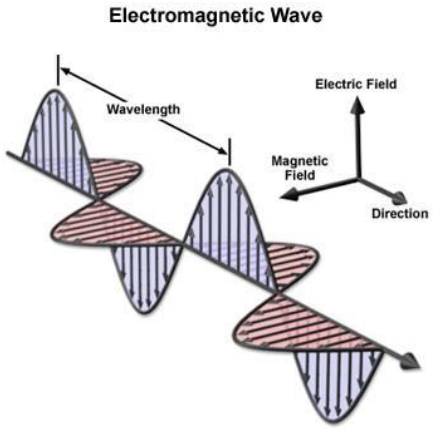


ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีช่วงความยาวคลื่น (ที่มนุษย์ค้นพบ)ตั้งแต่ 10^{-5}นาโนเมตร(รังสี Cosmic) จนถึง 4.98×10^{15} นาโนเมตร (ไฟฟ้ากระแสสลับ) เมื่อเราพิจารณาว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่มนุษย์มองเห็นซึ่งมีเพียงช่วงเล็กๆ จาก 380 นาโนเมตร(3800 angstroms) ถึง 760 นาโนเมตร (7600 angstroms) และความยาวคลื่นที่แตกต่างกันจะปรากฏเป็นแสงสีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสีของแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

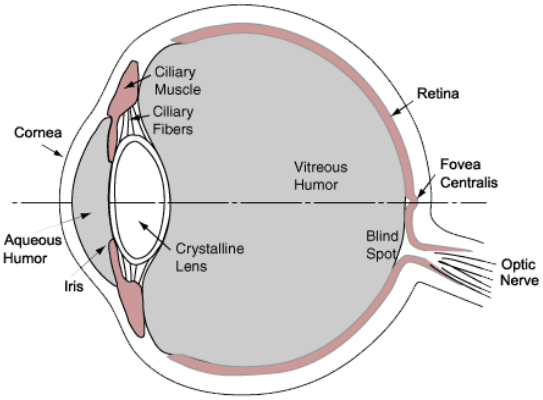
สี	**ความยาวคลื่น(nm)**
แดง	760-630
ส้ม	630-590
เหลือง	590-560
เขียว	560-490
น้ำเงิน	490-440
คราม	440-420
ม่วง	420-380

2.2 การมองเห็นของดวงตามนุษย์ [1][3]

การมองเห็นวัตถุใดๆและสีต่างๆได้นั้นจำเป็นจะต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงไม่ว่าจะเป็นดวงอาทิตย์ หรือเปลวไฟ แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเมื่อกระทบกับวัตถุแล้วจะสะท้อนเข้าสู่ตาจะยังผลทำให้เรามีความรู้สึกมองเห็นวัตถุได้

การมองเห็นในแต่ละขณะจะมีวัตถุหลายอย่างรวมอยู่ในภาพที่ปรากฏต่อตาวัตถุแต่ละอย่างจะเปลี่ยนคุณสมบัติบางประการของแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด ที่สำคัญคือวัตถุแต่ละประเภทมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ เอาไว้ในอัตราที่ไม่เท่ากันแล้วปล่อยเฉพาะส่วนที่เหลือหรือบางความยาวคลื่นออกมาเข้าสู่ตา นอกจากนี้ปริมาณของแสงสว่าง และระยะการปรับภาพของดวงตาก็มีมีผลต่อการมองเห็นด้วยเช่นกัน

จากการมองเห็นดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่าความชัดเจน และความสบายในการมองเห็นภาพต่างๆจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสรีระวิทยาคือดวงตามนุษย์ และปัจจัยภายนอกอื่นๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไป



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบดวงตา

2.3 ปัจจัยภาคนอกที่มีผลต่อการมองเห็น [1][3]

ความสามารถในการมองเห็นของดวงตามนุษย์ ขึ้นอยู่กับปัจจัย(ภายนอก) 5 อย่าง คือ

1.ขนาด และระยะทาง

2.ความสว่าง (Luminance)

3.ความเปรียบต่าง (Contrast)

4.เวลา

5.แสงบาดตา

2.3.1 ขนาดและระยะทางของวัตถุ

ขนาด และระยะทางของวัตถุ ที่มีผลต่อความสามารถในการมองเห็น สิ่งสำคัญก็คือ ขนาดที่ดวงตามองเห็น (รับรู้) ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมในการมอง (Visual Angle,α) ของดวงตา ถ้าเราเคลื่อนวัตถุที่มองเข้ามาใกล้จะทำให้มุม α ใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้มองเห็นชัดเจนขึ้น

2.3.2 ความสว่าง (Luminance)

ความสว่างในที่นี้ หมายถึง ความสว่างของวัตถุซึ่งเกิดจากแสงกระทบบนวัตถุ สะท้อนออกมาสู่ดวงตา(Luminance) โดยจะมีผลตรงต่อความสว่างของวัตถุขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ตกกระทบ และคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของวัตถุนั้นๆ ตามสมการ

$$L = \rho \times E$$

เมื่อ L คือ ความสว่าง (Luminance)มีหน่วยเป็น ลักซ์ (Lux)

ρ คือ ความสามารถในการสะท้อนของวัตถุ (Reflectance)

E คือ ความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุ (Illumination) มีหน่วยเป็น ลักซ์ (Lux)

การมองเห็นของดวงตาเป็นการมองเห็น ความสว่างของวัตถุ (luminance) ที่สะท้อนแสงออกมาไม่ใช่ความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุ (illumination) ดังนั้นคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัตถุมีผลอย่สงมากต่อการมองเห็นวัตถุนั้น โดยหน่วยของความส่องสว่างนั้นจะกำหนดเป็น ลักซ์ (Lux)

2.3.3 ความเปรียบต่าง (Contrast)

ความเปรียบต่าง ก็คือ ความจัดในการตัดกันของสีหรือความสว่างของ วัตถุ (Object) กับฉากหลัง (Background) ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานในการมองเห็นวัตถุ ถ้าความแตกต่างระหว่างฉากกับวัตถุมีน้อย เราจะสามารถมองเห็นวัตถุได้ยากขึ้น ค่าความเปรียบต่างที่น้อยที่สุดที่สามารถเริ่มมองเห็นวัตถุได้ เรียกว่า Contrast Threshold โดยจะนิยมใช้วิธีของ Blackwell ดังสมการ

$$C = \left|\frac{L_0 - L_b}{L_b}\right| = \left|\frac{\Delta L}{L_b}\right|$$

เมื่อ L_0 คือ ความสว่างของวัตถุ (Object)

L_b คือ ความสว่างของฉาก (Background)

ΔL คือ ความแตกต่างระหว่าง L_0 และ L_b

2.3.4 ระยะเวลาในการมอง (Time)

การมองเห็นของดวงตาไม่ใช่ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบฉับพลันทันทีทันใด ในความเป็นจริงจะต้องมีช่วงเวลาทางขบวนการไฟฟ้าเคมี ในการส่งสัญญาณจากจอตา(Retina) ไปยังสมอง ใน

ที่ที่มีความสว่างน้อยก็ต้องให้เวลาในการมองมากกว่าที่ที่มีความสว่างมากถ้าต้องการรายละเอียดเท่ากัน

2.3.5 แสงบาดตาหรือแสงรบกวน (Glare)

แสงบาดตาหรือแสงรบกวนเกิดจากสภาวะที่มีแสงส่องในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม แสงรบกวนทำให้เกิดผลเสียต่อการมองเห็น และต่อดวงตา เช่น มองเห็นไม่ชัดเจน ขาดความสบายตา บางกรณีถึงขั้นมองไม่เห็นเลย นอกจากนี้อาจทำให้ตาเกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย แสงบาดตาหรือแสงรบกวนสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ 2 ประเภท

- แสงบาดตาโดยตรง(Direct Glare) หมายถึงแสงที่พุ่งจากแหล่งกำเนิดแสงมายังดวงตาโดยตรง
- แสงบาดตาโดยอ้อม(Indirect Glare) หมายถึงแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวที่ไม่ได้เป็นจุดสนใจ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบได้ 2 แบบ คือ
    - แสงบาดตาแบบทำให้ไม่สบายตา (Discomfort Glare) แสงบาดตาประเภทนี้จะทำให้เกิดความเมื่อยล้าในการทำงานและทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง และยังทำให้เกิดความรำคาญและความเครียดในการทำงาน
    - แสงบาดตาแบบทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้(Disability Glare) แสงบาดตาประเภทนี้จะลดขีดความสามารถของการมองเห็นลดลงอย่างมาก หรืออาจทำให้มองไม่เห็นเลย และยังทำให้เกิดความเมื่อยล้าในการทำงานด้วย

2.4 หน่วยการวัดของแสง [1][3]

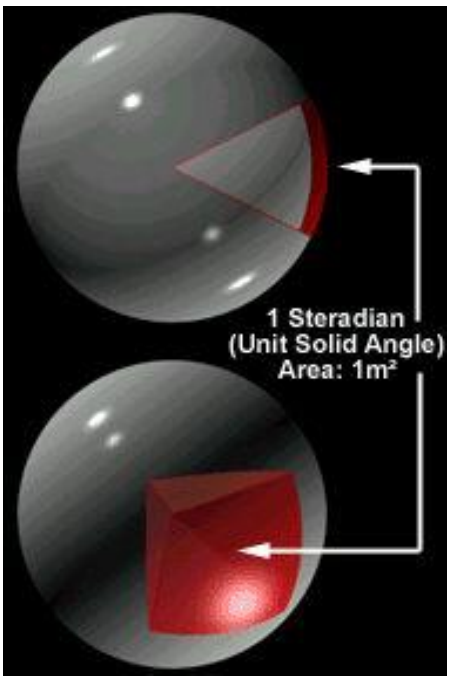
2.4.1 พลังงานของการส่องสว่าง (Luminous Energy,Q)

พลังงานของการส่องสว่าง (Luminous Energy,Q) เป็นค่าพลังงานของแสงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น “Lumen – Second”

2.4.2 มุมกรวยตันหรือ Solid Angle (ω)

มุมกรวยตันหรือ Solid Angle(ω) เป็นค่าอัตราส่วนของพื้นผิวทรงกลมต่อค่ารัศมีของทรงกลมยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น “Steradian(sr)”

$$\omega = \frac{A_{\text{ทรงกลม}}}{R^2} = \frac{dA}{R^2}$$



ภาพที่ 2.4 แสดงนิยามของ Solid Angle 1 Steradian(sr)

2.4.3 ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux)

ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux,ϕ) คืออัตราการแผ่พลังงานของแสงต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น “Lumen(lm)” สมการของ ϕสามารถแสดงได้เป็น

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$

เมื่อ Q เป็นค่าพลังงานของแสงที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิด

2.4.4 ความเข้มของการส่องสว่าง(Luminous Intensity,I)

เป็นค่าความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่กำหนด ต่อค่ามุมกรวยตัน ค่าความเข้มของการส่องสว่าง เป็นค่าที่แสดงความสามารถของแหล่งกำเนิดแสงในการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนด มีหน่วยเป็น “Candela(cd)”

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} = \frac{\text{lumen}}{\text{steradian}} \Rightarrow \text{candela}$$

2.4.5 ความสว่าง(Luminance,L)

ความสว่าง(Luminance,L) เป็นค่าฟลักซ์ส่องสว่าง จากจุดที่กำหนดไปยังทิศทางที่กำหนดต่อพื้นที่ตกกระทบ (A_θ) ต่อมุมกรวยตัน มีหน่วยเป็น lumen/m^2(Lux) หรือ lumen/ft^2(footcandle (fc)) สมการแสดงค่าความสว่างเขียนได้เป็น

$$L=\frac{d^2\phi}{d\omega dA_\theta}$$

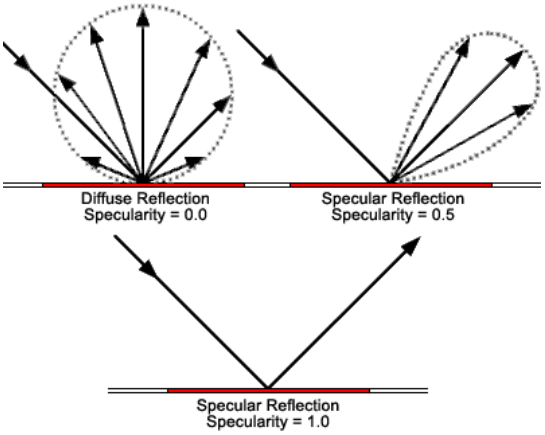
2.4.6 การสะท้อนแสงของพื้นผิว

การสะท้อนแสงของพื้นผิวแบ่งได้ 4 ประเภท โดยคุณสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

- การสะท้อนแสงแบบสมบูรณ์ หรือ Specular Reflection เป็นการสะท้อนแสงของกระจกหรือวัตถุที่มีผิวมันมากๆ โดยจะมีมุมสะท้อนแสงเท่ากับมุมตกกระทบ ($\theta_1=\theta_2$)
- การสะท้อนแสงแบบแผ่กระจายบางส่วน หรือ Composed or Spread Reflection เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมที่แสงสะท้อนออกมากที่สุดทำมุมเท่ากับมุมตกกระทบ ($\theta_1=\theta_2$) โดยแสงที่เหลือที่สะท้อนออกมากระจายอยู่รอบๆการสะท้อนแสงแบบนี้จะเกิดกับพื้นผิวประเภทอะลูมิเนียม
- การสะท้อนแสงแบบกระจาย หรือ Diffuse Reflection เป็นการสะท้อนแสงที่กระจายออกทุกทิศทาง โดยจะสะท้อนในทิศตั้งฉากกับพื้นผิวมากที่สุด ในกรณีที่เป็น พื้นผิวกระจายแสงแบบสมบูรณ์ หรือ Lambertian Surface(Perfect Diffuser) เป็นพื้นผิวที่ดูดกลืนพลังงานส่องสว่าง และกระจาย(ทั้งหมด) ออกมาเป็นทรงกลมที่สัมผัสพื้นผิวนั้น โดยเป็นไปตามสมการ

  $$I_\theta=I_N \cos\theta \qquad \text{(Lambert's Cosine Law)}$$

- การสะท้อนแสงแบบรวมหรือแบบผสม หรือ Mixed or Combination เป็นการสะท้อนที่รวมคุณสมบัติการสะท้อนทุกแบบเข้าด้วยกัน ซึ่งเกิดกับพื้นผิวในความเป็นจริงเกือบทุกชนิด



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะการกระจายแสงของพื้นผิวแบบต่างๆ

2.4.7 ความส่องสว่าง (Illumination,E)

ความส่องสว่าง(Illumination,E) เป็นค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวเล็กๆ ต่อหน่วยพื้นที่ของพื้นผิวนั้น มีหน่วยเป็น lumen/ft^2(footcandle(fc)) หรือ lumen/m^2(Lux) ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับค่าความสว่าง สมการของค่าE แสดงได้เป็น

$$E = \frac{d\phi}{dA} \qquad \text{(lumen/ft}^2\text{(footcandle(fc)) หรือ lumen/m}^2\text{(Lux))}$$

2.4.8 ประสิทธิภาพของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Efficacy)

เป็นค่าแสดงประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง ในเชิงของการให้แสงสว่าง ค่า Efficacy คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงกับค่ากำลังงานที่แหล่งกำเนิดใช้(input power) มีหน่วยเป็น lumen/watt

2.5 อุปกรณ์ทำหน้าที่ส่องสว่างสำหรับไฟถนน [2]

การศึกษาอุปกรณ์ทำหน้าที่ส่องสว่างในกิจกรรมนี้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการคำนวณด้านการ ส่องสว่างและการใช้พลังงาน และทำให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างโคมไฟถนนที่สมรรถนะไม่เหมาะสมกับที่สมรรถนะดี ค่าทางแสงที่ทำหน้าที่ในการส่องสว่างถนนคือ ฟลักซ์ส่องสว่างคงตัว (FU) จากโคมถนนที่ใช้ การเสื่อมค่าของหลอด (LLMF) และโคมถนน(LMF) จากการใช้งาน ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกบนผิวถนนเท่านั้นที่เป็นประโยชน์สำหรับไฟถนน ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วย สมการ

FU [lumen] = UF x LMF x LLMF x Lamp Lumen Output

ค่าทางแสงที่ทำหน้าที่ในการส่องสว่างถนนนี้คำนึงถึงทั้งโคมไฟถนน หลอดไฟฟ้า บัลลาสต์ และ วิธีการติดตั้งโคมไฟถนน ในการคำนวณทั้งหมด

2.5.1 หลอดไฟฟ้าที่ควรเลือกใช้

ในการส่องสว่างถนนส่วนใหญ่ของกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนั้น จะนิยมใช้โคมไฟถนนและหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ตามชนิดและประเภทของถนนในแต่ละพื้นที่ เช่น โคมไฟถนนประเภทต่าง ๆ ที่ใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ หรือหลอดไอปรอทความดันสูง แหล่งกำเนิดแสงประกอบด้วย หลอดไฟฟ้า อุปกรณ์ควบคุม และตัวโคมไฟถนน องค์ประกอบที่มีผลต่อการเลือกใช้ในการออกแบบไฟถนน ได้แก่

- ขนาดของหลอดไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้าและฟลักซ์ส่องสว่าง)
- อายุของหลอดไฟฟ้า
- สีของแสงและการเห็นสี (Tc, Ra)
- ประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้าและโคมไฟถนน
- ขนาดทางกายภาพของหลอดไฟฟ้าและโคมไฟถนน
- การกระจายแสงของโคมไฟถนน
- ความคงทนและชั้นการป้องกันของโคมไฟถนน
- ราคาหลอดไฟฟ้าและโคมไฟถนน

1) หลอดไอปรอทความดันสูง

หลอดไอปรอทความดันสูง หรือหลอดแสงจันทร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เก่าแก่ และใช้กันมากในไฟถนน ทำงานด้วยไอปรอทที่ความดันสูง มีให้เลือกใช้หลายขนาด

จุดเด่น คือ อายุใช้งานยาว ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากใช้บัลลาสต์แต่เพียงอย่างเดียว

จุดด้อย คือ ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำ ฟลักซ์ส่องสว่างจะลดลงค่อนข้างเร็วตามอายุใช้งานเมื่อเทียบกับหลอดโซเดียมความดันไอสูง และเมื่อไฟฟ้าดับช่วงสั้น ๆ หลอดจุดติดใหม่จะใช้เวลานานรายละเอียดและสมรรถนะ
การทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูงดู มอก 673เล่ม 2-255X, มาตรฐาน IEC 60188 (2001-05)

ภาพที่ 2.6 Mercury vapour lamp, E-elliptical, phosphor coated

2) หลอดเมทัลฮาไลด์

หลอดเมทัลฮาไลด์ มีให้เลือกใช้หลายขนาด ทำงานด้วยไอปรอทที่ความดันสูงภายในหลอดถ่ายประจุมีการเติมสารประกอบจำพวกฮาไลด์ เพื่อทำให้สีของแสงดีขึ้น มีอุณหภูมิสีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสารประกอบฮาไลด์ที่เติมเข้าไป

จุดเด่น คือ ประสิทธิผลการส่องสว่างมีค่าสูง (70-100 lm/W) ดัชนีการให้สี Ra มีค่าประมาณ 60-80 บางรุ่นอาจมีค่า Ra มากกว่า 90

จุดด้อย คือ อายุใช้งานสั้นกว่าหลอดถ่ายประจุชนิดอื่น (8,000 ชั่วโมง)ในการทำงานของหลอดต้องใช้บัลลาสต์และอิกนิเตอร์ แรงดันจุดหลอด ประมาณ2.8 – 5 kV รายละเอียดและสมรรถนะ
การทำงานของหลอดเมทัลฮาไลด์ ดูมาตรฐาน IEC 61167 (1992-09)

a) b) c)

ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างหลอดเมทัลฮาไลด์แบบต่างๆ

a) Metal halide lamp, E-elliptical, clear

b) Metal halide lamp, TS-tubular, double ended

c) Metal halide lamp, T-tubular

3) หลอดโซเดียมความดันไอสูง

หลอดโซเดียมความดันไอสูงใช้กันมากในไฟถนน มีให้เลือกใช้หลายขนาด ทำงานด้วยไอโซเดียมความดันสูง

จุดเด่น คือ ประสิทธิผลการส่องสว่างมีค่าสูงกว่าหลอดเอชไอดี (HID) ชนิดอื่น ๆ(ประมาณถึง 130 lm/W) ตัวหลอดที่ส่องสว่างมีขนาดเล็ก ทำให้การควบคุมการกระจายแสงทำได้ดี และตัวโคมไฟมีขนาดเล็ก หลอดมีอายุใช้งานยาว ในขณะที่ฟลักซ์ส่องสว่างลดลงค่อนข้างน้อยตามอายุใช้งาน

จุดด้อย คือ มีอุณหภูมิสีต่ำประมาณ 2000 K สีของแสงเป็นสีเหลืองทอง ซึ่งมีดัชนีการให้สีค่อนข้างต่ำ (Ra = 25) มีหลอดโซเดียมซึ่งให้แสงสีขาวเหลือง มีอุณหภูมิสี2500 K ดัชนีการให้สีดีขึ้น Ra = 85 แต่ประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำกว่าแบบธรรมดา
การทำงานของหลอดต้องใช้บัลลาสต์และอิกนิเตอร์ แรงดันที่จุดหลอด ประมาณ2.8 – 5 kV รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดโซเดียมความดันไอสูงดูมาตรฐาน IEC 60662

a) b) c)

ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบต่างๆ

a) High pressure sodium lamp, E-elliptical, phosphor coated

b) High pressure sodium lamp, T-tubular

c) High pressure sodium lamp, Double ended

4) หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ มีให้เลือกใช้หลายขนาด ทำงานด้วยไอโซเดียมความดันต่ำ ใช้ก๊าซนีออนและอาร์กอน เพื่อทำหน้าที่ช่วยเมื่อเริ่มจุดหลอด หลอดใช้เวลาตั้งแต่เริ่มจุดจนให้แสงเต็มที่ประมาณ 12 – 15 นาที

จุดเด่น คือ ประสิทธิผลการส่องสว่างมีค่าสูงกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ๆ (150-200 lm/W) ฟลักซ์ส่องสว่างลดลงค่อนข้างน้อยตามอายุใช้งาน

จุดด้อย คือ ให้แสงคลื่นความถี่เดียว สีเหลือง อุณหภูมิสี 1700 K มีค่าดัชนีให้สีแสงต่ำ หลอดมีอายุใช้งานสั้นกว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูง ตัวหลอดที่ส่องสว่างมีขนาดยาว ทำให้การควบคุมการกระจายแสงทำได้ยากและตัวโคมไฟมีขนาดใหญ่

รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ ดูมาตรฐาน IEC 60192

ภาพที่ 2.9 Low pressure sodium lamp, Tubular, IR reflecting coating

5) หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกระทัดรัด (Compact Fluorescent Lamps CFL)

หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกระทัดรัด มีขนาดกระทัดรัด มีให้เลือกใช้หลายขนาด มีกำลังไฟฟ้า และฟลักซ์ส่องสว่างไม่สูง แต่มีประสิทธิผลการส่องสว่างค่อนข้างสูง จึงเหมาะกับการใช้งานบน ถนนที่ไม่ต้องการความส่องสว่างสูง โคมไฟที่ใช้หลอดชนิดนี้จะมีขนาดเล็กและราคาย่อมเยาว์

รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกระทัดรัด ดูมาตรฐาน มอก. 1713- 2548 และ IEC 60901

ภาพที่ 2.10 Compact Fluorescent Lamps CFL

6) หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode LED)

หลอดแอลอีดี เป็นหลอดไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มีให้เลือกใช้หลายขนาด สามารถใช้พัฒนาโคมไฟถนนได้

จุดเด่น หลอดแอลอีดี มีขนาดเล็ก ประสิทธิผลการส่องสว่างมีค่าสูงกว่าหลอดไอปรอทความดัน สูงและมีแนวโน้มที่จะพัฒนาได้สูงขึ้นอีก หลอดแอลอีดีมีการกระจาย ความเข้มส่องสว่างใน ทิศ ทางด้านหน้า จึงเหมาะที่จะพัฒนาใช้กับโคมไฟถนนต่อไป เพราะสามารถออกแบบออปติกส์ให้มี ประสิทธิผลการส่องสว่างของโคมไฟถนนสูงกว่าโคมไฟถนนที่ใช้หลอดชนิดอื่นๆ

จุดด้อย คือ หลอดมีกำลังไฟฟ้าและฟลักซ์ส่องสว่างไม่สูง ต้องประกอบแอลอีดีพร้อมออปติกส์ เป็นลักษณะโมดุล ที่มีการกระจายความเข้มส่องสว่างในทิศทางที่ต้องการ และต้องใช้โมดุลเป็น จำนวนมากต่อโคมไฟถนนแต่ละโคม

ดูมาตรฐาน IEC 62031 และ IEC/PAS 62612

ภาพที่ 2.11 Light Emitting Diodes Lamps

2.5.2 บัลลาสต์ที่ควรเลือกใช้

มีการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นในอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งจ่ายกำลังงานให้หลอดไฟฟ้า บัลลาสต์ทำหน้าที่หลักในการควบคุมกระแส แรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าให้ถูกต้อง บัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดเอชไอดีจะใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนหนึ่งซึ่งเป็นการสูญเสียและปล่อยออกเป็นความร้อน

ประสิทธิภาพของบัลลาสต์มีค่าที่แตกต่างกัน และมีผลมากต่อประสิทธิผลทั้งหมดของระบบหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดเอชไอดีที่ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดเอชไอดี ที่ใช้กับบัลลาสต์แกนเหล็ก

1) บัลลาสต์แกนเหล็ก

บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไปมีลักษณะเป็นโชค (Choke) มีค่าความเหนี่ยวนำตามที่กำหนดตามมาตรฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดในการทำงานของหลอด มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในตัวบัลลาสต์ ซึ่งทำให้ประสิทธิผลของระบบ (หลอดไฟฟ้ารวมบัลลาสต์) ต่ำกว่าประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้า สำหรับหลอดไฟฟ้าที่มีขนาดวัตต์ต่ำ ๆ สามารถเพิ่มประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้ารวมบัลลาสต์ของโคมไฟถนน ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้เกือบ 10 % โดยการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กประหยัดพลังงาน (Low loss)รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของบัลลาสต์แกนเหล็ก ดู IEC 60922 และ IEC60923

รูปที่ 2.12 Ferro – magnetic ballasts

2) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า มีแบบที่ใช้หรี่ไฟเพื่อประหยัดพลังงาน และแบบที่ใช้กับระบบอัจฉริยะในการทำงาน เช่น การควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าและการแสดงผลสภาพการทำงานของหลอดไฟฟ้า เป็นต้น

ปัจจุบัน มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดเอชไอดีอยู่บ้าง แต่ยังมีราคาแพง และผู้ใช้ยังกังวลเรื่องอายุใช้งานและคุณภาพที่กำหนดตามมาตรฐานข้อบังคับรายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ดู มอก 673, IEC61347-2-9 และ IEC 62384

ภาพที่ 2.13 Electronic ballasts

2.5.3 โคมไฟถนนที่ควรเลือกใช้

หลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์ประหยัดพลังงาน เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง แต่แสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าที่กระจายไปในทิศทางต่าง ๆ จะต้องถูกควบคุมให้กระจายไปในทิศทางที่ต้องการส่องสว่าง เพื่อทำให้ทั้งระบบมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงขึ้น ระบบออปติกส์ควบคุมแสงของโคมไฟถนน ประกอบด้วยชิ้นส่วน

1) แผ่นสะท้อนแสง (Reflectors) ทำด้วยแผ่นอะลูมิเนียมที่มีสัมประสิทธิการสะท้อนแสงสูงถึง 85%

2) ฝาครอบที่หักเหแสงหรือกระจายแสง (Refractors)

สมบัติการกระจายแสงของแต่ละระบบออปติกส์สามารถปรับเปลี่ยนได้อีกโดยการปรับตำแหน่งของขั้วหลอดในระบบออปติกส์ การควบคุมให้แสงกระจายไปในทิศทางที่ต้องการ โดยการสะท้อนและหักเหแสง จะทำให้ประสิทธิภาพของโคมไฟถนนลดลง แต่ในการใช้งาน โคมไฟถนนที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีการกระจายแสงไม่เหมาะสมในการส่องสว่างผิวถนน จะทำให้ประสิทธิผลทางพลังงานหรือการประหยัดพลังงานน้อยกว่าโคมไฟถนนที่มีประสิทธิภาพทางแสงต่ำกว่า แต่มีการกระจายแสงเหมาะสมกับถนนที่ติดตั้ง

โคมไฟถนนที่ควรเลือกใช้ ต้องมีรายละเอียด สมบัติเฉพาะตัว คือ ลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนน จะบอกให้ทราบว่า โคมไฟถนนรุ่นนั้น ๆ จัดประเภท เป็นชนิดใด เหมาะกับการติดตั้งใช้งานกับถนนแคบหรือกว้าง ต้องติดตั้งถี่หรือห่างกันอย่างไร และก่อให้เกิดความจ้าตาได้มากน้อยเพียงใด

โคมไฟถนน LED แบบ posttop

โคมไฟถนน LED แบบ postop ปรับมุมได้

โคมไฟถนน HID

ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างโคมไฟถนนชนิดต่างๆ

2.6 การจัดประเภทและสมรรถนะจำเพาะของโคมไฟถนน [2]

2.6.1 การจัดประเภทตาม CIE

การจำแนกโคมไฟถนนตามวิธี CIE ใช้ตัวแปร 3 ตัว คือ Throw, Spread และ Control โดย Throw จะแสดงถึงความสามารถของโคมไฟถนนในการสาดแสงออกห่างจากจุดใต้โคมได้มากน้อยเพียงใด Spread จะแสดงถึงความสามารถของโคมไฟถนนในการกระจายแสงข้ามถนนไปอีกฝั่งหนึ่ง และ Control จะแสดงถึงความสามารถในการควบคุมความจ้าตา Throw, Spread และ Control แบ่งออกเป็น 3 แบบ แต่ละแบบกำหนดได้ด้วยมุม γ_T, มุม γ_S และค่า SLI ตามลำดับ ทั้งนี้ CIE ได้กำหนดเกณฑ์ในการจัดประเภทโคมไฟถนนไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.2 รายละเอียดดู CIE Publ. 34-1977 Road Lighting Lantern and Installation Data-Photometrics, Classification and Performance

ตารางที่ 2.2 การจัดประเภทโคมไฟถนนของ CIE

Throw	γ_T(deg.)	< 60	60-70	> 70
	Type	Short	Intermediate	Long
Spread	γ_S(deg.)	< 45	45-55	> 55
	Type	Narrow	Average	Broad
Control	SLI*	< 2	2-4	> 4
	Type	Limited	Moderate	Tight

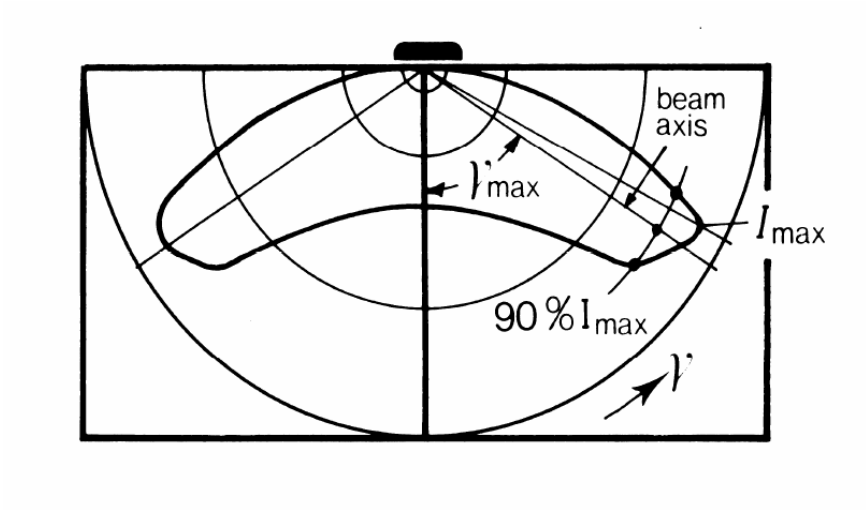
หมายเหตุ

* SLI = 13.84 ─ 3.31log I_{80} +1.3[log(I80 / I88)]0.5 ─ 0.08log(I80 / I88) +1.29log F + C

รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้หาค่า SLI ดูในมาตรฐาน CIE 115

1) Throw

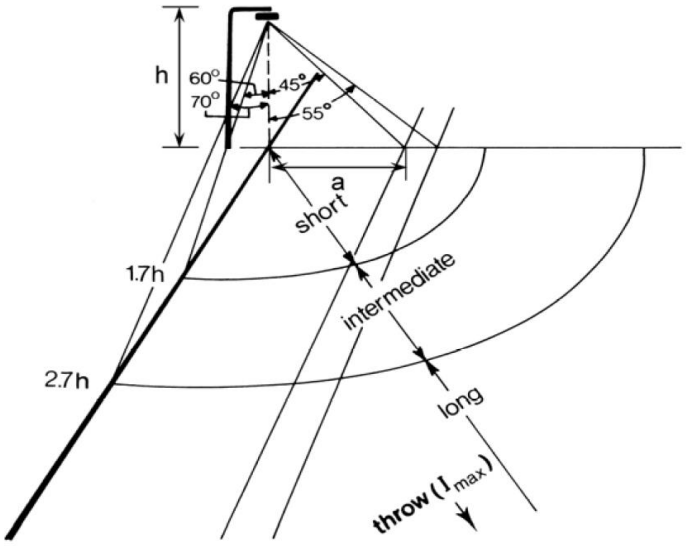
มุม γ_T (Throw angle) หาได้จากกราฟโพลาร์ของการกระจายแสงในระบบ C- γ ที่ผ่านแนวความเข้มส่องสว่าง สูงสุด (Imax) โดยการเฉลี่ยค่ามุม γ ของความเข้มส่องสว่าง 90 % ดังรูปที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การหาค่ามุม γ_T เพื่อใช้ระบุค่า Throw

เมื่อทราบค่ามุม γ_T ก็สามารถระบุชนิดของ Throw ได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.2 สำหรับภาพที่ 2.16 แสดงการแปลงค่ามุม γ_T ซึ่งตรงกันกับอัตราส่วนของระยะบนพื้นถนน เทียบกับความสูงของดวงโคม (a/h) เพื่อใช้แสดงว่า Throw แต่ละชนิดจะปรากฏอยู่บนพื้นถนนส่วนใดรอบๆ จุดตกของโคมไฟถนน

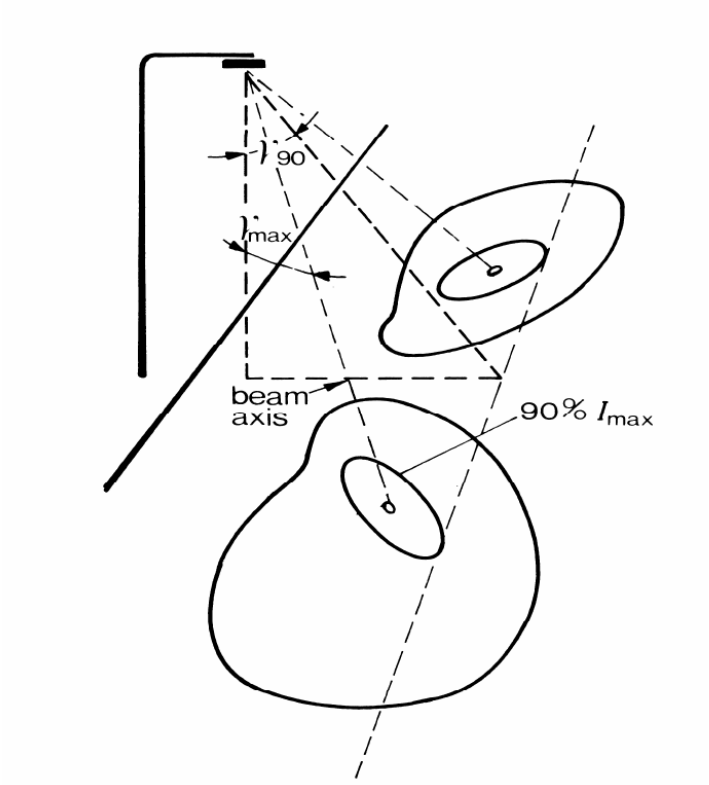
γ_T	a/h
60°	1.73
70°	2.75



ภาพที่ 2.16 การกระจายตัวของ Throw (Imax)บนพื้นถนน

2) Spread

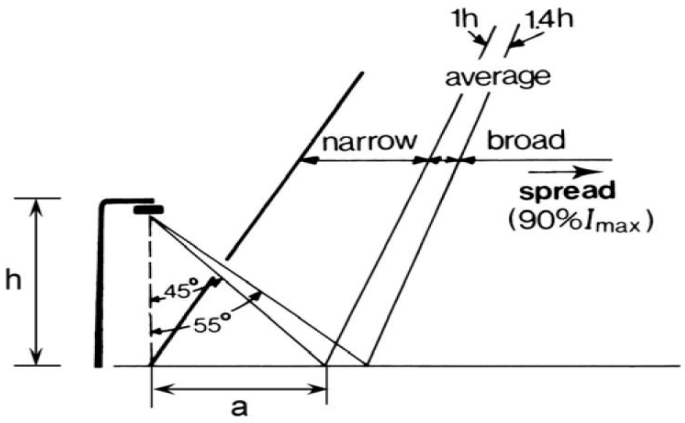
มุม γ_S (Spread angle) หาได้จากมุมบนระนาบดิ่งที่ผ่านโคมไฟถนนและขวางถนนที่เป็นมุมจากแนวดิ่งถึงมุมที่แสดงขอบของเส้นความเข้มส่องสว่างเท่ากัน (Isocandela line) ที่ 90 % ของค่าสูงสุดที่ด้านที่อยู่ห่างจากโคมไฟถนนมากกว่าอีกด้านหนึ่ง ดังรายละเอียดในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 การหาค่ามุม γ_S เพื่อใช้ระบุค่า Spread

เมื่อทราบค่ามุม γ_S ก็สามารถระบุชนิดของ Spread ได้ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.2 สำหรับภาพที่ 2.18 แสดงการแปลงค่ามุม γ_S ซึ่งตรงกันกับอัตราส่วนของระยะบนพื้นถนนเทียบกับความสูงของโคมไฟถนน (a/h) เพื่อใช้แสดงว่า Spread แต่ละชนิดจะปรากฏอยู่บนพื้นถนนส่วนใดบ้าง

γ_S	45°	55°
a/h	1.00	1.40



ภาพที่ 2.18 การกระจายตัวของ Spread บนพื้นถนน

2.6.2 การจัดประเภทของ IESNA

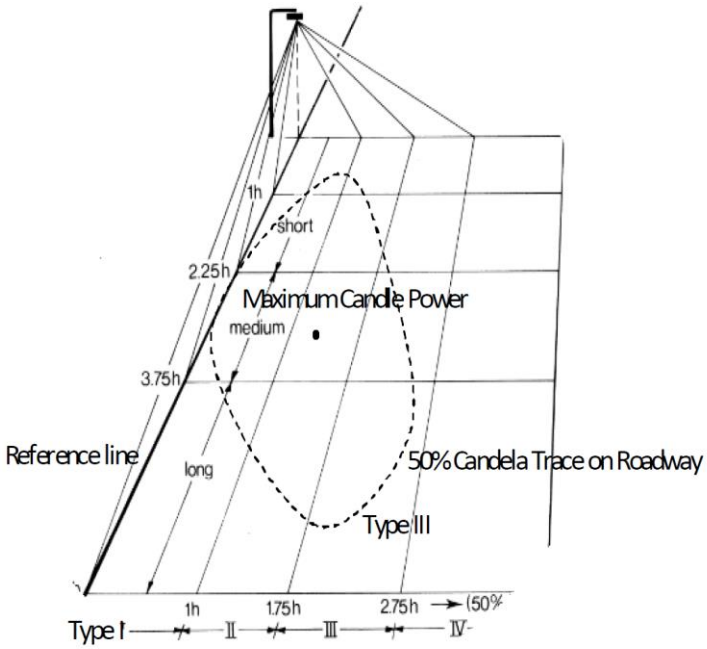
IESNA กำหนดวิธีจำแนกโคมไฟถนนสำหรับส่วนของพื้นที่ประเภท M จากการกระจายความเข้มส่องสว่างบนผิวถนน เป็นแบบที่ส่องไปทางด้านหน้า (Lateral Light Distributionsในที่นี้เรียกว่าชนิดการกระจาย หรือ Type) และด้านข้างแต่ละด้านของตำแหน่งโคมไฟถนน(Vertical Light Distributions ในที่นี้เรียกว่า พิสัยการกระจาย หรือ Distribution range) โดยแบ่งเป็นชนิดการกระจาย (Type) II, III และ IV ซึ่งบอกลักษณะการกระจายแสงไปทางด้านหน้า ข้ามไปยังถนนฝั่งตรงข้าม ในขณะที่ให้พิกัดการกระจายแบบสั้น (S; Short)ปานกลาง (M; Medium) และยาว (L; Long) เป็นตัวชี้บอกแบบที่จุดความเข้มส่องสว่างค่าสูงสุด อยู่บนกริดในบริเวณที่กำหนดโดยระยะบนพื้นถนน เทียบกับความสูงของโคมไฟถนน IESNA กำหนดเกณฑ์ในการจัดประเภทโคมไฟถนนไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การจัดประเภทของโคมไฟถนนของ IESNA

ชนิดการกระจาย	(a/h) MH	≤1.75	≤2.75	> 2.75
	ชนิด	II	III	IV
พิสัยการกระจาย	(a/h) MH	1.0 ถึง 2.25	2.25 ถึง 3.75	3.75 ถึง 6.0
	ชนิด	พิสัยสั้น (Short)	พิสัยปานกลาง (Medium)	พิสัยยาว (Long)
Cutoff	cd ที่มุมสูงกว่า แนวดิ่งลง	90^0: cd = 0 % ลูเมนที่กำหนด 80^0: cd < 10 % ลูเมนที่กำหนด	90^0: cd < 2.5 % ลูเมนที่กำหนด 80^0: cd < 10 % ลูเมนที่กำหนด	90^0: cd < 5 % ลูเมนที่กำหนด 80^0: cd < 20 % ลูเมนที่กำหนด
	ชนิด	Full Cutoff	Cutoff	Semicutoff

ชนิด II , III และ IV เป็นชนิดที่มีการกระจายแสงรอบตัวไม่สมมาตร (Asymmetrical) ในระนาบที่ผ่านแกนในแนวดิ่ง และกระจายออกเป็นมุมกว้างไปทางด้านหน้า เมื่อเส้น 50 %ของความเข้มส่องสว่างค่าสูงสุด อยู่ภายใน เส้น 1.75 MH เส้น 2.75 MH และอยู่เลย เส้น2.75 MH ด้านถนนของเส้นอ้างอิงตามลำดับ (ดูภาพที่ 2.19)

พิกัดการกระจายแสง สั้น ปานกลางและยาว เป็นตัวบอกแบบของพิกัดที่จุดความเข้มส่องสว่างค่าสูงสุด บนกริดบนพื้นถนน ตามแนวเส้นอ้างอิงในระยะ 1.0 - 2.25 MH, 2.25 –3.75 MH และ 3.75 – 6.0 MH ตามลำดับจากเส้นกึ่งกลางของโคมไฟถนน (ดูภาพที่ 2.19)



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างประเภทโคมไฟถนนชนิดการกระจาย (Type) III และพิกัดการกระจาย ปานกลาง (M)

