

บันทึกวิชาการฉบับที่ 6

ไฟฟ้าแสงสว่างถนน
(Roadway Lighting)

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด

คำนำ

บันทึกวิชาการฉบับนี้ เกี่ยวข้องกับการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างถนน (Roadway Lighting) ซึ่งจำเป็นต้องติดตั้งในบริเวณที่อาจเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย เช่น บริเวณทางแยกระดับพื้น ทางแยกต่างระดับ จุดข้ามทางรถไฟ ฯลฯ เพื่อให้เป็นบันทึกฐานสำหรับงานออกแบบของบริษัทฯ ต่อไป นอกจากประโยชน์อื่น ๆ เช่น การจัดเตรียมข้อเสนอโครงการ การจัดเตรียมรายงาน และอื่น ๆ

ที่ต้องย้ำไว้เสมอก็คือ มาตรฐานทางเทคนิค โดยเฉพาะทางวิศวกรรมนั้นเป็นการลอกมาจากต่างประเทศทั้งสิ้น เรียกว่า ลอกมาทั้งดุ้นก็ว่าได้ ส่วนใหญ่ลอกมาจากอเมริกัน ที่เรียกกันว่า 'American Standard' แม้แต่มาตรฐานอุตสาหกรรมไทยก็ตามที่ ส่วนใหญ่ก็มาจาก ASTM หรือ British Standards อาจมี JIS (Japan Industrial Standards) บ้าง การลอกเลียนนั้นจำเป็นต้องกระทำในระยะแรก และเมื่อมีความเข้าใจและมั่นคงในทางเทคนิคนั้น ๆ แล้ว จึงพัฒนามาตรฐานของตัวเองขึ้นมา ซึ่งน่าจะกระทำได้ด้วยสมองของเราเอง โดยไม่ต้องให้ต่างชาติมาชี้แนะ เป็นการเตรียมความพร้อมในด้านศักยภาพด้านความรู้ความสามารถก่อนที่จะสร้างกระแสชาตินิยมในวิชาชีพในเวลาอันสมควร หมายถึง พร้อมแล้วทั้งศักยภาพ ความรู้ ความสามารถมีวินัยและเงินทุนพร้อม เช่นนี้น่าจะเป็นหนทางที่ถูกที่ควรกว่า การไปปลุกกระดมที่เห็นทำ ๆ กันอยู่ โดยไม่ได้ดูศักยภาพของตัวเอง

ฝ่ายวิศวกรรมทางหลวง ตระหนักดีถึงการควบคุมคุณภาพของงานเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ลูกค้าพึงพอใจในผลงาน อย่างไรก็ตาม ผลงานที่มีคุณภาพจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อบุคลากรมีความรอบรู้ในวิชาการเป็นอย่างดีแล้ว มิฉะนั้นแล้วขบวนการควบคุมคุณภาพ (Quality Control Process) ที่เพียรพยายามเท่าไรก็ไม่อาจประสบผลสำเร็จได้

บันทึกวิชาการฉบับที่ 6

ไฟฟ้าแสงสว่าง (Roadway Lighting)

สารบัญ

หน้า

1.	คำนำ	1
2.	องค์ประกอบของการมองเห็น	1
3.	แหล่งกำเนิด	4
4.	โคมไฟ (Luminaires)	8
5.	การจัดวางตำแหน่งไฟฟ้าแสงสว่าง (Development of Lighting Layout)	13
6.	ไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้เสาสูง (High Mast Lighting)	29
7.	อุโมงค์และถนนลอดใต้ (Tunnels and Underpass)	31

สารบัญรูปภาพและตาราง

หน้า

รูปที่ 1	:	การคลุมพื้นที่ถนน (Road Coverage) สำหรับ ประเภทการกระจายแสงของโคมไฟที่แตกต่างกันและ การฉายแสงของการกระจาย ประเภท II	10
รูปที่ 2	:	การกระจายความสว่างในประเภทต่าง ๆ (บริเวณเส้นขีดขวาง เป็นบริเวณกำลังเทียนสูงสุด)	12
รูปที่ 3	:	รูปตัดตามยาวผ่านโคมไฟ ในระนาบของลำแสงซึ่งมีกำลังเทียนสูงสุด ขนานกับเส้นกึ่งกลางถนน	15
รูปที่ 4	:	ตัวอย่างของโค้งสัมประสิทธิ์การใช้ (COEFFICIENT OF UTILIZATION CURVES) สำหรับโคมไฟ การกระจายประเภท III ปานกลาง (MEDIUM)	22
รูปที่ 5	:	แบบอย่างการวางตำแหน่งโคมไฟ	23
รูปที่ 6	:	ตัวอย่าง Isofootcandle Diagram ของ กำลังเทียนในแนวราบ บนผิวถนน สำหรับโคมไฟ ซึ่งกระจายแสงประเภท III ปานกลาง หลอดไฟ 10,000 ลูเมน เมื่อเริ่มต้น ยกเลิกองค์ประกอบการบำรุงรักษาโคมไฟ	26
ตารางที่ 1	:	แสงย้อนเข้าตาจากไฟฟ้าแสงสว่างถนนติดตั้งที่ความสูงต่าง ๆ กัน	3
ตารางที่ 2	:	ขนาดลูเมนและวัตต์ของหลอดไฟใช้กับไฟฟ้าแสงสว่างถนน	6
ตารางที่ 3	:	ความสูงติดตั้งโคมไฟต่ำสุด	11
ตารางที่ 4	:	คำจำกัดความการแยกประเภทถนน	13
ตารางที่ 5	:	คำจำกัดความการแยกประเภทพื้นที่	14
ตารางที่ 6	:	คำแนะนำสำหรับฟุตแรงเทียนแนวราบเฉลี่ย [⊕] ในหน่วยลูเมนต่อตารางฟุต	15

ไฟฟ้าแสงสว่างถนน (Roadway Lighting)

1. คำนำ

ในส่วนนี้กล่าวถึงองค์ประกอบพื้นฐานของการมองเห็นและแสงสว่าง ประเภทและลักษณะสมบัติของหลอดไฟ (Lamps) และโคมไฟ (Luminaires) การจัดตำแหน่ง, แผนผัง และการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่าง และการวัดปริมาณแสงสว่าง

2. องค์ประกอบของการมองเห็น

2.1 วัตถุประสงค์และผลประโยชน์

วัตถุประสงค์หลักของการจัดให้มีไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง เพื่อให้สภาพการมองเห็นในเวลาค่ำคืนมีความสะดวกสบาย มองเห็นได้เร็วและถูกต้อง คุณภาพการมองเห็นจะให้ความปลอดภัยกับผู้ขับขี่ ยวดยานและคนเดินเท้า

2.2 การมองเห็นจากภาพเงา

เมื่อความจ้า (Brightness) ของวัตถุน้อยกว่าพื้นหลัง (Background) การมองเห็นเกิดขึ้นจกภาพเงา (Silhouette) เพื่อช่วยให้การมองเห็นจากภาพเงาจำเป็นต้องให้เกิดความจ้าและความสม่ำเสมอของความจ้ากับผิวทาง ปริมาณแสงสะท้อนหรือความจ้าของผิวทางขึ้นกับความเข้ม และมุมที่แสงตกกระทบจากโคมไฟ และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผิวทาง

2.3 การมองเห็นจากภาพเงากลับ (Discernment by Reverse Silhouette)

ลักษณะการเห็นในข้อนี้เกิดจากความจ้าของวัตถุ มากกว่าพื้นหลังที่อยู่ข้างเคียง ลักษณะเช่นนี้จะประยุกต์กับการมองเห็นวัตถุบนพื้นที่ ซึ่งอยู่ถัดจากถนน ส่วนที่ยื่นออกมาเหนือผิวถนน อาทิเช่น เกาะแบ่งช่องทางและตอม่อ ฯลฯ

2.4 การมองเห็นโดยรายละเอียดของผิว (Discernment by Surface Detail)

การมองเห็นในลักษณะนี้ ขึ้นกับการส่องสว่างโดยตรงทางด้านข้างของวัตถุ จะมองเห็นวัตถุโดยความจำที่แตกต่างกัน หรือสีบนผิวของวัตถุนั้น โดยไม่มีความแตกต่างกับพื้นหลัง ในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น หลักการมองเห็นเกิดจากลักษณะในข้อนี้

2.5 การสะท้อนของผิวทาง (Pavement Surface Reflection)

ได้มีการวัดลักษณะสมบัติการสะท้อนแสงของผิวทางประเภทต่าง ๆ และในสภาพต่าง ๆ จากการวัดดังกล่าวได้พบลักษณะสำคัญ ดังนี้

- 1) ผิวทางที่มีสีอ่อน (Light Tone) จะมีส่วนเสริมสร้างการมองเห็นตัวผิวทางเอง และจะมองเห็นสิ่งกีดขวางจากภาพเงา
- 2) เมื่อผิวทางเปียก การเสริมสภาพการมองเห็นกระทำโดยตำแหน่งของแหล่งแสง ที่อยู่สูงจากผิวทาง ระยะทาง และตามขอบนอกของโค้ง ตำแหน่งของแหล่งแสงไม่จำเป็นต้องให้เสาอยู่บนขอบนอกของทางรถแคบ เช่น ทางขึ้นลงทางด่วน

2.6 ขนาดของวัตถุ

ขนาดของวัตถุและรายละเอียดบ่งชี้ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญของการมองเห็นในเวลาค่าคืน วัตถุที่เป็นจุดอันตรายมีขนาดแตกต่างกัน ตั้งแต่ขนาดของอิฐ จนถึงรถที่จอดอยู่

2.7 เวลาที่มีอยู่สำหรับการมองเห็น (Time Available for Seeing)

องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ เวลาที่มีอยู่สำหรับการรับทราบถึงวัตถุหรือสภาพการจราจร สำหรับผู้ขับขี่องค์ประกอบของเวลาจะลดลงเมื่อพยายามใช้ความเร็วสูงขึ้น องค์ประกอบของเวลาจะเกี่ยวข้องในขอบเขตที่กว้างยิ่งขึ้นเมื่อระดับความส่องสว่างลดลง ถ้าความแปรปรวนของความจำในขอบเขตของการมองเห็นของผู้ขับขี่สูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการมองเห็นจะนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากตาต้องใช้เวลาปรับเปลี่ยนนานขึ้น

2.8 แสงเข้าตา (Glare)

ผลจากแสงเข้าตาจะลดการมองเห็น และเกิดความไม่สบายกับสายตา ได้มีการวัดสภาพการมองเห็นที่ลดลง สำหรับสภาพที่แตกต่างกันไปของแสงเข้าตาจากโคมไฟ, ความจ้าของถนน และความเร็วของยานยนต์

การรบกวนสภาพการมองเห็นจากแสงเข้าตา ขึ้นกับการส่องสว่างที่ตาจากแหล่งแสงเข้าตา, มุมที่ทำกับทิศทางการมองตามแนวนอนและขึ้นกับการกวาดสายตาเทียบกับแหล่งแสงเข้าตา

การรบกวนสภาพการมองเห็นจากแสงเข้าตาลดลง ด้วยการลดความจ้าของโคมไฟ ติดตั้งโคมไฟให้สูงขึ้น และโดยการเพิ่มความจ้าของพื้นหลังที่อยู่ในมุมมองของผู้สังเกตการณ์ ความจ้าของโคมไฟ อาจลดลงได้ด้วยการเพิ่มพื้นที่โคมไฟ และลดความเข้มของแสงที่มุมซึ่งกว้างกว่าที่ต้องการสำหรับความจ้าของผิวทางสูงสุด (Optimum Pavement Brightness) ความจ้าของพื้นหลังเพิ่มขึ้น โดยยกกระดานการส่องสว่าง

ผลของความสูงของโคมไฟต่อแสงเข้าตา แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

แสงย้อนเข้าตาจากไฟฟ้าแสงสว่างถนนติดตั้งที่ความสูงต่าง ๆ กัน

ความสูงของโคมไฟ (ฟุต)	แสงย้อนเข้าตาสัมพัทธ์ (Relative Veiling Glare)
40	1.0
35	1.4
30	1.9
25	2.9
20	5.1
15	10.7

3. แหล่งกำเนิดแสง

3.1 การวัดความเข้ม

ในอุดมคติ การออกแบบติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างควรมีบรรทัดฐานโดยตรงกับผลรวมขององค์ประกอบทั้งบวกและลบ ซึ่งมีผลต่อภาพจริงที่ปรากฏแก่สายตาผู้ขับขี่ เนื่องจากความสัมพันธ์ขององค์ประกอบเหล่านี้ซับซ้อนยุ่งยาก วิธีการออกแบบมาตรฐานจึงแยกองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการออกจากกัน แสงย้อนเข้าตาลดลงโดยการจัดความสูงของโคมไฟให้เหมาะสม และการเลือกประเภทการกระจายแสงของโคมไฟ การส่องสว่างโดยตรงกระทำโดยการติดตั้งแหล่งแสงสว่างให้เหมาะสมกับลักษณะสมบัติทางกายภาพของถนนและส่วนประกอบ (Appurtenances) สำหรับความจำของผิวถนน รวมทั้งความสม่ำเสมอ (Uniformity) กระทำโดยการเลือกขนาดของโคมไฟ ประเภทการกระจายแสง และตำแหน่งติดตั้ง

