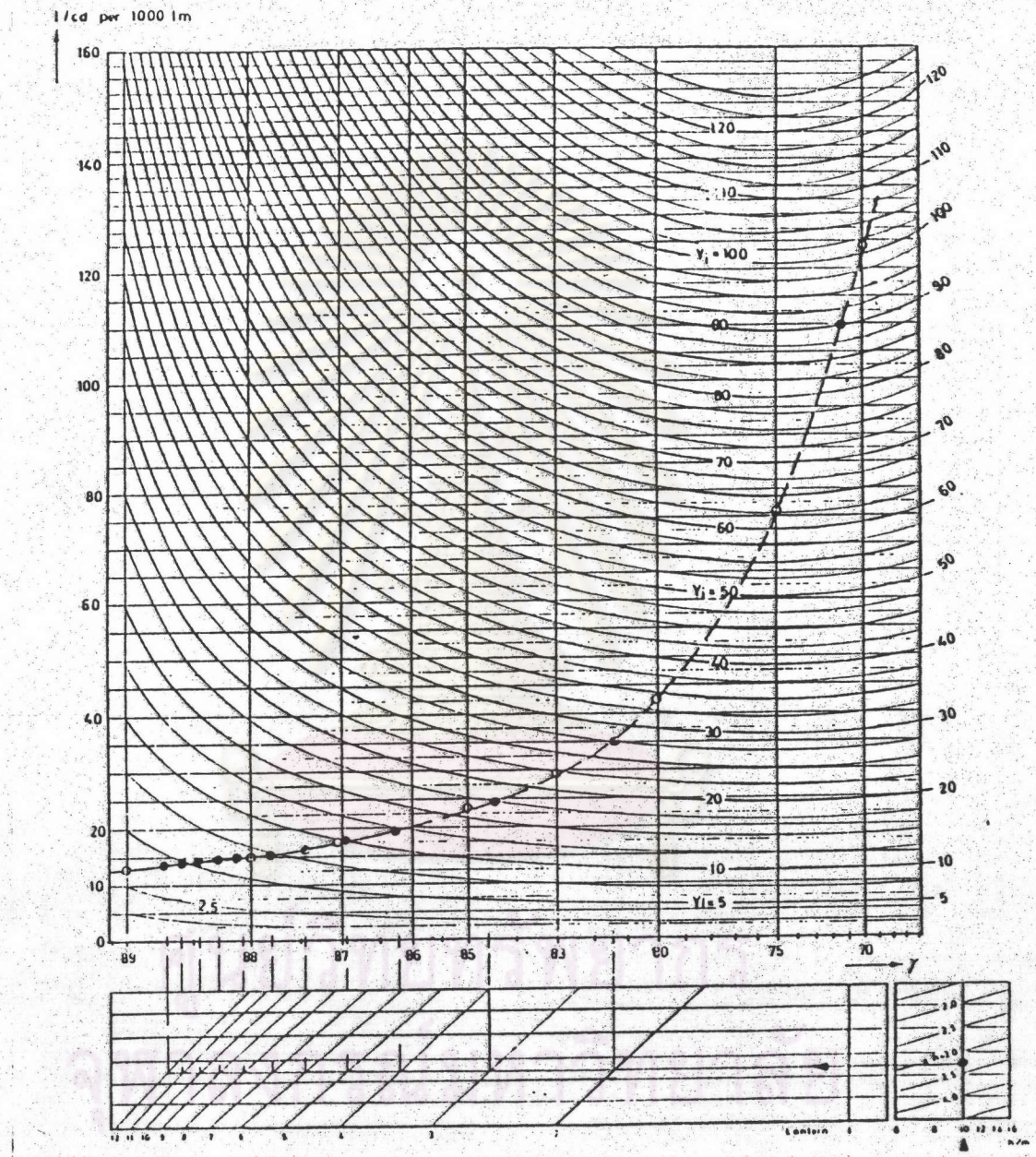
$$K = \frac{2.81 \times 10^{-3}}{(10 - 1.5)^2} = 3.9 \times 10^{-5}$$