นอกจากชนิดการกระจาย และพิกัดการกระจายแสงแล้ว สมบัติการกระจายความเข้มส่องสว่างในทิศทางของมุมที่สูงกว่ามุม 80° จากแนวดิ่งลง มีผลต่อการเกิด ความจ้าตา มลภาวะทางแสง และประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำ

คำจำกัดความของ Cutoff ขึ้นอยู่กับสมบัติการกระจายแสงในทิศทางมุม 80° และมุม 90° จากแนวดิ่งลง

Full Cutoff เป็นสมบัติการกระจายแสงเมื่อ ค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางมุม 90° และมุม 80° เท่ากับ 0 และน้อยกว่า 10 % ของลูเมนที่กำหนดตามลำดับ

Cutoff เป็นสมบัติการกระจายแสงเมื่อ ค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางมุม 90° และมุม 80° น้อยกว่า 2.5 % และน้อยกว่า 10 % ของลูเมนที่กำหนดตามลำดับ

ส่วน Semicutoff เป็นสมบัติการกระจายแสงเมื่อ ค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางมุม 90° และมุม 80° น้อยกว่า 5 % และน้อยกว่า 20 % ของลูเมนที่กำหนด ตามลำดับ

2.6.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของโคมไฟถนน

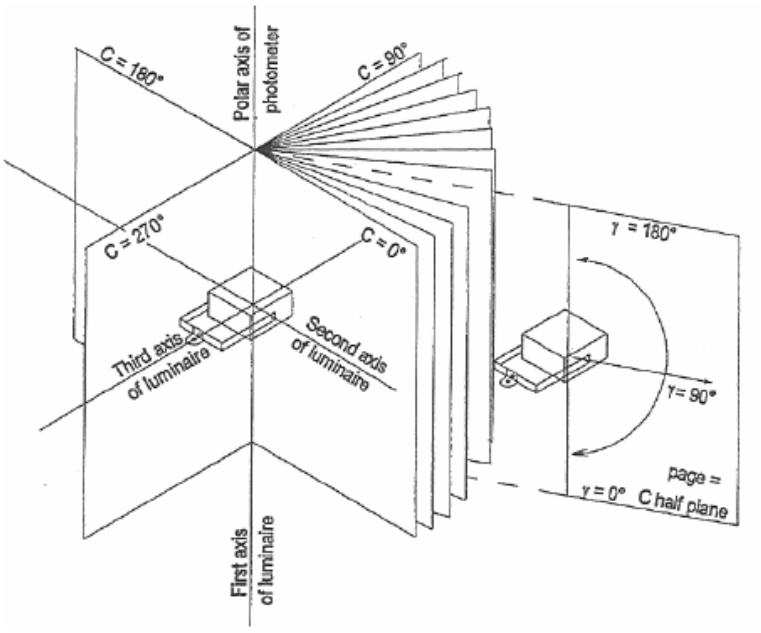
การวิเคราะห์และจัดกลุ่มของโคมไฟถนนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ต้องมีข้อมูลในรูปของไฟล์ข้อมูลการวัดแสง (Photometic Data File) ซึ่งได้จากการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน

มาตรฐาน CIE 121-1996: The Photometry and Goniophotometry of Luminaires ได้กำหนดระบบการวัดข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่าง ของแหล่งกำเนิดแสง เช่น

หลอดไฟฟ้า โคมไฟฟ้า ออกเป็น 3 ระบบ คือ

- ระบบ A-α
- ระบบ B-β
- ระบบ C- γ

ในการวัดการกระจายแสงของโคมไฟถนน จะใช้ระบบ C- γ โดยมีการวางระนาบ C และการวัดมุม γ ในแต่ละระนาบ C ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ระนาบ C0 อยู่ทางด้านขวามือของโคมไฟถนน ด้านหน้าเป็นระนาบ C90 ด้านซ้ายเป็นระนาบ C180 และด้านหลังเป็นระนาบ C270 โดยระนาบ C อยู่ในแนวดิ่งผ่านแกนอ้างอิงของโคมไฟถนน และหมุนทวนเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 2.20 การหันโคมไฟถนน สำหรับ C, γ ในการวัดแสงด้วยโกนิโอโฟโตมิเตอร์

โกนิโอโฟโตมิเตอร์ (Goniophotometer) เป็นเครื่องมือในห้องปฏิบัติการแสงสว่างสำหรับวัดข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน แบบที่นิยมใช้กันมากเป็นแบบกระจกหมุนหรือแบบหมุนโคมไฟถนน

2.6.4 ระดับข้อมูลทางแสงของโคมไฟถนน

ข้อมูลทางแสงของโคมไฟถนน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ตามที่ระบุในมาตรฐาน CIE 34: 1977 Road Lighting Lantern and Installation Data มีดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลพื้นฐานจากการวัดแสงของโคมไฟถนน

- ตารางการกระจายความเข้มการส่องสว่าง (Intensity Distribution Tables)
- แผนภาพความเข้มส่องสว่างเท่ากัน (Iso candela Diagrams)
- แผนภาพโพลา (Polar Diagrams)
- พื้นที่ส่องแสง (Flashed Area)

2) สมรรถนะทางแสงหาได้จากข้อมูลการวัดแสง

- การจัดประเภทโคมไฟถนน (Lantern Classification: Throw, Spread, Control หรือCut off)
- แผนภาพแฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง (UF Diagram)
- แผนภาพแฟกเตอร์ผลได้ความส่องสว่าง (Luminance Yield Factor Diagram)
- แผนภาพความส่องสว่างเท่ากัน (Isolumniance Diagram)
- แผนภาพความสว่างเท่ากัน (Isolux Diagram)

3) ข้อมูลสมรรถนะของระบบส่องสว่างถนน

- ตารางสมรรถนะ (Performance Tables)
- กราฟสมรรถนะ (Performance Graphs)

ข้อมูลระดับ 1. ข้อมูลพื้นฐาน เป็นข้อมูลที่สำคัญที่ต้องวัดในห้องปฏิบัติการทดสอบทางแสง คือข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน เพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลระดับ 2 และระดับ 3 และการนำไปใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนน ทาง CIE และ IES ได้กำหนดความละเอียดของการวัดข้อมูลไว้ โดยกำหนดค่ามุม C และ γ ให้ใช้ในการวัด และมีรายละเอียดของข้อมูลอยู่ในรูปแบบของ EULUMDAT หรือ IES File Format