ความเข้มการส่องสว่างผิวทาง (Pavement Illumination Intensity) วัดในหน่วย ลูเมนต่อตารางฟุต และหน่วยนี้มักเรียกกันโดยทั่วไปว่า ฟุตแรงเทียน (Footcandles) เป็นหน่วยใช้กับรหัสการส่องสว่าง (Illumination Code) เป็นส่วนมาก และเป็นหน่วยในข้อกำหนดพื้นฐานฟุตแรงเทียนตามแนวราบของถนนช่วงหนึ่งที่กำหนดให้ ขึ้นโดยตรงกับองค์ประกอบต่อไปนี้

- 1) ขนาดของหลอดไฟ และประเภท
- 2) การกระจายแสงของโคมไฟ, ความสูงติดตั้ง และตำแหน่งในแนวด้านข้างเพื่อเทียบกับพื้นที่ผิวทาง
- 3) ความกว้างของถนน และ
- 4) ระยะห่างตามแนวยาวของโคมไฟ

3.2 หลอดไฟ (Lamps)

การเลือกขนาดหลอดไฟ, ประเภทและสี ขึ้นกับการพิจารณาหลายประการด้วยกัน นอกจากการกระจายแสงของโคมไฟ การเพิ่มหรือลดขนาดหลอดไฟที่ใช้กับโคมไฟที่กำหนด จะเพิ่มหรือลดกำลังแรงเทียน (Candlepower) การส่องสว่าง ความจำของผิวทางและสิ่งกีดขวาง โดยสัดส่วน โดยปกติจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง เนื่องจากมีความแตกต่างที่สมทบเข้ามากับขนาดของแหล่งแสง เช่น ไส้ของหลอดไฟ (Lamp Filament) หรือประกายจากการปล่อยแก๊ส (Gas Discharge Arc), ผลของอัตราการควบคุมแสงสว่าง และการรวมแสง (Concentration) ที่เกิดจากระบบกระจกของโคมไฟ (Luminaire Optical System) ที่กำหนด อาทิเช่น แผ่นสะท้อนแสง (Reflector) แก้วครอบ (Prismatic Globe) หรือเลนส์

วิธีปฏิบัติโดยทั่วไปและเพื่อความประหยัด จะใช้หลอดไฟขนาดใหญ่และใช้ระยะห่างของโคมไฟสูงสุด เพื่อจัดให้ได้ความสม่ำเสมอของการส่องสว่างและความจำของผิวทางที่ยอมรับได้

ขนาดของหลอดไฟแสดงในหน่วยลูเมน ขณะที่การกินไฟ (Power Consumption) ในหน่วยวัตต์ ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (Electrical Efficiency) ของหลอดไฟ และ Ballast

หลอดไฟโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) หลอดไส้ (Incandescent หรือ Filament) ซึ่งแสงเกิดขึ้นจากการเผาขดลวดจนลุกโชติช่วง และ
- 2) หลอดปล่อยแก๊ส (Gas Discharge) ซึ่งแสงเกิดจากประกายไฟฟ้า (Electric Arc) ผ่านตัวกลางแก๊ส และ/หรือ เกิดจากการกระทำของสาร Phosphors

หลอดไฟอาจทำงาน โดยต่อกันเป็นวงจรอนุกรม (Series) ซึ่งจะกินไฟคงที่ หรือต่อขนาน (Parallel) โดยสอดคล้องกับส่วนประกอบของหลอดไฟ (Lamp Auxiliary) ที่ต้องการตามประเภทของหลอดไฟหรือวงจร ขณะที่วงจรอนุกรมและขนานใช้กับหลอดไฟแบบไส้ แต่หลอดไฟแบบปล่อยแก๊สจะต่อแบบขนาน โดยมี Voltage คงที่

- ก) หลอดไส้ หลอดไส้ใช้มาก่อนในอดีต และก็ยังใช้กันอยู่ สำหรับไฟฟ้าแสงสว่างถนน หลอดไส้มีข้อดีดังนี้
 1. ราคาถูกกว่าหลอด Mercury หรือหลอด Fluorescent
 2. เนื่องจากเป็นแหล่งแสงขนาดเล็ก จึงสามารถใช้ตัวควบคุมแสงได้ดีกว่า
 3. แสงสว่างมีสีสดดีกว่า
 4. มีขนาดให้เลือกมากมาย
 5. ไม่ต้องการส่วนประกอบอุปกรณ์เสริม (Auxiliary Equipment) หรือต้องเดินวงจรยุ่งยาก
 6. ปริมาณแสงที่ปล่อยออกมา หรือการเปิดไฟไม่มีผลมาจากอุณหภูมิ

หลอดไส้มีทั้งประเภทเปลี่ยนเป็นชุด (Group Replacement Type) (อายุ 3,000 ชั่วโมง) และประเภทเปลี่ยนเมื่อไส้ขาด (Burnout Replacement Type) ตารางที่ 2 แสดงหลอดไส้ที่ใช้กับไฟฟ้าแสงสว่างถนน

ตารางที่ 2
ขนาดลูเมนและวัตต์ของหลอดไส้ใช้กับไฟฟ้าแสงสว่างถนน

หลอดต่ออนุกรม				
ขนาดลูเมน เมื่อเริ่มต้น	ขนาดแอมแปร์	ขนาดวัตต์โดยประมาณเมื่อเริ่มต้น		
		อายุ 2,000 ชั่วโมง	อายุ 3,000 ชั่วโมง	
1,000	6.6	63	66	
2,500	6.6	143	148	
4,000	6.6	216	226	
6,000	6.6	316	332	
6,000	20.0	302	316	
10,000	6.6	525	565	
10,000	20.0	515	545	
15,000	20.0	710	750	
หลอดต่อขนาน				
ลูเมน	ลูเมนเริ่มต้นโดยประมาณ		วัตต์	
	อายุ 1,500 ชั่วโมง	อายุ 3,000 ชั่วโมง	อายุ 1,500 ชั่วโมง	อายุ 3,000 ชั่วโมง
1,000	1,180	1,200	85	92
2,500	2,900	2,920	175	189
4,000	4,800	4,950	268	295
6,000	6,900	6,900	370	405
10,000	11,100	10,800	575	620
15,000	15,800	16,000	800	860

- ข) หลอด Fluorescent โคมไฟที่จะใช้กับหลอด Fluorescent ซึ่งมีขนาดยาว 24, 48, 72 และ 96 นิ้ว สำหรับไฟฟ้าแสงสว่างถนน เนื่องจากความยาวและจำนวนหลอดที่ต้องการเพื่อให้ได้ขนาดลูเมน เปรียบเทียบกับหลอดไส้หรือหลอดปรอท โคมไฟจะมีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามแสงสะท้อนจากความจ้าของผิวทางที่ตาผู้ขับขี่มองเห็นจะกว้างกว่าแหล่งแสงประเภทอื่นอยู่หลายเท่า รูปลักษณะดังกล่าวมีคุณค่าพิเศษสำหรับสภาพผิวทางเปียก

นอกจากนี้ แสงย้อนเข้าตาจะค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดประเภทอื่น หลอด Fluorescent ยังมีขนาดของลูเมนต่าง ๆ ให้เลือกใช้ มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตต์ และอายุใช้งานนานกว่า โคมไฟหลอด Fluorescent มีขนาดดังนี้ 3,300, 7,700, 21,800, 43,600 และ 65,400 ลูเมน

ไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณทางลดระดับ, อุโมงค์และสะพาน ซึ่งความสูงติดตั้งต่ำ (น้อยกว่า 20 ฟุต) การเลือกประเภทโคมไฟมีข้อจำกัด ที่ดีที่สุดสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณดังกล่าวคือ การใช้หลอดแบบ Fluorescent การติดตั้งขนานกับคันหิน หรือขวางกับแนวถนน เนื่องจากความสูงของหลอดค่อนข้างต่ำ ดังนั้นระยะห่างค่อนข้างชิดกัน เพื่อให้ความส่องสว่างมีความสม่ำเสมอ อาจจำเป็นต้องใช้ความเข้มต่ำเพื่อลดปัญหาแสงย้อนเข้าตา

- ค) หลอด Sodium - vapour หลอด Sodium ก่อนหน้านี้ใช้กับบริเวณที่จะเกิดอันตรายหรืออุบัติเหตุ เนื่องจากมีแสงสีเหลืองซึ่งจะเป็นการเตือนผู้ขับขี่

4. โคมไฟ (Luminaires)

4.1 ประเภทการกระจายแสง (Types of Distributions)

การประกอบอุปกรณ์กระจกของโคมไฟ ประกอบด้วยผิวสะท้อนแสงภายใน และโดยส่วนมากจะครอบอุปกรณ์แก้ว (Glassware) อุปกรณ์แก้วอาจเป็นตัวกลางกระจายแสง (Diffusing Medium) แต่อาจประกอบด้วยอุปกรณ์แก้วหล่อขึ้นรูป (Prismatic Molding) หน้าที่ของอุปกรณ์กระจกของโคมไฟเพื่อรวบรวมแสงทรงกลมที่กระจายออกจากหลอดไฟ บังคับให้ฉายลงข้างล่างยังมุมที่ต้องการ และปรับรูปให้ได้ลักษณะตามระบอบพื้นราบแนวนอน (คือ ถนน) การประหยัด, ประสิทธิภาพและความสบายในการมองเห็นของโคมไฟสมัยใหม่ เป็นผลมาจากการออกแบบอุปกรณ์ครอบโคมไฟ

รูปแบบการกระจายแสงลงบนผิวทางต้องการในรูปร่างต่าง ๆ กัน เพื่อให้สอดคล้องกับความกว้างถนนและสภาพของแสงสว่างที่แตกต่างกัน รูปแบบการกระจายแสงแยกเป็น 5 ประเภทมาตรฐาน ประเภท I ถึง ประเภท V การกระจายแสงของโคมไฟอาจแยกประเภทโดยเกณฑ์ 3 ประการ คือ

- 1) การกระจายแสงตามแนวตั้ง (Vertical Light Distribution)
- 2) การกระจายแสงออกด้านข้าง (Lateral Light Distribution)
- 3) การควบคุมการกระจายแสงเหนือจากกำลังเทียนสูงสุด

การกระจายแสงตามแนวตั้ง แบ่งตามแนวยาวเป็น แบบสั้น (Short), แบบปานกลาง (Medium) และแบบยาว (Long) ระยะห่างสูงสุดสำหรับแบบสั้นเท่ากับ 4.5 เท่า ของความสูงติดตั้ง แบบปานกลาง เท่ากับ 7.5 เท่า ความสูงติดตั้ง และแบบยาว เท่ากับ 12.0 เท่า ของความสูงติดตั้ง

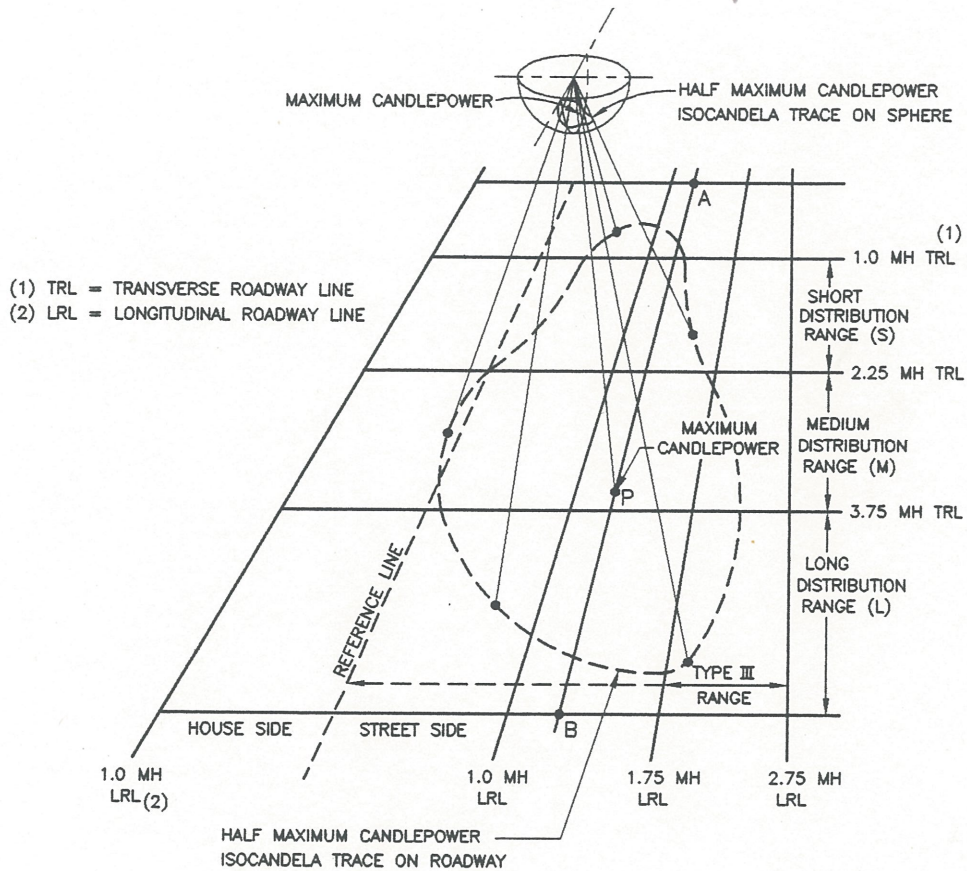
การกระจายแสงที่แท้จริงที่เกิดขึ้นบนผิวถนน แสดงโดย Isofootcandle Curve เส้นโค้งดังกล่าวเหมือนกับเส้นชั้นความสูงของแผนที่ คือเป็นเส้นซึ่งความส่องสว่างเท่ากันบนผิวถนน Isofootcandle จัดเตรียมโดยผู้ผลิตโคมไฟ และจำเป็นต่อผู้ใช้เพื่อตรวจสอบความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

การกระจายประเภท I การกระจายประเภทนี้ ออกแบบเพื่อติดตั้งที่หรือใกล้กับกึ่งกลางถนนตามระยะห่างที่ขยายออกไป ปริมาณของแสงที่ฉายลงออกข้างไปยังคันหินด้านไกล (ด้านถนน) เท่ากับปริมาณแสงฉายลงด้านหลัง (ด้านบ้านเรือน) ระยะทางสูงสุดที่ยินยอมจากโคมไฟไปยังคันหินด้านไกลเท่ากับ หนึ่งในห้าของความสูงติดตั้ง ลำแสงหลักตามแกนยาวขนานกับแนวคันหิน ระยะทางสูงสุดที่ยินยอมขึ้นกับการแบ่งแยกการกระจายตามแนวยาว สำหรับระยะห่างของเสาไกลออกไป จำเป็นที่แสงจะต้องฉายลงด้วยมุมกว้างวัดจากแกนตั้ง มุมกว้างดังกล่าว ทำให้เพิ่มแสงย้อนตา สิ่งที่มาตามาก็คือ ชีตจำกัดความสูงการติดตั้งอยู่ในสภาวะวิกฤตสุดขีด การกระจายประเภท I เกิดขึ้นโดยตัวสะท้อนแบบเปิด (Open Reflectors) โดยใช้หลอดไฟขนาดเล็กและอุปกรณ์แก้วภายใน ซึ่งรองรับหลอดไฟตั้งแต่ 6,000 ลูเมน มีแบบสำหรับติดตั้งบริเวณทางแยก ซึ่งฉายเป็น 4 ลำแสงตัดกัน บางแบบจะฉาย 4 ลำแสงด้วยกำลังเท่ากัน ขณะที่บางแบบจะฉาย 2 แสงหลัก (Two Major) และ 2 แสงรอง (Two Minor)

การกระจายประเภท I นี้ จะใช้กับถนนในบริเวณที่อยู่อาศัยและถนนที่มีการจราจรไม่มากนัก

การกระจายประเภท II โคมไฟประเภทนี้ ลำแสงหลักการส่องสว่างจะฉายด้วยมุมเล็กน้อยลงยังถนน โดยมีรูปกว้างกว่าการกระจายประเภท I โคมไฟประเภทนี้มีหลายลักษณะสำหรับหลอดไฟขนาดต่าง ๆ กัน โดยทั่วไปการกระจายเหมาะสำหรับการติดตั้งโคมไฟที่หรือใกล้ขอบถนน ซึ่งไม่กว้างกว่า 1.75 เท่าของความสูงติดตั้ง โคมไฟประเภทนี้นำไปปรับโดยเฉพาะ เพื่อติดตั้งข้างเดียวบนถนนที่เป็นที่อยู่อาศัย ถนนสองช่องจราจร หรือทางขึ้นลงของทางด่วน อาจใช้ติดตั้งบนทางด่วน 3 ช่องทาง โดยติดตั้งสูง 30 ถึง 40 ฟุต ระยะห่างขึ้นกับประเภทการกระจายตามยาว (Longitudinal Distribution Classification) มีแบบแยกแสง 4 ทิศ ใช้บริเวณทางแยกในบริเวณที่อยู่อาศัย

การกระจายประเภท III โคมไฟประเภทนี้ จะฉายลำแสงลงบนถนน ไกลกว่าโคมไฟประเภท II และมีความเหมาะสมเมื่อติดตั้งแบบเยื้องหรืออยู่ตรงข้าม (Staggered or Opposite Arrangement) สำหรับถนนที่กว้างถึง 2.75 เท่าของความสูงติดตั้ง การฉายแสงครึ่งหนึ่งของกำลังแรงเทียนสูงสุดลงบนถนนสำหรับการกระจายประเภท III แสดงในรูปที่ 1 การกระจายประเภท III เป็นรูปแบบที่ใช้ได้อย่างกว้างขวางและใช้กันมากสำหรับถนนในเมือง โคมไฟสามารถใช้กับหลอดไฟเกือบทุกขนาด



รูปที่ 1 การคลุมพื้นที่ถนน (Roadway Coverage) สำหรับ
ประเภทการกระจายแสงของโคมไฟที่แตกต่างกันและ
การฉายแสงของการกระจาย ประเภท III

การกระจายประเภท IV โคมไฟประเภทนี้ ออกแบบเพื่อเน้นการฉายแสงออกด้านข้าง ซึ่งต้องการสำหรับถนนที่มีความกว้างกว่า 2.75 เท่า ของความสูงติดตั้ง ส่วนใหญ่จะติดตั้งแบบเอียงกัน (Staggered Pattern) บนถนนในย่านธุรกิจ ซึ่งต้องการให้แสงกระจายบนทางเท้าที่อยู่ตรงข้ามกับด้านถนน

การกระจายประเภท V โคมไฟฉายแสงเป็นรูปวงกลม ลักษณะการกระจายแสงแบบนี้จะนำไปใช้บริเวณทางแยก โดยติดตั้งโคมไฟกลาง แยก และยังใช้กับการส่องสว่างในพื้นที่ทั่วไป (General - area Illumination) แต่จะใช้กับการส่องสว่างถนนหรือทางหลวงน้อยที่สุดในจำนวนการกระจายแสง 5 ประเภท ลักษณะการกระจายทั้ง 5 ประเภทแสดงในรูปที่ 2

4.2 การเลือกประเภทการกระจายแสง (Distribution Selection)

เพื่อให้วัตถุประสงค์การออกแบบสำหรับไฟฟ้าแสงสว่าง ดำเนินไปด้วยดีที่สุด จำเป็นต้องเลือกการกระจายแสงของโคมไฟให้เหมาะสมที่สุด การกระจายควรฉายลงด้านล่างเพื่อให้ปริมาณแสงใช้ในการส่องสว่างผิวทางและบริเวณข้างเคียง ประเภทการกระจายแสงที่เลือกใช้ควรเป็นประเภทที่ให้ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง และความจ้าของผิวทางสม่ำเสมอมากที่สุดตามแนวถนนและตลอดความกว้างของถนน โดยมีแสงย้อนเข้าตาน้อยที่สุด

การกระจายแสง โดยมีลำแสงแคบ (Narrow Beam) ลงบนถนน จะใช้ปริมาณแสงของหลอดไฟที่ส่องยังพื้นถนนได้สูง และมีฟุต - คาล์งเทียนเฉลี่ยสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การใช้รูปแบบการกระจายแสงแบบนี้กับถนนแคบอาจเกิดความจ้า โดยมีความสม่ำเสมอไม่ดีนัก โดยมีบริเวณมืดปรากฏ ต่อสายตาผู้ขับขี่ยาวดยาน

การกระจายแสงของโคมไฟควรคลุมผิวทางระหว่างคันหิน และต้องมีแสงสว่างเพียงพอบนพื้นที่ซึ่งเลยจากขอบผิวทาง 10 ถึง 15 ฟุต การส่องสว่างในลักษณะเพื่อให้มองเห็นป้ายจราจร ส่องสว่างทางเท้า และเพื่อให้ผู้ขับขี่ยาวดยานมองเห็นการเคลื่อนไหวของคนเดินเท้า และเพื่อส่องสว่างรถที่จอดอยู่

IES TYPE	LONGITUDINAL CLASSIFICATION		
	SHORT "S"	MEDIUM "M"	LONG "L"
	MAXIMUM SPACING IS 4.5 TIMES MOUNTING HEIGHT	MAXIMUM SPACING IS 7.5 TIMES MOUNTING HEIGHT	MAXIMUM SPACING IS 12.0 TIMES MOUNTING HEIGHT
TYPE I For Streets up to 2.0 Times Mounting Height in Width TYPE I 4-WAY			
TYPE II For Streets up to 1.75 Times Mounting Height in Width TYPE II 4-WAY			
TYPE III For Streets up to 2.75 Times Mounting Height in Width			
TYPE IV For Streets over 2.75 Times Mounting Height in Width			
TYPE V For General Area Lighting			

รูปที่ 2 การกระจายความสว่างในประเภทต่างๆ (บริเวณเส้นขีดขวาง เป็น บริเวณกำลังเทียนสูงสุด)

5. การจัดวางตำแหน่งไฟฟ้าแสงสว่าง (Development of Lighting Layout)

5.1 ระยะห่างโคมไฟ

ระยะห่างของโคมไฟมีผลมาจาก

Length) และแนวเขตที่ดินส่วนบุคคล วิธีปฏิบัติ ที่ยอมรับ คือ การใช้หลอดขนาดใหญ่ โคมไฟติดตั้งห่างและความสูงของโคมไฟสูงขึ้น ซึ่งดีกว่าหลอดขนาดเล็กติดตั้งถี่และอยู่เตี้ย วิธีการแรกจะประหยัดกว่า และจะให้แสงสว่างดีกว่า ทั้งนี้อัตราส่วนระยะห่างต่อความสูงของโคมไฟอยู่ในช่วงการกระจายแสง ซึ่งโคมไฟได้รับการออกแบบและความสม่ำเสมอของการส่องสว่างอยู่ในช่วงยอมรับได้

5.2 ความสูงของโคมไฟและตำแหน่งตามขวาง

ถ้าเพิ่มความสูงของโคมไฟ ระยะห่างของโคมไฟเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน ระยะห่างของโคมไฟที่เพิ่มขึ้นจำเป็นต้องใช้หลอดไฟขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อคงระดับการส่องสว่าง ถ้าโคมไฟอยู่ต่ำ จำเป็นต้องให้ระยะห่างอยู่ชิดกันเพื่อคงสภาพการกระจายแสงที่เหมาะสมไว้

ความสูงต่ำสุดของโคมไฟตามคำแนะนำ แสดงในตารางที่ 3 นิยมการติดตั้งโคมไฟให้สูงกว่านี้

ตารางที่ 3
ความสูงติดตั้งโคมไฟต่ำสุด

กำลังแรงเทียน โคมไฟสูงสุด	การควบคุมเหนือกำลังแรงเทียนสูงสุด		
	Cutoff (ฟุต)	Semi -cutoff [⊕] (ฟุต)	Non - Cutoff [⊕] (ฟุต)
ต่ำกว่า 5,000	20	20	25
ต่ำกว่า 10,000	20	25	30
ต่ำกว่า 15,000	25	30	35
สูงกว่า 15,000	30	35	40

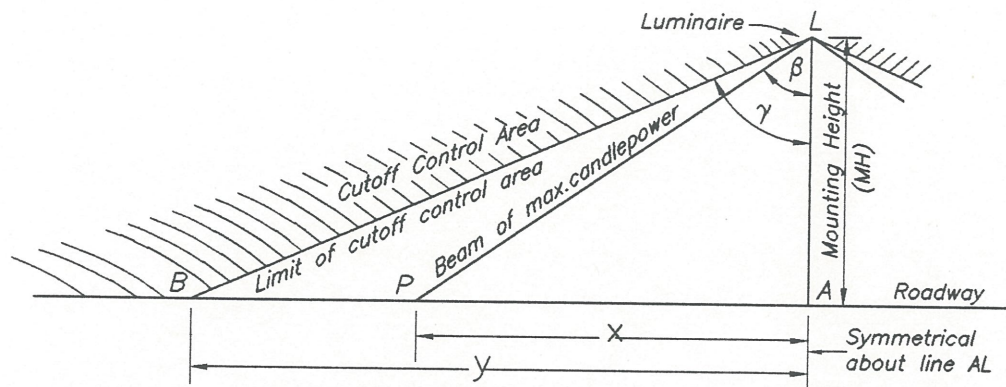
⊕ คำว่า “Cutoff, Semi - cutoff และ Non - cutoff” หมายถึง ปริมาณของกำลังแรงเทียนที่ส่องลงยังพื้นถนนเลยจากระยะทางหนึ่งจากหลอดไฟ ระยะทางดังกล่าวคือ 3.75 MH (Mounting Height) สำหรับการกระจายแบบสั้น (Short) 6.0 MH สำหรับการกระจายแบบปานกลาง (Medium) และ 8.0 MH สำหรับการกระจายแบบยาว (Long) ถ้ากำลังแรงเทียนเลยจากระยะทางตามแกนยาวดังกล่าว ไม่เกินร้อยละ 10 ดวงโคมนั้นเป็นแบบประเภท Cutoff ถ้าไม่เกินร้อยละ 30 เป็นประเภท Semi -cutoff ถ้าไม่มีขีดจำกัด เรียกว่า Non - cutoff

รูปที่ 3 แสดงลักษณะดังกล่าวข้างต้น

ประเภทของการกระจายแสงทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแขวนอยู่เหนือผิวถนน โดยใช้แขนยื่น (Bracket), แขนยื่นจากเสาสูง (Mast Arms) หรือโดยวิธีการอื่น โคมไฟประเภท II, III และ IV ปกติจะติดตั้งอย่างน้อย 3 ฟุต ยื่นจากคันหิน โคมไฟประเภท I และ IV มีความมุ่งหมายสำหรับการติดตั้งใกล้กึ่งกลางของถนนโดยใช้แขนยื่นยาว (Long Bracket) หรือห้อยตรงกลาง (Center Suspension)

5.3 ฟุตแรงเทียนที่ได้รับการแนะนำ

ความเข้มของการส่องสว่างผิวถนนที่ได้รับการแนะนำ ปกติจะแสดงในหน่วย ฟุตแรงเทียนตามแนวราบโดยเฉลี่ย (Average Horizontal Footcandles) และขึ้นกับการแยกประเภทถนนและพื้นที่ American Standard Practice for Roadway Lighting ปี ค.ศ. 1963 ได้ใช้การแยกประเภทถนนเพื่อกำหนดปริมาณการจราจร และการแยกประเภทพื้นที่เพื่อกำหนดความสับสนของคนเดินของคนเดินเท้าและการจอดรถ แสดงในตารางที่ 4 และ 5



Points A, B and P on the roadway correspond to points with same designations in Figure 3 for a Type III Medium light distribution.

Vertical Distribution Class	Range of $\tan b$ (or of x in MH Multiples)	Value of $\tan g$ (or of x in MH Multiples)	Cutoff Category	Proportion of Total Candlepower in Control Area
Short	1.0 - 2.25	3.75	Cutoff	Less than 10%
Medium	2.25 - 3.75	6.0	Semicutoff	10 - 30%
Long	3.75 - 6.0	8.0	Noncutoff	No maximum

รูปที่ 3 รูปตัดตามยาวผ่านโคมไฟ ในระนาบของลำแสงซึ่งมีกำลังเทียนสูงสุดขนานกับเส้นกึ่งกลางถนน

ตารางที่ 4
คำจำกัดความการแยกประเภทถนน

การแยกประเภท	คำจำกัดความ
ถนนสายหลัก (Major)	ระบบถนนประเภทนี้จะเป็นโครงข่ายสำคัญ สำหรับการจราจรผ่านตลอด (Through Traffic Flow) เส้นทางของถนนประเภทนี้จะต่อเชื่อมพื้นที่ ซึ่งก่อกำเนิดปริมาณการจราจร (Traffic Generation) และทางหลวงชนบทสายสำคัญเข้าสู่เมือง
ถนนรวบรวม (Collector)	ถนนกระจายและรวบรวมจะสนองการจราจรระหว่างถนนสายหลักและถนนท้องถิ่น ถนนจะใช้สำหรับการจราจรภายในพื้นที่อยู่อาศัย, ศูนย์การค้าหรือพื้นที่อุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่
ถนนท้องถิ่นหรือสายรอง (Local or Minor)	ถนนประเภทนี้จะใช้สำหรับเข้า - ออกโดยตรงยังพื้นที่อยู่อาศัย, การค้า, อุตสาหกรรมหรือพื้นที่อยู่ติดกัน ไม่รวมถนนที่รองรับการจราจรผ่านตลอด ถนนท้องถิ่นที่มีความยาว โดยปกติจะแบ่งเป็นช่วงสั้น ๆ โดยระบบถนนรวบรวม

ตารางที่ 5
คำจำกัดความการแยกประเภทพื้นที่

การแยกประเภทพื้นที่	คำจำกัดความ
ย่านใจกลางเมือง (Downtown)	เขตเทศบาลที่อยู่ในย่านพัฒนาธุรกิจ ซึ่งโดยปกติจะมีผู้คนเดินเท้าเป็นจำนวนมาก และต้องการที่จอดรถเป็นอย่างยิ่งในช่วงเร่งด่วน หรือมีการเดินเท้า เป็นจำนวนมากตลอดเวลา และความต้องการที่จอดรถนอกถนน (Off - street Parking) อย่างมากต่อเนื่องกันในขณะชั่วโมงทำงานธุรกิจและอุตสาหกรรม คำจำกัดความนี้ยังรวมถึงพื้นที่ซึ่งมีการพัฒนาอุตสาหกรรม และธุรกิจหนาแน่นที่อยู่ข้างนอกและอยู่ภายในส่วนกลางของเขตเทศบาล
บริเวณส่วนกลาง (Intermediate)	ส่วนนี้ซึ่งอยู่ในเขตเทศบาล แต่อยู่นอกเขตใจกลางเมือง แต่โดยทั่วไปจะอยู่ในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของการพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรม มีลักษณะปริมาณคนเดินทางในเวลากลางคืนค่อนข้างมาก แต่ต้องการที่จอดรถน้อยกว่า ในบริเวณกลางเมือง
รอบนอกและชนบท (Outlying and Rural)	เป็นพื้นที่พัฒนาเป็นที่อยู่อาศัย หรือผสมผสานระหว่างที่อยู่อาศัยและการค้า มีลักษณะมีคนเดินเท้าน้อย และความต้องการที่จอดรถน้อย

ความเข้มแสงที่ได้รับการแนะนำสำหรับการผสมผสาน การแยกประเภทถนนและพื้นที่ แสดงใน
ตารางที่ 6

ตารางที่ 6
คำแนะนำสำหรับฟุตแรงเทียนแนวราบเฉลี่ย $\oplus$ ในหน่วยลูเมนต่อตารางฟุต

ถนนต่าง ๆ ยกเว้นทางด่วน			
ประเภทถนน	ประเภทพื้นที่		
	ย่านใจกลางเมือง	บริเวณส่วนกลาง	รอบนอกและชนบท
ถนนสายหลัก	2.0	1.2	0.9
ถนนรวบรวม	1.2	0.9	0.6
ถนนท้องถิ่นหรือสายรอง	0.9	0.6	0.2 (ที่อยู่อาศัย)
ทางด่วน			
การแยกประเภท		ทางด่วน	
ในเมืองต่อเนื่อง		1.4 $\oplus\oplus$	
ชนบทต่อเนื่อง		1.0	
ทางแยกต่างระดับในเมือง		2.0	
ทางแยกต่างระดับในชนบท		1.4	

$\oplus$ ฟุตแรงเทียนแนวราบเฉลี่ยที่แนะนำในตารางที่ 6 แทนความส่องสว่างเฉลี่ยบนผิวถนน เมื่อแหล่งแสงมีกำลังต่ำสุดและเมื่อโคมไฟอยู่ในสภาพสกปรกที่สุด

$\oplus\oplus$ ย่านใจกลางเมืองให้ใช้เท่ากับ 2.0 ฟุตกำลังเทียน
การใช้ตารางที่ 6 จะต้องพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 1) ค่าพุดแรงเทียนในตารางที่ 6 เป็นค่าแนะนำสำหรับความส่องสว่างเฉลี่ย บนผิวจราจร ระหว่างแนวคันหิน สำหรับถนนตรงและราบเรียบ และในพื้นที่ซึ่งมีโค้งและความลาดชันเล็กน้อย
- 2) ค่าพุดแรงเทียนต่ำสุด ที่จุดใด ๆ ก็ตามบนผิวทางไม่ควรต่ำกว่า เศษหนึ่งส่วนสามของค่าเฉลี่ย ในตารางที่ 6 ข้อยกเว้นมีเพียงประการเดียว สำหรับความต้องการที่ประยุกต์ใช้ในพื้นที่อยู่อาศัย ซึ่งค่าพุดแรงเทียนต่ำสุดที่จุดใด ๆ อาจต่ำได้ถึง เศษหนึ่งส่วนหกของค่าเฉลี่ย ในตารางที่ 6
- 3) ในการออกแบบติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง โดยมีพุดแรงเทียนตามที่แนะนำในตารางที่ 6 และให้สอดคล้องกับข้อ 1) ข้างต้น จะต้องมีการบำรุงรักษา ดังนี้
 - ก. แหล่งกำเนิดแสงจะต้องทำงานในกระแสหรือ Voltage ตามอัตรา (Rated Current or Voltage)
 - ข. จะต้องเปลี่ยนหลอดไฟที่เสื่อมคุณภาพเป็นระยะ ๆ
 - ค. ทำความสะอาดโคมไฟเป็นประจำ

เพื่อรักษาระดับดังกล่าว วิธีปฏิบัติ บำรุงรักษาควรจะต้องอย่างน้อยให้เท่ากับที่สมมุติ ในการออกแบบการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง

กำลังหลอดไฟเมื่อถึงเวลาเปลี่ยน พิจารณาจากข้อมูลพิมพ์เผยแพร่โดยผู้ผลิตหลอดไฟ องค์ประกอบการบำรุงรักษาโคมไฟ แปรเปลี่ยนตามสภาพท้องถิ่นและปริมาณจราจร การทดสอบพบว่า โคมไฟใช้บนทางด่วนที่มีปริมาณการจราจรสูงมาก ปริมาณแสงอาจลดลงได้ถึงร้อยละ 20 ในเวลาเพียง 6 เดือน และประมาณร้อยละ 5 ในระยะเวลาเดียวกันบนถนนในที่อยู่อาศัย หรือทางหลวงรอบนอก (Outlying Highways) บนถนนในใจกลางเมืองพบว่าปริมาณแสงลดลงร้อยละ 10 เมื่อสิ้นสุดเดือนที่ 6 ถ้าระยะเวลาทำความสะอาดเนิ่นนานออกไป ปริมาณแสงจะยิ่งลดลงไปอีก การพิจารณาองค์ประกอบการบำรุงรักษาโคมไฟที่เหมาะสม จะต้องใช้ดุลพินิจทางวิศวกรรม (Engineering Judgement)

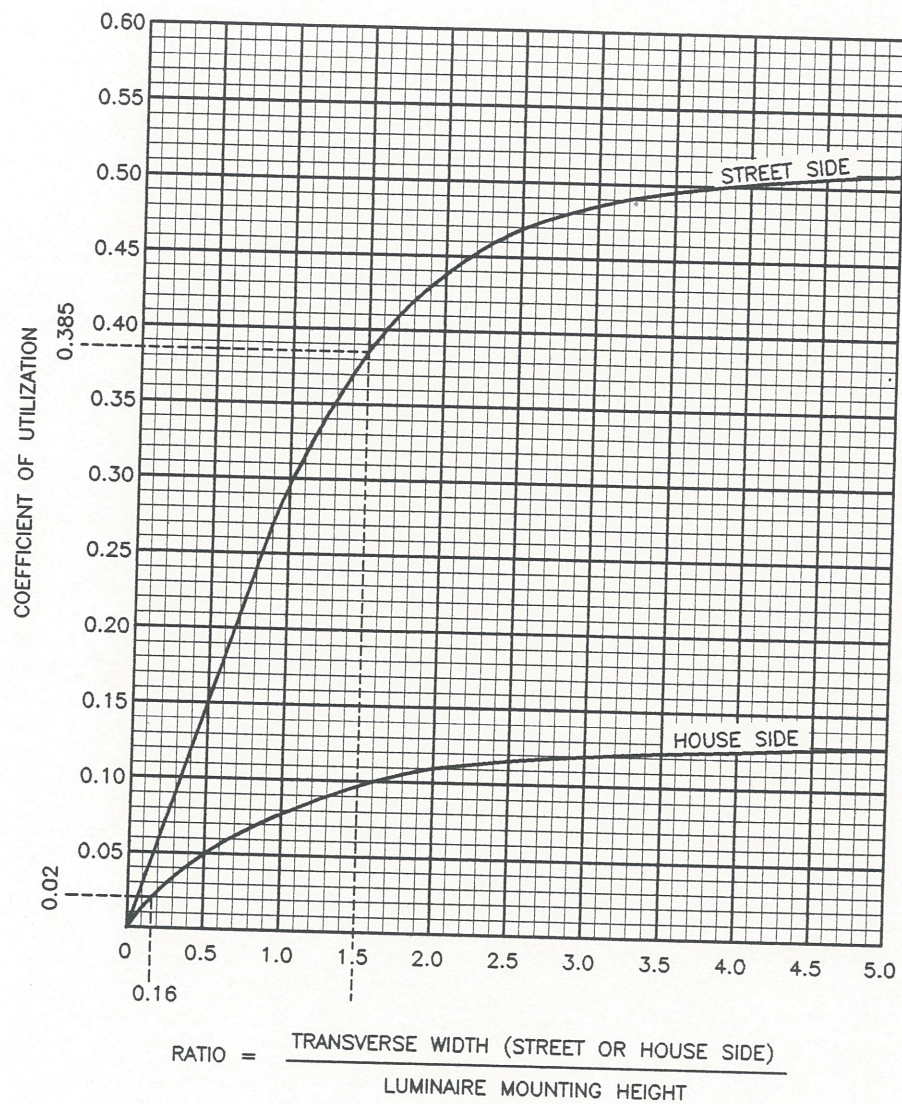
- 4) ความจ้าของผิวทางสำหรับการมองเห็นโดยภาพเงา ขึ้นกับลักษณะสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน ค่าที่แสดงในตารางที่ 6 มาจากพื้นฐานการสะท้อนแสงของผิวทางอยู่ในระดับร้อยละ 10 สำหรับสภาพถนนและการจราจรซึ่งการมองเห็นโดยภาพเงามีความสำคัญ จะต้องเผื่อสำหรับการสะท้อนแสงของผิวทาง ซึ่งแตกต่างจากสภาพที่เหมาะสมสมมุติในตาราง เมื่อการสะท้อนแสงไม่ดี (Poor) คืออยู่ในระดับต่ำกว่าร้อยละ 3 ค่าแนะนำการส่องสว่างควรเพิ่มอีกอย่างน้อยร้อยละ 50 โดยทั่วไปการปรับแก้ดังกล่าวจะประยุกต์กับถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย และบริเวณที่ค่าการส่องสว่างที่ได้รับการแนะนำ น้อยกว่า 0.8 ฟุตแรงเทียนบนถนนซึ่งปริมาณการจราจรหนาแน่นและได้รับการแนะนำให้ใช้การส่องสว่าง 1.0 ฟุตแรงเทียน หรือมากกว่า การมองเห็น จะขึ้นกับรายละเอียดของผิว และโดยเหตุดังกล่าวการปรับแก้สำหรับการสะท้อนแสงของผิวมีความสำคัญน้อยลง
- 5) สภาพการมองเห็นบริเวณทางเท้าและพื้นที่ข้างถนน ถัดจากผิวทางควรได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ ในขณะจัดเตรียมและเลือกโคมไฟ ปกติระบบแสงสว่างจะให้ความส่องสว่างตามที่ได้รับการแนะนำ รวมทั้งการส่องสว่าง บริเวณพื้นที่ข้างเคียงด้วย
- 6) พื้นที่ถนนบริเวณที่การจราจรตัดกัน (Intersecting), รวมกัน (Converging) และแยกกัน (Diverging) ในระดับพื้น (At grade) ต้องการความส่องสว่าง มากกว่าที่แนะนำในตารางที่ 6 สำหรับถนนที่มาบรรจบ (Approaching Streets) ความส่องสว่างในบริเวณนี้ อย่างน้อยควรเท่ากับผลรวมของค่าความส่องสว่าง จัดให้สำหรับถนนที่มาบรรจบเป็นบริเวณดังกล่าว
- 7) ภายใต้อสภาพปริมาณการจราจรหนาแน่น ป้อยครั้งจำเป็นต้องมองเห็นวัตถุ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะ ซึ่งยื่นออกมาต่อพื้นหลังที่เป็นการจราจรเคลื่อนไหว ในลักษณะเช่นนี้ต้องการระดับความส่องสว่างและความสม่ำเสมอสูง ในบริเวณซึ่งการมองเห็นโดยภาพเงาถูกขัดขวางโดยสภาพ เช่น รถเลี้ยวหรือหนาแน่น จะต้องจัดแสงสว่างให้เพียงพอสำหรับการมองเห็นโดยรายละเอียดที่ผิว

5.4 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Design of Lighting System)

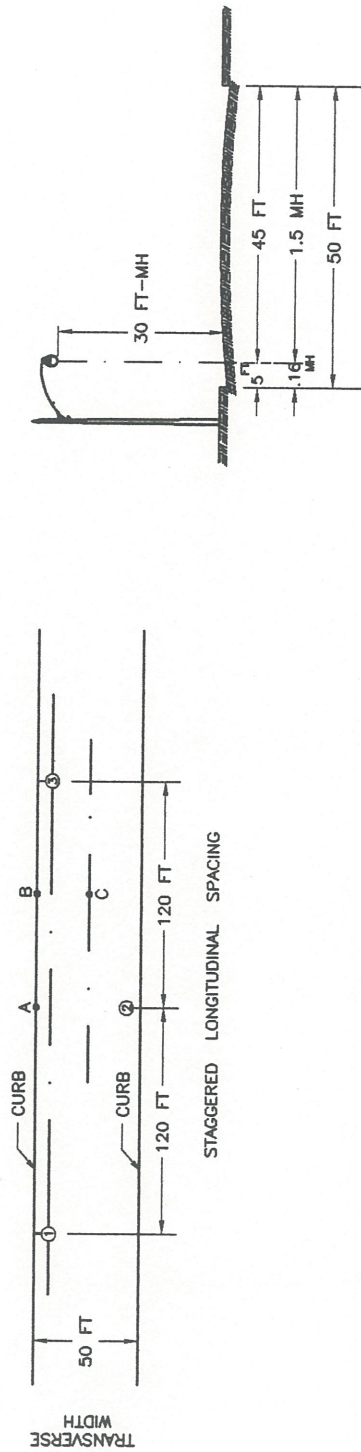
แผนภูมิประสิทธิภาพการใช้ (Utilization Efficiency Chart) สำหรับประเภทของโคมไฟและผู้ผลิตต่าง ๆ (ได้มาจากผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างถนน) เป็นวิธีการในด้านปฏิบัติ สำหรับพิจารณา ความเข้มฟลูตแรงเทียนเฉลี่ยบนผิวถนน ซึ่งทราบหรือสมมติขนาดลูเมนของหลอดไฟ, ความสูงติดตั้ง ความกว้างของพื้นที่ผิวทาง และระยะห่างของโคมไฟ ในทางกลับกันระยะห่างที่ต้องการหรือองค์ประกอบที่ไม่ทราบอื่น ๆ อาจพิจารณาโดยแล้วเสร็จถ้าองค์ประกอบอื่นถูกกำหนดมา **รูปที่ 4** แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการใช้งานของโคมไฟ ประเภท III ปานกลาง (Medium) และ**รูปที่ 5** แสดงจากจัดตำแหน่งโคมไฟ

วิธีการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) แยกประเภทภาระของเส้นทางที่กำลังทำการศึกษ โดยสอดคล้องกับคำจำกัดความในตารางที่ 4
- 2) แยกประเภทพื้นที่ โดยพิจารณาการใช้พื้นที่ติดถนน โดยสอดคล้องกับคำจำกัดความในตารางที่ 5 มีกรณีเป็นจำนวนมาก ซึ่งการใช้พื้นที่แตกต่างกันมากตามเส้นทาง ซึ่งอาจจำเป็นต้องให้ระดับความเข้มแตกต่างกันไป
- 3) เมื่อได้แยกประเภทแล้ว ให้เลือกฟลูตแรงเทียนตามแนวราบต่ำสุดจากตารางที่ 6
- 4) ถ้าความเข้มที่ต้องการต่ำกว่า 0.8 ฟลูตแรงเทียน ให้ตรวจสอบประเภทผิวทาง ถ้าเป็นผิว Asphaltic Concrete จะต้องเพิ่มความเข้มอีกร้อยละ 50
- 5) ถ้าจะใช้เสาที่มีอยู่ในปัจจุบันข้างเดียวหรือสองข้างของถนน ให้วัดระยะห่างโดยเฉลี่ยของเสาดังกล่าว ถ้าจะติดตั้งเสาใหม่และถนนประกอบด้วย ความยาวช่วงถนนสม่ำเสมอต่อเนื่องกัน (Series of Uniform Block Length) พิจารณาระยะดังกล่าว ระหว่างจุดที่อยู่ใกล้กันไปยังแนวคันหินของแต่ละทางแยกที่จะติดตั้งเสาได้ สำหรับงานในเมือง ระยะดังกล่าวจะเป็นระยะของเขตที่ดิน สำหรับการจัดแบบเยื้อง ระยะห่างสุดท้ายจะเป็นตัวคูณของเลขคี่ของระยะทางที่มีอยู่



รูปที่ 4 ตัวอย่างของโค้งสัมประสิทธิ์การใช้ (COEFFICIENT OF UTILIZATION CURVES) สำหรับโคมไฟ การกระจายประเภท III ปานกลาง (MEDIUM)



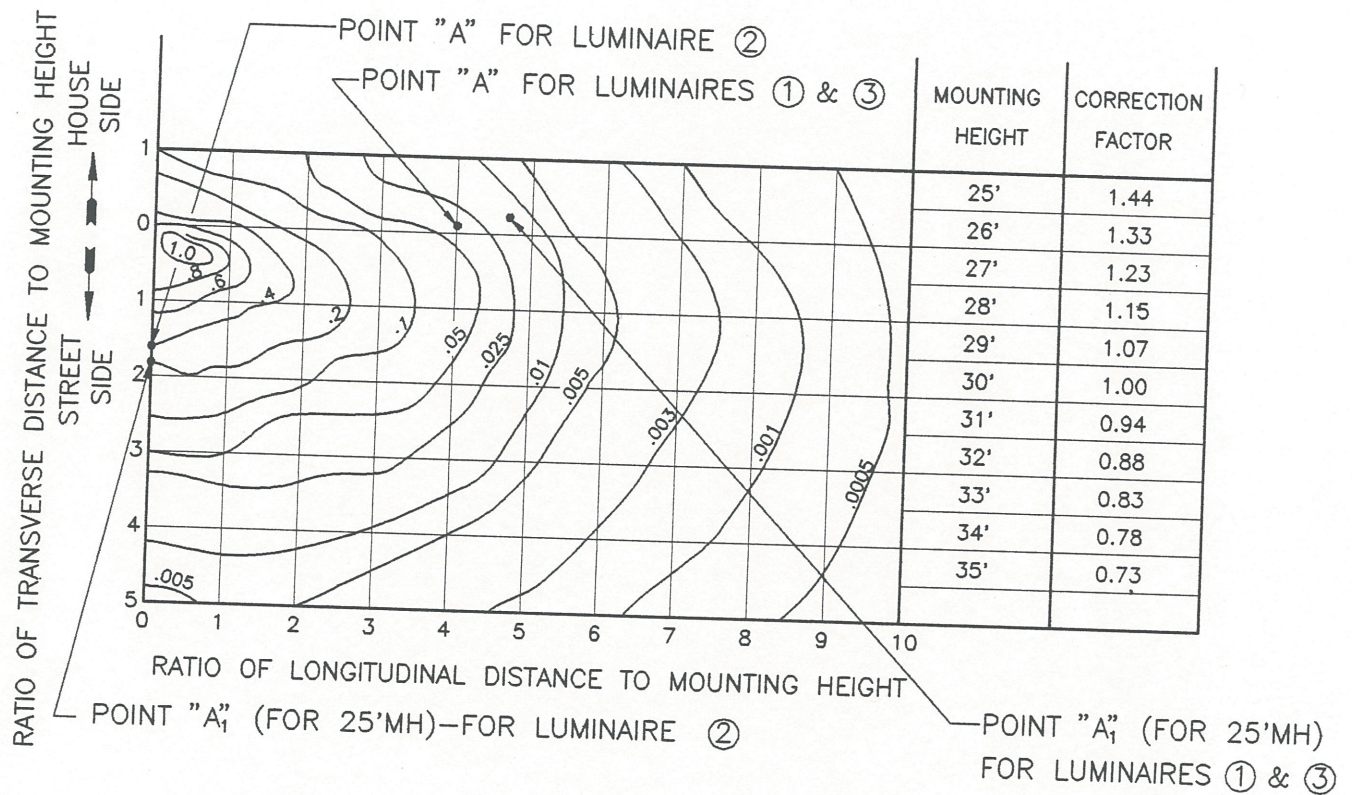
รูปที่ 5 แบบอย่างการวางตำแหน่งโคมไฟ

- 6) พิจารณาความกว้างถนนและเลือกประเภทการกระจายที่เหมาะสม ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในเรื่องโคมไฟ
- 7) สมมติขนาดของหลอดไฟที่เหมาะสมกับประเภทการกระจาย และความเข้มที่ต้องการ และถ้ากระทำการระยะห่างที่น่าจะเป็นไปได้ (Probable Spacing) ขั้นตอนนี้อาจครั้งเป็นแบบลองดูหลาย ๆ ทางเลือกที่ปฏิบัติได้ ปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มักมองข้ามบ่อย ๆ ควรนำมาพิจารณาในการเลือกขนาดของหลอดไฟ
- 8) จากตารางที่ 3 พิจารณาความสูงติดตั้งที่เหมาะสม ในหน่วยกำลังแรงเทียนสูงสุด และการควบคุมโคมไฟ
- 9) จากแผนภูมิการใช้ที่เหมาะสม คำนวณการใช้เป็นร้อยละ โดยที่โคมไฟที่เลือกมีความสูงติดตั้งตามที่ต้องการสำหรับความกว้างของถนนที่กำลังทำการศึกษา การพิจารณาใช้ส่วนยื่น (Overhang) มากกว่าร้อยละ 10 ของความสูงติดตั้ง ให้รวมองค์ประกอบด้านบ้านเรือนด้วย (House Side Factor)
- 10) สมมติองค์ประกอบการบำรุงรักษาโคมไฟอยู่ในช่วงร้อยละ 60 ถึง 90 องค์ประกอบข้อนี้สูงสุด เมื่อมีกำหนดการ (Schedule) ทำความสะอาดอุปกรณ์แก้วบ่อย ๆ ครั้ง ถ้าทำความสะอาดน้อยหรือไม่ทำเลย จะต้องลดองค์ประกอบการบำรุงรักษาเพื่อชดเชยสำหรับองค์ประกอบที่สำคัญมากด้านความสกปรก และแสงที่สะสมในโคมไฟ
- 11) เลือกจุดสิ้นสุดของหลอดไฟที่เลือก หลอด Fluorescent ควรแก้อุณหภูมิด้วย
- 12) ประยุกต์ตัวคูณที่เหมาะสมที่ใช้กับสมการต่อไปนี้ และหาผลลัพธ์ตัวไม่ทราบค่าที่ต้องการ เช่น ลูเมนของหลอดไฟ ถ้ากำหนดระยะห่างของโคมไฟ หรือระยะห่างเมื่อกำหนดขนาดของหลอดไฟ เป็นต้น

Hfc	=	$\frac{L \times U \times F \times M \times F}{S \times W}$
โดยที่ Hfc	=	ฟุตแรงเทียนแนวราบ
L	=	ลูเมนของหลอดไฟ
UF	=	องค์ประกอบการใช้
MF	=	องค์ประกอบการรักษา
S	=	ระยะห่างของโคมไฟวัดตามแนวกิ่งกลางถนน
W	=	ความกว้างถนน

- 13) ถ้าสมการใช้หามลัพท์คือ ขนาดของหลอดไฟ ให้เลือกขนาดที่ใกล้กับหลอดมาตรฐานที่มีอยู่ ถ้าขนาดหลอดที่คำนวณได้ใหญ่กว่าหลอดมาตรฐานเกินกว่าร้อยละ 10 ให้เลือกขนาดถัดไป และหามลัพท์จากสมการ สำหรับฟุตแรงเทียนสุดท้าย หรือระยะห่าง
- 14) จากระยะห่างและฟุตแรงเทียนที่คำนวณได้ ตรวจสอบความสม่ำเสมอของการส่องสว่างบนผิวทาง จุดที่มีความเข้มต่ำสุด ปกติจะอยู่ที่บริเวณกิ่งกลางระหว่างโคมไฟ ที่แนวคันหินหรือเส้นกิ่งกลางของถนน บนถนนที่กว้างซึ่งใช้ระยะห่างเยื้อง (Staggered Spacing) จุดที่มีความเข้มต่ำจะอยู่ตรงข้ามกับโคมไฟ ความเข้มของการส่องสว่างที่จุดความเข้มต่ำ พิจารณาโดยการประยุกต์อัตราส่วนระยะทางด้านข้างและตามยาวที่เหมาะสมต่อความสูงโคมไฟลงใน Isofootcandle Curve ที่เหมาะสมกัน ตัวอย่างของ Isofootcandle Curve และวิธีการใช้แสดงใน **รูปที่ 6** ตัวอย่างที่แสดงอ้างถึงจุดที่แสดงในรูปที่ 3 ให้สังเกต ว่าค่าที่ได้จาก Curve ดังกล่าว จะต้องทำการปรับแก้สำหรับความสูงโคมไฟ หรือขนาดหลอดไฟที่แตกต่างกันไปจากหลอดที่ใช้

การส่องสว่างสุทธิที่ลงยังจุดที่สงสัยต่ำสุด จากโคมไฟทั้งหมดที่อยู่ใกล้เคียง คุณด้วยองค์ประกอบการรักษาและหลอดไฟเป็นร้อยละหารให้เป็นค่าฟุตแรงเทียนตามแนวราบคำนวณเฉลี่ยสำหรับถนนนั้น แต่สำหรับเส้นทางที่มีปริมาณการจราจรน้อย อัตราส่วนค่าต่ำสุดต่อค่าเฉลี่ยต้องไม่เกิน 1 ต่อ 3 สำหรับเส้นทางจราจรสายรองและถนนบริเวณที่อยู่อาศัย อนุญาตให้ใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่าง Isofootcandle Diagram ของ กำลังเทียนในแนวนราบ บนผิวถนน สำหรับโคมไฟ ซึ่งกระจายแสงประเภท III ปานกลาง หลอดไฟ 10,000 ลูเมน เมื่อเริ่มต้น ยกเลิกองค์ประกอบการบำรุงรักษาโคมไฟ

ความสม่ำเสมอของการส่องสว่างผิวทาง สัมพันธ์กับอัตราส่วนระยะห่าง และความสูงติดตั้ง (ทั้งด้านข้างและด้านยาว) และประเภทการกระจายแสงของโคมไฟ กล่าวโดยทั่วไป อัตราส่วนความสม่ำเสมอที่สูงเกินไป ลดโดยลดระยะห่างตามแกนยาว และใช้หลอดไฟขนาดเล็ก ถ้าความสม่ำเสมอดีมาก (อัตราส่วนเข้าใกล้ 1:1) การจัดรูป ไฟฟ้าแสงสว่างถนนที่ประหยัด กระทำโดยการเพิ่มระยะห่างและเพิ่มขนาดหลอดไฟ ความสม่ำเสมอที่อยู่ในช่วง 1 ต่อ 2 และ 1 ต่อ 2.5 จะมีลักษณะที่ดีมาก และค่าใช้จ่ายอยู่ระดับปานกลาง ควรใช้ความพยายาม ให้ความสม่ำเสมออยู่ในช่วงดังกล่าว

5.5 ตำแหน่งโคมไฟ (Luminaire Positioning)

ผู้ขับขี่ไม่ได้มองเห็นฟุตแรงเทียนตามแนวราบ แต่จะเห็นโดยแสงสะท้อนจากวัตถุหรือจากภาพเงา ตำแหน่งของโคมไฟที่จะฉายแสงด้วยมุมที่ถูกต้อง สำหรับสภาพการมองเห็นอย่างสมบูรณ์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่ยากมาก ดังนั้นจึงได้กำหนดหลักการวางตำแหน่งที่ง่าย และดำเนินการให้สอดคล้องกับมาตรฐานดังกล่าวจะให้ผลอันเป็นที่น่าพึงพอใจ

ทางแยก บริเวณทางแยกต้องการการส่องสว่างมากกว่า เนื่องจากการสัญจรไปมาของ ยวดยานและคนเดินเท้ามีความซับซ้อนมากขึ้น สำหรับทางแยกถนนในเมือง ไม่ว่าจะเป็นแยกตัดกันเป็นมุมฉาก ตัดกันทแยง แยกรูปตัว T หรือตัว Y การส่องสว่างอย่างน้อยควรเท่ากับผลรวมของค่าการส่องสว่างที่ได้รับการแนะนำสำหรับถนนที่มารวมกันเป็นทางแยก สำหรับทางแยกรวม (Compound Intersection) ควรทำการศึกษาโดยละเอียด ปริมาณการจราจรทั้งรถและคนเดินเท้า ในทุกกรณีโคมไฟควรอยู่ในตำแหน่งเพื่อให้มองเห็นสิ่งกีดขวางและทางเท้าคนเดินเท้าได้ชัดเจน

บริเวณทางแยกบนทางหลวง โคมไฟควรติดตั้งในตำแหน่งซึ่งพื้นที่สะท้อน จะแสดงถนนเต็มรูปแบบการวางรูปและเครื่องหมายจราจร ได้อย่างชัดเจน โคมไฟฟ้าที่อยู่ตำแหน่งเช่นนั้น จะแสดงสภาพการมองเห็นโดยภาพเงาของการปรากฏและเคลื่อนไหวของยวดยาน และคนเดินเท้า สภาพผิวถนนเปียกจะลดความกว้างผิวทางสะท้อนแสง และจะต้องพิจารณากำหนดและเลือกโคมไฟ

จุดข้ามทางรถไฟ (Railroad Grade Crossing) จุดข้ามทางรถไฟจะต้องมีแสงสว่างเพียงพอ ความสนใจและความสำนึกของผู้ขับขี่ถึงอันตรายมีความสำคัญเท่ากับการมองเห็นขบวนรถไฟ ถ้าไม่มีไฟฟ้าแสงสว่างบนถนนหรือทางหลวง แนะนำให้ติดตั้งโคมไฟ 2 ดวง โดยมีขนาดหลอดไฟเพียงพอ ระยะทางระหว่างโคมไฟถึงรางด้านนอก (Outside Track) ไม่ควรจะน้อยกว่า 75 ฟุต ในบริเวณที่ถนนมีไฟฟ้าแสงสว่างแล้ว โคมไฟที่อยู่ถัดจากจุดข้ามควรมีขนาดหลอดไฟใหญ่กว่าที่ใช้กับถนน อย่างน้อย 1 ขนาด หรืออาจติดตั้งเพิ่ม อาจใช้สีของแสงเพื่อให้ใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

ซอย (Alley) ซอยถือเป็นทางสาธารณะเพื่อให้เข้า - ออก ยังพื้นที่หรืออาคารและไม่ได้ใช้สำหรับการหมุนเวียนของการจราจรโดยทั่วไป

จากประสบการณ์พบว่า ซอยที่มีการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างจะไม่เกิดอาชญากรรม ซอยควรมีแสงสว่างเพียงพอเพื่อการตรวจตราของเจ้าหน้าที่ตำรวจ โดยเฉพาะในพื้นที่ใจกลางเมือง โดยทั่วไปไฟฟ้าแสงสว่างดังกล่าวควรสอดคล้องกับปริมาณการจราจร ในพื้นที่อยู่อาศัย ซึ่งปริมาณคนเดินเท้าและจักรยานมีน้อย แนะนำให้ใช้อย่างน้อยโคมไฟขนาด 2,500 ลูเมน โดยมีระยะห่างไม่เกิน 200 ฟุต

สะพาน สะพานข้ามและสะพานยาว (Bridges, Overpasses and Viaducts) ระดับการส่องสว่างสำหรับโครงสร้างดังกล่าว อย่างน้อยควรเท่ากับค่าแนะนำสำหรับถนนและทางหลวงที่รับปริมาณการจราจรเท่าเทียมกัน ถ้ามีทางข้ามซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ได้รับไฟฟ้าแสงสว่าง จากการติดตั้งในถนน ให้จัดให้มีโคมไฟเพิ่มเติม

ส่วนบรรจบกับสะพานและสะพานข้าม รวมทั้งสะพานยาว จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ โดยเฉพาะบริเวณซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของถนนหรือทางหลวง ระดับคันหิน หรือตอม่ออยู่ในตำแหน่งที่เกิดอันตรายได้

ถนนยกระดับหรือลดระดับ (Elevated or Depressed Roadways) โคมไฟควรอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อชี้ตำแหน่งของคันหิน โค้งของถนน หรือ ความกว้างที่เปลี่ยนแปลง ทางเชื่อมสำหรับออกและเข้าจะต้องให้ความสนใจ โดยเฉพาะสำหรับตำแหน่งโคมไฟและอาจต้องการส่องสว่างมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของถนน

ทางลอดและอุโมงค์ (Underpass and Tunnels) ทางลอดและอุโมงค์จะต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ ทั้งนี้ขึ้นกับความยาวของถนนและสภาพท้องถิ่น ไฟฟ้าแสงสว่างต้องการทั้งกลางวันและกลางคืน สำหรับในเวลากลางวันบริเวณทางเข้าต้องมีระบบไฟฟ้าแสงสว่างเสริม (Supplementary Lighting System) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันระหว่างความสว่างในเวลากลางวันขนาดพุดแรงเทียนหลายพัน และในอุโมงค์ขนาดพุดแรงเทียนไม่มากนัก การเปลี่ยนอย่างกะทันหันจะลดความสามารถในการมองเห็นของผู้ขับขี่ในลักษณะชั่วคราว จนกว่าสายตาผู้ขับขี่จะปรับได้

เนื่องจากความสูงติดตั้งอยู่ค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดปัญหาแสงย้อนเข้าตา ดังนั้นส่วนใหญ่จึงใช้หลอด Fluorescent ที่มีความจำต่ำ โดยทั่วไปไฟฟ้าแสงสว่างเสริมยังต้องใช้ในเวลากลางคืน สำหรับทางลอดที่ยาวเกิน 75 ฟุต ในทุกกรณี โคมไฟแสงสว่างถนนที่อยู่ถัดจากปากทางเข้าและออกจะต้องอยู่ในตำแหน่งสำหรับแสงส่องเข้าในทางลอดได้ (Penetration) สำหรับช่องห่างแนวตั้ง 14 ถึง 15 ฟุต ตำแหน่งโคมไฟควรอยู่ห่างจากปากทาง (Portal) 25 ถึง 60 ฟุต (ขึ้นกับความสูงติดตั้ง) อยู่ทางด้านซ้ายมือ หรือทั้งซ้ายและขวา ทางลอดที่มีความยาวเท่ากับหรือเกินกว่า 150 ฟุต ต่อเนื่องกัน โดยปกติต้องการไฟฟ้าแสงสว่างเสริมในเวลากลางวัน ปริมาณแสงที่ต้องการและความยาวที่ต้องการการส่องสว่างในเวลากลางวัน ขึ้นกับตำแหน่งการวางของทางลอดเมื่อเทียบกับทิศทางพระอาทิตย์ขึ้นและลง

ทางแยกต่างระดับบนทางหลวง (Highway Interchanges) บริเวณทางแยกต่างระดับ ควรมีการจัดเตรียมเป็นพิเศษ เพื่อบ่งชี้ตำแหน่งถนน โคมไฟควรอยู่ในตำแหน่งเพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่เลือกถนนที่ไปยังปลายทางได้ถูกต้อง ลดโอกาสเกิดความสับสน และการใช้ทางแยกต่างระดับในเวลาค่ำคืนมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ความสบายและความสะดวกมากขึ้น

6. ไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้เสาสูง (High Mast Lighting)

ไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้เสาสูงเกี่ยวข้องกับไฟฟ้าแสงสว่างของพื้นที่หนึ่ง โดยมีโคมไฟเป็นกลุ่มติดตั้งบนเสา หรือหอยืนเป็นอิสระ ความสูงติดตั้งตั้งแต่ประมาณ 25 เมตร ถึงประมาณ 55 เมตร หรือมากกว่า โดยความสูงโคมไฟที่มีกำลังส่องสว่างสูง ทำให้การกระจายความสว่างสม่ำเสมอ

ไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้เสาสูง โดยหลักการใช้กับทางแยกต่างระดับ, ทางแยก ไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณด่านเก็บเงิน ที่พักริมทางและที่จอดรถ ไฟฟ้าแสงสว่างของพื้นที่โดยทั่วไป และสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างต่อเนื่องบนทางหลวงที่มีรูปตัดกว้างและมีช่องจราจรเป็นจำนวนมาก

ข้อได้เปรียบสำคัญของการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างโดยเสาสูง คือ ความส่องสว่างจะมีความสม่ำเสมอ และลดแสงเข้าตา (Glare) โดยลดจำนวนเสาไฟลงได้อย่างมาก

ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้สอย (Utilization Efficiency) บนถนนสายหนึ่งสายใดค่อนข้างต่ำ แต่โคมไฟจากเสาเดียวให้ความสว่างกับถนนหลายสายได้ พื้นที่แวดล้อมนอกตัวถนนได้รับการส่องสว่างอย่างเพียงพอ ทำให้ผู้ขับขี่ได้รับการส่องสว่างเป็นพื้นที่กว้างเปรียบเทียบกับสภาพ อุโมงค์ของแสง (Tunnel of Light) เกิดจากระบบธรรมดา การใช้งานของระบบในสภาพอากาศเลวร้าย เช่น ฝนตก, มีหมอก จะดีกว่า

ไฟฟ้าแสงสว่างโดยเสาสูง โดยปกติจะเกิดสภาพแสงสว่างปรับเปลี่ยน (Transition Lighting) โดยตัวของมันเอง เมื่อเข้าสู่หรือจากถนนที่ไม่มีไฟฟ้าแสงสว่าง

ไฟฟ้าแสงสว่างโดยเสาสูง มีส่วนร่วมด้านความปลอดภัย และด้านทัศนียภาพ (Aesthetics) โดยลดจำนวนเสาไฟ และโดยตำแหน่งเสาไฟให้อยู่นอกพื้นที่คืนกลับ (Recovery Area) ที่อยู่ถัดจากช่องทางรถวิ่ง ตำแหน่งเสาที่อยู่ห่างออกไปทำให้ไม่กีดขวางการจราจรขณะทำการบำรุงรักษา

ประเภทของโคมไฟที่ใช้กันมากในระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยเสาสูง เป็นประเภทพื้นที่ (Area Type) ซึ่งมีค่าแบบกระจายสมมาตร และไม่สมมาตร การกระจายทั้งสองประเภทใช้กับพื้นที่ต้องการการส่องสว่าง และเพื่อลดแสงสว่างออกนอกพื้นที่ (Spill Light)

การออกแบบสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างโดยเสาสูง กระทำได้ 2 วิธี คือ

- 1) Utilized Lumens Method : โดยใช้แผ่นทาบไลต์อิง Isofootcandle วางบนแบบของพื้นที่จะให้แสงสว่าง กำหนดตำแหน่งเสาและคำนวณค่าออกแบบจากสูตร Standard Utilized Lumens วิธีการนี้อาจกระทำโดยคำนวณโดยตรงจากแผนภูมิสัมประสิทธิ์การใช้สอย (Coefficient of Utilization Charts)
- 2) วิธีการจุดเฉลี่ย (Average Point Method) : อ่านค่าที่จุดของจุดตัดตามตารางบนถนนและหาค่าเฉลี่ย

7. อุโมงค์และถนนลอดใต้ (Tunnels and Underpass)

7.1 ถนนลอดใต้

7.1.1 ขอบข่ายโดยทั่วไปและข้อแนะนำการให้

ถนนลอดใต้ขยายความ หมายถึง ส่วนของถนนต่อผ่านและอยู่ใต้โครงสร้างธรรมชาติ หรือมนุษย์สร้างขึ้น โดยที่อัตราส่วนความยาวต่อความสูงมีขีดจำกัด ไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้าแสงสว่างในเวลากลางวัน (Daytime Lighting) อัตราส่วนความยาวต่อความสูงประมาณ 10 : 1 หรือต่ำกว่าภายใต้สภาพปกติไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้าแสงสว่างในถนนลอดใต้ขณะกลางวัน

เมื่ออัตราส่วนความยาวต่อความสูงเกินกว่า 10 : 1 มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์รูปทรงเรขาคณิตเฉพาะ และสภาพถนนรวมทั้งกิจกรรมของยานพาหนะและคนเดินเท้า เพื่อพิจารณาไฟฟ้าแสงสว่างในเวลากลางวัน ซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อไฟฟ้าแสงสว่างในอุโมงค์

7.1.2 เหตุผลสนับสนุนสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างถนนลอดใต้ในเวลากลางคืน

ถนนซึ่งมีไฟฟ้าแสงสว่างไม่ต่อเนื่อง มีเหตุผลสนับสนุนไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณถนนลอดใต้ ในบริเวณที่มีคนเดินเท้าผ่านถนนลอดใต้บ่อย ๆ หรือบริเวณรูปทรงเรขาคณิตของถนนผิดปกติ หรือวิกฤติเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ถนนลอดใต้หรือบริเวณใกล้เคียง

ถนนซึ่งมีไฟฟ้าแสงสว่างต่อเนื่อง เป็นเหตุผลสนับสนุนการส่องสว่างบริเวณถนนลอดใต้ ตำแหน่งของโคมไฟที่เหมาะสมอยู่ถัดจากถนนลอดใต้ อาจให้ความสว่างเพียงพอสำหรับถนนลอดใต้ที่สั้น ๆ โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มเติม

7.1.3 ค่าออกแบบสำหรับแสงสว่างถนนลอดใต้

ระดับและความสม่ำเสมอของไฟฟ้าแสงสว่างถนนลอดใต้ ควรเช่นเดียวกับค่าความสว่างของถนนที่อยู่ติดกันเท่าที่จะปฏิบัติได้ เนื่องจากขีดจำกัดความสูงและระยะห่างของโคมไฟบริเวณทางลอดใต้ อาจจำเป็นต้องให้ระดับความสว่างในถนนลอดใต้สูงกว่า เพื่อให้ได้ความสม่ำเสมอตามต้องการ ระดับความสว่างที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว ต้องไม่เกิน 2 เท่า ของความสว่างของถนนที่อยู่ติดกัน

แสงสว่างถนนลอดใต้ โดยเหตุผลสนับสนุนนอกเหนือไปจาก ถนนที่ไม่มีไฟฟ้าแสงสว่าง ควรจะมีความสว่างอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.8 footcandle ในแนวราบและคงสภาพ (6 - 9 Lux) โดยมีค่าความสม่ำเสมอระหว่างค่าเฉลี่ยต่อค่าต่ำสุด 3 : 1 ถึง 4 : 1 หรือดีกว่านี้ สำหรับการส่องสว่างจะอยู่ในช่วง 0.12 ถึง 0.17 footlamberts (0.4 ถึง 0.6 Candela ต่อตารางเมตร) สภาพพิเศษซึ่งเกิดจากความจำเป็นบริเวณข้างเคียงที่สูงกว่าในยามค่ำคืน จาก สภาพการส่องสว่างช่วงเดียวอาจเป็นเหตุผลให้ใช้ระดับความสว่าง จนถึงขีดจำกัดที่ต้องการเพื่อให้เกิดการมองเห็นบริเวณถนนลอดใต้

7.1.4 การเลือกและตำแหน่งของโคมไฟถนนลอดใต้

โคมไฟติดกับโครงสร้างตามแนวด้านข้างของถนน ซึ่งผู้ขับขี่มองเห็นได้เต็มหรือเป็นบางส่วนควรมีการควบคุมแสงเข้าตาความจ้าที่แหล่งด้วยอัตราสูง โดยทั่วไปวิธีปฏิบัติลดแสงเข้าตา โดยการใส่โคมไฟที่มีความสว่างต่ำ จะทำให้ความสม่ำเสมอของแสงสว่างดีขึ้น โดยคงระดับความสว่างเทียบได้กับความสว่างของถนนที่มาบรรจบทั้งขาเข้าและขาออก

7.2 อุโมงค์ยวดยาน (Vehicular Tunnels)

7.2.1 ขอบข่ายโดยทั่วไปและข้อแนะนำการใช้

โดยวัตถุประสงค์ อุโมงค์ขยายความหมายถึงโครงสร้างประเภทใด ๆ ก็ตามที่ครอบคลุมทางรถซึ่งต้องการไฟฟ้าแสงสว่าง หรือวิธีการอื่นที่เท่าเทียมกัน เพื่อให้มีสภาพการมองเห็นที่เพียงพอต่อความจำเป็นสำหรับการสัญจรที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ข้อแนะนำที่เสนอนี้ประยุกต์กับอุโมงค์ยวดยานทั้งหมดที่มียวดยานวิ่งโดยไม่หยุดขงัก

7.2.2 อุโมงค์สั้น

อุโมงค์จัดเป็นประเภทสั้น ถ้าความยาวจากปากถึงปาก (Portal) เท่ากับหรือน้อยกว่าระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถต่ำสุดสภาพถนนเปียกตามที่แนะนำโดยมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO สำหรับความเร็วใช้งานของยวดยานบริเวณอุโมงค์หรือถนนบรรจบ พื้นที่อุโมงค์ (Tunnel Zone) ขยายความหมายถึง ความยาวของอุโมงค์เท่ากับระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถต่ำสุด สภาพถนนเปียก ดังนั้นอุโมงค์สั้นจึงมีพื้นที่เดียว เรียกว่า พื้นที่ทางเข้า (Entrance Zone)

7.2.3 อุโมงค์ยาว

อุโมงค์ จัดเป็นประเภทอุโมงค์ยาว เมื่อความยาวจากปากถึงปากอุโมงค์ยาวกว่าระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถต่ำสุด สภาพถนนเปียก อุโมงค์จึงมีสองพื้นที่หรือมากกว่า

7.2.4 เหตุผลสนับสนุนสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างอุโมงค์

การติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างในเวลากลางวันมีเหตุผลสนับสนุนเมื่อความต้องการสภาพการมองเห็นของผู้ใช้อุโมงค์จะไม่ประสบผล ถ้าปราศจากการใช้ระบบแสงสว่างเสริมแสงอาทิตย์ สภาพการมองเห็นในอุโมงค์โดยรวมแตกต่างกันพอสมควรขึ้นกับ อาทิเช่น รูปทรงเรขาคณิตของอุโมงค์และถนนบรรจบ ลักษณะของขั้วยานการปรับสภาพการสะท้อนแสงของถนนและสภาพโดยรอบ อากาศ และแนวของอุโมงค์และโดยที่วัตถุประสงค์ด้านสภาพการมองเห็น พิจารณาว่าเป็นความจำเป็นสำหรับการใช้งานของขั้วยานโดยปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

7.2.5 การจัดสภาพการมองเห็นสูงสุดของรูปลักษณะบริเวณอุโมงค์และถนนบรรจบ

ความสำคัญของการออกแบบด้านกายภาพของโครงสร้างอุโมงค์และสภาพแวดล้อม จะต้องพิจารณาความต้องการแสงสว่าง โดยเฉพาะในขั้นตอนแรก ๆ ของการออกแบบอุโมงค์และถนน

อุโมงค์เดิมอาจมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ค่อยดีนัก ในลักษณะของสภาพการจัดสภาพการมองเห็นสูงสุด ทั้งส่วนที่บรรจบกับอุโมงค์และภายในโครงสร้างอุโมงค์เอง รูปลักษณะกายภาพของอุโมงค์ ถ้าพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมแล้วจะเกิดผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดความต้องการแสงสว่างและส่งเสริมสภาพการมองเห็นในอุโมงค์

รายการต่อไปนี้ เป็นองค์ประกอบมีส่วนร่วมปรับปรุงสภาพการมองเห็นภายในอุโมงค์ และจะทำการสำรวจเป็นความต้องการเริ่มแรกสำหรับการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างเสริมในเวลากลางวัน

1) ลดความจำเป็นเวลากลางวันของสิ่งรอบข้าง

ปากอุโมงค์ ตำแหน่งถัดออกไป ผิวทางบรรจบและรูปลักษณะภายนอกอื่น ๆ ที่อยู่ในสายตาของผู้ขับขี่ ควรให้มีสีเข้มเท่าที่จะกระทำได้ แนะนำการใช้การปรับสภาพผิว ส่วนผสมเพิ่มปูทับ ฟิช หรือวิธีการอื่น ๆ ซึ่งเป็นผลเกิดการสะท้อนแสงต่ำ สีเข้มของรูปลักษณะช่วยเพิ่มอัตราการปรับสายตาล่วงหน้าของผู้ขับขี่ลดยานเข้าอุโมงค์ และช่วยปรับความแตกต่างกับระดับความสว่างที่ต่ำกว่าภายในอุโมงค์ อุโมงค์ที่มีพื้นหลังเป็นท้องฟ้าอยู่เหนือปากอุโมงค์ ควรจะทบทวนสำหรับความเป็นไปได้ต่อการใช้ฟิช, ม่าน หรือแผงเพื่อเพิ่มขนาดของพื้นที่สีเข้มบริเวณเหนือปากอุโมงค์

2) องค์ประกอบการออกแบบปากอุโมงค์

ปริมาณและขอบเขตที่แสงตามธรรมชาติส่องเข้าไปในอุโมงค์ ส่วนใหญ่ขึ้นกับแนวของอุโมงค์ที่สัมพันธ์กับการเดินทางของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า อย่างไรก็ตาม แนวของอุโมงค์กำหนดโดยเกณฑ์อื่นนอกเหนือการพิจารณาด้านแสงสว่าง และสิ่งที่ตามมาคือ ระบบแสงสว่างในอุโมงค์จะต้องสามารถรองรับสภาพแนวของบริเวณทางเข้า

การใช้เพดานยกสูงขึ้น (Upsweep Ceiling) บริเวณปากทางเข้าเป็นผลเพิ่มระยะทางและปริมาณของแสงแดดส่องเข้าไปในอุโมงค์โดยการเพิ่มความสูงบริเวณปากอุโมงค์ อย่างไรก็ตาม การทำเช่นนี้อาจทำให้ราคาโครงสร้างอุโมงค์เพิ่มขึ้น

ม่านหรือบานเกล็ดติดตั้งบริเวณถนนทางเข้าอุโมงค์ และก่อนถึงปากอุโมงค์ได้นำมาใช้เพื่อลดความจำเป็นระดับที่ต่ำลง เพื่อให้คล้องจองกับสภาพทางเข้าอุโมงค์

3) การจัดสภาพการมองเห็นสูงสุดภายในอุโมงค์

เพื่อให้การใช้แสงธรรมชาติหรือแสงประดิษฐ์อย่างมีประสิทธิภาพ มีข้อเสนอแนะว่าผิวเพดานและกำแพงควรบำรุงรักษาได้ง่าย สะท้อนแสงได้สูง เช่นกระเบื้อง โดยมีประสิทธิภาพการสะท้อนอย่างน้อย 70 % ในอุโมงค์โค้งหรือถนนบรรจบโค้ง ความจำเป็นของกำแพงมีค่าอย่างมากเพื่อบรรลุถึงความต้องการของสภาพการมองเห็น ในอุโมงค์ที่ค่อนข้างแคบ โดยมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงประมาณ 3 หรือน้อยกว่า โดยปกติสภาพการมองเห็นค่อนข้างดีเป็นผลมาจากแสงสะท้อนจากกำแพงสะท้อนแสงได้สูง อุโมงค์ที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงมากกว่านั้น โดยปกติต้องการแสงเพิ่มจากผิวถนน

บริเวณพื้นที่ปากทางเข้า การส่องของแสงอาทิตย์โดยธรรมชาติสามารถปรับปรุงโดยการใช้อำแพง, เพดานและการควบคุมเนื้อผิวถนน การใช้ผิวกำแพงเป็นลูกฟูก ผิวถนนหยาบ หรือการปรับแต่งอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดผิวสูง ๆ ต่ำ ๆ (Surface Relief) ทำให้เพิ่มการสะท้อนกลับป้อนมา (Retro - Reflection) ของแสงที่เข้ามาทางปากอุโมงค์ดีกว่าผิวเรียบ

4) ประเภทของผิวทาง

การใช้ผิวลาดยางแบบ Asphaltic Concrete บริเวณผิวถนนบรรจบกับปากอุโมงค์และผิวคอนกรีตเป็นผิวถนนด้านในของปากอุโมงค์ด้วยระยะทางอย่างน้อยเท่ากับระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถโดยปลอดภัย จะช่วยลดความแตกต่างของความสว่างระหว่างด้านนอกและในอุโมงค์

7.2.6 ไฟฟ้าแสงสว่าง ภายในอุโมงค์ในเวลากลางวัน

1) อุโมงค์สั้น - สภาพการมองเห็นโดยเงา (Silhouette Visibility)

อุโมงค์ที่มีความยาวสั้น แนวตรง แนวทางเข้าค่อนข้างราบ โดยถนนในอุโมงค์ตรงและราบ อาจมีสภาพการมองเห็นเพียงพอ โดยไม่ต้องเปิดไฟ ทั้งนี้จากการเห็นเงารถหรือวัตถุอื่นที่อยู่บนถนน ตัดกับปากทางออกและในลักษณะนี้จะเหมือนกับถนนลอดใต้ (Underpass) สภาพการมองเห็นโดยเงาจะต้องประเมินอย่างรอบคอบ โดยสัมพันธ์กับรูปทรงเรขาคณิตของอุโมงค์เพื่อให้มั่นใจสภาพการมองเห็นวัตถุภายในอุโมงค์ที่อาจปรากฏขึ้นในตำแหน่งใด ๆ บนถนนภายใต้ สภาพการมองเห็นโดยเงา ผู้ขับขี่รถยนต์จะไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดของผิวถนน ในอุโมงค์หลายช่องทางเดินรถทางเดียว หรืออุโมงค์ 2 ทิศทางไม่แยก (Unseparated Two - way Tunnels) ควรจัดให้มีไฟฟ้าแสงสว่างในขอบเขตที่ผู้ขับขี่สามารถสังเกตเห็นการตีเส้น หรือเครื่องหมายทางอื่น ๆ ที่สำคัญต่อความปลอดภัย

2) แสงสว่างปากทางเข้า

ส่วนของอุโมงค์ที่มีความวิกฤตมากที่สุด มีผลต่อสภาพการมองเห็น เกิดขึ้นก่อนเข้าปากอุโมงค์ ซึ่งเรียกกันว่า หลุมมืด (Black Hole) สภาพการมองเห็นของพื้นที่ทางเข้าแรกสุดนี้ ขณะที่ยังอยู่นอกอุโมงค์มีความจำเป็นต่อผู้ขับขี่รถยนต์เพื่อบ่งชี้และสนองตอบโดยปลอดภัยต่อการปรากฏของรถยนต์ หรือวัตถุซึ่งอาจอยู่บนถนนในอุโมงค์ ทั้งนี้กระทำโดยการจัดให้มีไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ทางเข้าอุโมงค์โดยสัดส่วนที่เหมาะสมกับความสว่างรอบข้างภายนอก ซึ่งตามผู้ขับขี่กำลังปรับตัว มีข้อเสนอแนะว่าพื้นที่ทางเข้าส่วนแรกควรให้แสงสว่างอยู่ในระดับ $\frac{1}{5}$ ถึง $\frac{1}{10}$ ของระดับความสว่างรอบข้าง ซึ่งผู้ขับขี่รถยนต์เข้าอุโมงค์กำลังปรับสายตาอยู่ ความต้องการเกิดขึ้นกับการประเมินสภาพความจ้าของถนนและอุโมงค์ก่อนที่จะกำหนดการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่าง สำหรับการก่อสร้างใหม่ ลักษณะดังกล่าวกระทำไม่ได้และอาจจำเป็นต้องใช้แบบจำลองเพื่อแสดงสภาพของส่วนบรรจบอุโมงค์ มุมมองของผู้ขับขี่รถยนต์ของสภาพความสว่างที่ปรับเปลี่ยนควรประเมินที่ตำแหน่งตามแนวถนนบรรจบ เท่ากับระยะทางมองเห็นเพื่อหยุดรถต่ำสุดก่อนถึงปากอุโมงค์

อุโมงค์เดินทางเดียว สองและสามช่องทางมีแนวของส่วนบรรจบ และโครงสร้างอุโมงค์น่าพึงพอใจ และมีความยาวค่อนข้างสั้น อาจให้แสงสว่างอย่างเพียงพอโดยระดับความสว่างของแสงประดิษฐ์ค่อนข้างต่ำ ในบางกรณี การปรับสภาพปากทางเข้าให้มีสภาพดีที่สุด ทำให้การมองเห็นบริเวณทางเข้าเพียงพอ โดยใช้ระดับความสว่างของแสงประดิษฐ์ในช่วงประมาณ 100 ถึง 200 Candelas ต่อตารางเมตร (29 ถึง 58 footlamberts) สะท้อนจากผิวถนน

ระดับไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณพื้นที่ทางเข้า ควรออกแบบให้รองรับสภาพความสว่างรอบข้างสูงสุดในบริเวณนั้น ความยาวของแสงสว่างพื้นที่ทางเข้าควรพิจารณาโดยใช้ระยะทางมองเห็นหยุดรถ ยกเว้นกรณีสุดขีดโดยความโค้งแนวดิ่งและแนวราบ ถนนบรรจบอุโมงค์โดยมากจะมีลักษณะทางเข้าโดยที่จุดค่อนข้างใกล้กับปากอุโมงค์ มุมมองของผู้ขับขี่รถยนต์จะจำกัดอยู่กับโครงสร้างอุโมงค์ที่มีสีทึบเป็นส่วนใหญ่ วิธีปฏิบัติที่ได้รับการยอมรับโดยรวมระยะคงที่ (Fixation Distance) อยู่ในระยะทางมองเห็นหยุดรถต่ำสุด เพื่อลดระยะทางของไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณทางเข้า การปรับสภาพก่อนปกติไม่ควรนำมาใช้เพื่อลดระดับแสงสว่างปากอุโมงค์

3) ไฟฟ้าแสงสว่างเลยจากพื้นที่ทางเข้า

ถ้าอุโมงค์ถูกจัดอยู่ในประเภทอุโมงค์สั้น ระดับความสว่างบริเวณพื้นที่ทางเข้าในอุโมงค์ควรต่อเนื่องตลอดความยาว อย่างไรก็ตาม ในอุโมงค์ยาวแสงสว่างเลยจากระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถต่ำสุด ควรจะลดลงตามลำดับจนกระทั่งบรรลุถึงระดับต่ำสุดที่กำหนด มีข้อเสนอแนะว่า เริ่มต้นที่บริเวณสุดท้ายของพื้นที่ทางเข้า ระดับความสว่างลดเป็นขั้นตอนจนถึงระดับไม่น้อยกว่า $\frac{1}{15}$ ของระดับที่สูงกว่าก่อนหน้า ระดับความสว่างในเวลากลางวันต่ำสุดในอุโมงค์ยาวไม่ควรน้อยกว่า 5 horizontal footcandle (54 lux) บนผิวถนนนี้คือความสว่างเท่ากับ 5 Candelas ต่อตารางเมตร (1.6 footlambert) แต่ละชั้นควรมีความยาวอย่างน้อยเท่ากับระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถต่ำสุด

4) แสงสว่างในอุโมงค์เวลากลางคืน

แสงสว่างในเวลากลางคืน ถ้าเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติควรใช้บางส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างเวลากลางวัน ระดับความสว่างในเวลากลางคืนภายในอุโมงค์ควรจะสูงกว่า แต่ไม่เกิน 3 เท่า ของความต้องการแสงสว่างสำหรับถนนที่อยู่ติดกับอุโมงค์ ความสม่ำเสมอของแสงสว่างควรใกล้เคียงกับความต้องการสำหรับถนนที่อยู่ติดกัน

อุโมงค์ที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ถนนมีไฟฟ้าแสงสว่างไม่ต่อเนื่อง ควรให้ความสว่างเท่ากับมาตรฐานความต้องการต่ำสุดสำหรับประเภททางหลวง

การเลือกประเภทเฉพาะของโคมไฟในอุโมงค์และแหล่งแสง ควรกระทำโดยพิจารณาประสิทธิภาพความสว่าง แสงย้อนตา ลักษณะการกระจาย ชัดจำกัดการติดตั้งความง่าย และความถี่ของการบำรุงรักษา และความเสียหายถูกทำลาย นอกจากนี้แล้วข้อพิจารณาสำคัญในการเลือกระบบเฉพาะสำหรับแสงสว่างในอุโมงค์ยาว ทั้งเวลากลางวันและกลางคืนคือผลเป็นจังหวะ (Stroboscopic Effect) ของพื้นที่สว่างมืดสลับกัน โดยที่โคมไฟไม่สามารถทำให้เกิดความสว่างต่อเนื่องกัน ความถี่ในช่วง 5 ถึง 10 รอบต่อวินาที ได้รับการสังเกตว่าเป็นผลสำคัญกับตา และควรหลีกเลี่ยงสำหรับความเร็วออกแบบเฉพาะอุโมงค์

- 5) ระบบควบคุมแสงสว่างในอุโมงค์
- เนื่องจากระดับความสว่างของบริเวณรอบข้างแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาล และขณะเกิดเมฆหรืออากาศเปลี่ยนแปลง ระดับความสว่างของพื้นที่ทางเข้าอาจปรับให้เข้ากับบริเวณรอบทางเข้า ถ้าระบบการปรับเปลี่ยนดังกล่าวกระทำได้อย่างประหยัด ระดับความสว่างในพื้นที่อุโมงค์ที่อยู่ถัดไปสูงกว่า 5 horizontal footcandles (54 lux) ควรปรับเปลี่ยนในสัดส่วนเดียวกัน ระบบไฟฟ้าสำหรับอุโมงค์ควรออกแบบให้ปลอดภัยเมื่อเกิดล้มเหลว (Fail Safe) เท่าที่จะปฏิบัติเพื่อลดโอกาสที่ต้องปิดอุโมงค์ ในกรณีเกิดความล้มเหลวในวงจรหรือเสียหายที่อื่น ๆ
- 6) องค์ประกอบการบำรุงรักษาสำหรับการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างอุโมงค์
- การลดความสว่างเริ่มแรกลงตามเวลา เป็นองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างอุโมงค์ ระดับการออกแบบในเบื้องต้นจะต้องพิจารณาความถี่ และอัตราการบำรุงรักษาที่หน่วยงานตั้งใจจะดำเนินการ จำเป็นต้องกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับความสว่างที่คงสภาพได้ โดยนำไปรวมกับการพิจารณาระดับความสว่างในการออกแบบเบื้องต้น องค์ประกอบลดความสว่างในช่วงร้อยละ 25 ถึง 60 ให้กับไฟฟ้าแสงสว่างในอุโมงค์ โดยมีความถี่การบำรุงรักษาปานกลาง ครอบคลุมสัปดาห์ค่อนข้างมาก และสภาพอากาศทำให้ความสว่างและประสิทธิภาพสะท้อนแสงเสื่อมลงอย่างรวดเร็ว ควรเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างค่าติดตั้งเริ่มแรก ค่าไฟฟ้า โดยกำหนดการบำรุงรักษาแตกต่างกันไป โดยเลือกระบบที่ประหยัดโดยคงสภาพความสว่าง