ดังนั้น $L_v = 0.075$

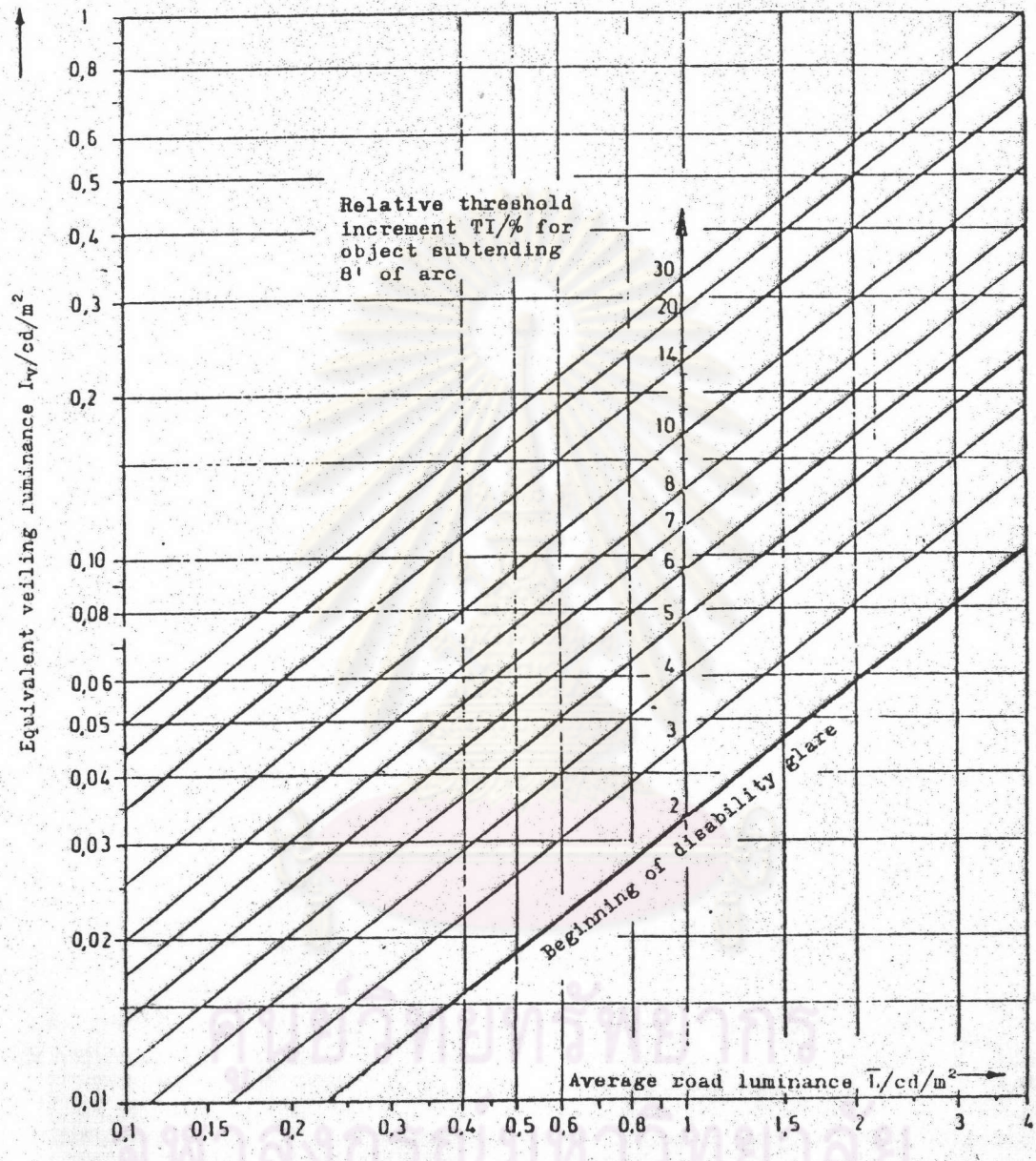
เมื่อ $L_{av} = 1\ Cd/m^2$

จากรูป 5.5 $TI = 5\ \%$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 การหาค่า equivalent veiling luminance (L_V) โดยวิธีกราฟ



รูปที่ 5.5 การหาค่า threshold increment (TI) จากค่า L_V และความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนนโดยวิธีกราฟ