แนวทางปฏิบัติสำหรับงานออกแบบและติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง บนทางหลวง ชนิดโคมไฟแอลอีดี

คณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดและมาตรฐานไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง

ธันวาคม 2568

คำนำ

กรมทางหลวงมุ่งเน้นการพัฒนาและติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวงเพื่อยกระดับความปลอดภัยและเพิ่มทัศนวิสัยในการขับขี่ ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญในการลดอุบัติเหตุและป้องกันปัญหาอาชญากรรมบนโครงข่ายทางหลวงทั่วประเทศ โดยที่ผ่านมาการดำเนินงานได้อ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานทางวิศวกรรมที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium) เป็นหลัก แต่ด้วยสภาวการณ์ปัจจุบันที่เทคโนโลยีการให้แสงสว่างได้เปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบแอลอีดี (LED) ซึ่งมีสมรรถนะสูงและประหยัดพลังงานมากกว่าเดิมอย่างมีนัยสำคัญ กรมทางหลวงจึงจำเป็นต้องปรับปรุงเกณฑ์วิธีปฏิบัติให้มีความทันสมัยและสอดรับกับมาตรฐานสากล

เพื่อให้การดำเนินงานสอดคล้องกับปฏิญญากรมทางหลวง **"มุ่งสู่ทางหลวงคาร์บอนต่ำและความยั่งยืนภายในปี ค.ศ. 2040" (DOH Journey Towards Low Carbon and Sustainable Highways by 2040)** ซึ่งกำหนดหมุดหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกผ่านการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ กรมทางหลวงจึงได้กำหนดนโยบายเพิ่มสัดส่วนการใช้โคมไฟแอลอีดีให้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของการดำเนินงานทั้งหมด การเปลี่ยนผ่านสู่เทคโนโลยีแอลอีดีไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานและค่าบำรุงรักษาในระยะยาว แต่ยังเป็นฟันเฟืองสำคัญในการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและเสริมสร้างคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับเจตนารมณ์ในการขับเคลื่อนประเทศไทยสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนอย่างยั่งยืน

กรมทางหลวงจึงได้จัดทำ **"แนวทางปฏิบัติสำหรับงานออกแบบและติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวงชนิดโคมไฟแอลอีดี"** เล่มนี้ขึ้น เพื่อเป็นบรรทัดฐานทางวิศวกรรมในการควบคุมคุณภาพโคมไฟถนนแอลอีดีให้มีสมรรถนะด้านแสง ความปลอดภัย และความคงทนเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดอย่างเคร่งครัด แนวทางปฏิบัติฉบับนี้จะช่วยส่งเสริมให้การออกแบบและติดตั้งบนโครงข่ายทางหลวงมีความเป็นเอกภาพ มั่นคง และมีประสิทธิภาพพลังงานสูงสุด ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานคมนาคมที่ได้มาตรฐานสากล เพื่ออำนวยความสะดวกและความปลอดภัยสูงสุดให้แก่ประชาชนผู้ใช้ทางสืบไป

(นายปิยพงษ์ จิวัฒนกุลไพศาล)
อธิบดีกรมทางหลวง

คำสั่งกรมทางหลวง
ที่ บ.๑ /๑๓๖ / ๒๕๖๖
เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดและมาตรฐานไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง

ตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ บ.๑/๒๐๓/๒๕๖๔ ลงวันที่ ๙ ธันวาคม ๒๕๖๔ เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการกำกับการปรับปรุงและพัฒนามาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมงานทาง ประธานกรรมการมีอำนาจแต่งตั้งคณะอนุกรรมการ หรือคณะทำงานเพิ่มเติมที่เห็นสมควร

เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ จึงแต่งตั้งคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดและมาตรฐานไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง โดยมีองค์ประกอบและอำนาจหน้าที่ ดังนี้

๑. <u>องค์ประกอบ</u>

๑.๑	นายจักรภพ วัชรมณเฑียร	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	ประธานคณะทำงาน
๑.๒	นายจตุพล เทพมังกร	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	คณะทำงาน
๑.๓	นายธันวิน สวัสดิศานต์	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	คณะทำงาน
๑.๔	นายพิชากร ศรีจันทร์ทอง	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	คณะทำงาน
๑.๕	นางหรรษา มีประดิษฐ์	นักวิทยาศาสตร์เชี่ยวชาญ	คณะทำงาน
๑.๖	นายรพี ตั้งทรงสุวรรณ์	ผู้อำนวยการแขวงทางหลวงศรีสะเกษที่ ๒	คณะทำงาน
๑.๗	นายปณิธิศร์ เอื้อสุดกิจ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๑.๘	นายทวีศักดิ์ ชาญวรรณกุล	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๑.๙	นายพงศธร เหลืองเพิ่มพูน	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๑.๑๐	นายธนกร ประสงค์วัฒนา	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๑.๑๑	นายนัทธกร กวักบำรุง	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๑.๑๒	นายยงพิน แก้วเนตร	วิศวกรไฟฟ้าชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๑.๑๓	นายภัทรพล สีดอกบวบ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๑.๑๔	นายวัชระ วิสภักดิ์	นายช่างไฟฟ้าอาวุโส	คณะทำงาน
๑.๑๕	นายชัยวุฒิ กาญจนะสันติสุข	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงานและเลขานุการ
๑.๑๖	นายชาคร ชาวไร่	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
๑.๑๗	นายเอกลักษณ์ บุญชู	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

๒. <u>อำนาจหน้าที่</u>

๒.๑ ศึกษาและพิจารณาปรับปรุงข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปสำหรับงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง

๒.๒ จัดทำร่างและคุณลักษณะเฉพาะสำหรับงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างประสิทธิภาพสูง (LED)

๒.๓ เสนอแนะแนวทางการควบคุมคุณภาพ ความเหมาะสมของการนำเทคโนโลยีไฟฟ้าแสงสว่าง (LED) มาใช้ในงานทาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทั้งในด้านความปลอดภัยและเพื่อประหยัดพลังงาน

๒.๔ รายงานผลการดำเนินงานต่อคณะกรรมการกำกับการปรับปรุงและพัฒนามาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมงานทาง

๒.๕ ปฏิบัติงานอื่นใดตามที่ได้รับมอบหมาย

คำสั่งใดที่ขัดหรือแย้งกับคำสั่งนี้ให้ใช้คำสั่งนี้แทน
ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๕ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๖

(นายปิยพงษ์ จิวัฒนกุลไพศาล)
รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ
ประธานคณะกรรมการกำกับการปรับปรุงและพัฒนามาตรฐาน
และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมงานทาง

คำสั่งกรมทางหลวง
ที่ บ.๑ /๑๓๙ / ๒๕๖๖
เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดและมาตรฐานไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง (เพิ่มเติม)

ตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ บ.๑/๑๓๑/๒๕๖๖ ลงวันที่ ๒๙ สิงหาคม ๒๕๖๖ เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดและมาตรฐานไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง นั้น

เพื่อประโยชน์ต่อทางราชการในการดำเนินงานให้บรรลุวัตถุประสงค์และประสิทธิภาพ จึงแต่งตั้งคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดและมาตรฐานไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง (เพิ่มเติม) คือ

นายเกรียงไกร พัฒนภักดี	หัวหน้าห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไฟฟ้าและการส่องสว่าง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ที่ปรึกษา

โดยอำนาจหน้าที่เป็นไปตามคำสั่งเดิมทุกประการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๒ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๖

(นายปิยพงษ์ จิวัฒนกุลไพศาล)
รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ
ประธานคณะกรรมการกำกับการปรับปรุงและพัฒนามาตรฐาน
และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมงานทาง

สารบัญ

หน้า

1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ 1
1.2 ขอบข่ายของแนวทางปฏิบัติ 1
1.3 มาตรฐานและเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง 2
1.4 นิยามและตัวย่อ 5
1.5 ลักษณะงาน 8
2. วัสดุและอุปกรณ์ 9
2.1 โคมไฟ 9
2.2 สายไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า 10
2.3 เสาไฟและกิ่งโคม 13
3. การออกแบบและมาตรฐานระดับชั้นแสงสว่าง 14
3.1 แนวทางการออกแบบแสงสว่างบนทางหลวง 14
3.2 มาตรฐานระดับชั้นแสงสว่างบนทางหลวง 15
3.3 ข้อกำหนดในการออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวง 21
3.4 ข้อกำหนดการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟ 25
3.5 การพิจารณาคุณสมบัติทางแสงของโคมไฟถนนแอลอีดี 37
4. การก่อสร้างและการติดตั้งระบบ 39
4.1 การขุดและการกลบ 39
4.2 งานคอนกรีต 39
4.3 ท่อร้อยสายไฟและข้อต่อ 39
4.4 บ่อพักสายไฟ 40
4.5 งานติดตั้งระบบไฟฟ้า 40
5. การทดสอบและการตรวจรับงาน 44
5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ 44
5.2 การทดสอบระบบไฟฟ้า 45
5.3 การทดสอบโคมไฟและการวัดแสงสว่างบนถนน 46
5.4 การตรวจรับงาน 48
6. การรับประกันผลงานและการซ่อมบำรุง 48
7. ข้อแนะนำในการบริหารสัญญา 49
7.1 ความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง 49
7.2 การวัดปริมาณงาน 51
7.3 การเบิกจ่ายเงิน 51
7.4 ข้อมูลทางเทคนิคใช้ในการประกอบสัญญา หรือประกอบการควบคุมงาน 52

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะและมาตรฐานของโคมไฟถนนแอลอีดีสำหรับทางหลวง ก-1
ภาคผนวก ข ข้อแนะนำในการเลือกใช้งานโคมไฟถนนแอลอีดีบนทางหลวง ข-1
ภาคผนวก ค การแบ่งกลุ่มค่าอุณหภูมิสีทั่วไปของแอลอีดีและเกณฑ์การยอมรับ.....ค-1
ภาคผนวก ง เกณฑ์ระดับชั้นความเข้มการส่องสว่างสำหรับความจ้าตาแบบสูญเสียความสามารถ.....ง-1
ภาคผนวก จ เกณฑ์ระดับชั้นของเครื่องวัดความสว่างตามมาตรฐาน DIN 5032-7.....จ-1

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์และตัวย่อ 8
ตารางที่ 2 ระดับชั้นการให้แสงสว่างบนทางหลวงสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ (ระดับชั้น M) 17
ตารางที่ 3 เกณฑ์ควบคุมสำหรับระดับชั้นการให้แสงสว่างสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ (M) 17
ตารางที่ 4 ระดับชั้นการให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน (ระดับชั้น C) ที่เชื่อมต่อกับ ทางหลวงระดับชั้น M 18
ตารางที่ 5 ระดับชั้นการให้แสงสว่างบริเวณพื้นที่เชื่อมต่อและทางแยกบนทางหลวงแผ่นดิน 19
ตารางที่ 6 เกณฑ์ควบคุมสำหรับระดับชั้นการให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน (C) 19
ตารางที่ 7 ระยะทางตามแนวยาวที่ต้องให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน บนทางหลวง ที่ไม่มีการให้แสงสว่าง 20
ตารางที่ 8 เกณฑ์ควบคุมสำหรับระดับชั้นการให้แสงสว่างสำหรับพื้นที่คนเดินเท้า ทางจักรยาน และ การจราจรด้วยความเร็วต่ำ (P) 20
ตารางที่ 9 คุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุผิวถนนระดับชั้น R ตามมาตรฐาน CIE 144 24
ตารางที่ 10 เงื่อนไขและข้อแนะนำในการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนรูปแบบต่าง ๆ สำหรับถนนทางตรง 26
ตารางที่ 11 ระยะช่วงห่าง (SPACING; S) ที่แนะนำสำหรับความสูงของโคมไฟถนน 12 เมตร และ 9 เมตร 33
ตารางที่ 12 ระยะช่วงห่างของโคมไฟบนทางโค้งสูงสุดตามรัศมีความโค้ง 35
ตารางที่ 13 การจัดประเภทโคมไฟถนนของ CIE ตามรูปแบบการกระจายความเข้มการส่องสว่าง 38

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดรูปแบบการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนน 26
รูปที่ 2 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว (SINGLE SIDED) 27
รูปที่ 3 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดสลับ (STAGGERED) 27
รูปที่ 4 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม (OPPOSITE SIDED) 28
รูปที่ 5 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบติดกิ่งคู่เกาะกลาง (TWIN CENTRAL) 28
รูปที่ 6 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบผสมผสานระหว่างกิ่งคู่บนเกาะกลางและกิ่งเดี่ยวติดสลับ (TWIN CENTRAL WITH STAGGERED) 29
รูปที่ 7 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบผสมผสานระหว่างกิ่งคู่บนเกาะกลางและกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม (TWIN CENTRAL WITH OPPOSITE SIDED) 29
รูปที่ 8 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนเกาะกลางแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว จำนวน 2 ต้น 30
รูปที่ 9 รูปแบบการวางตำแหน่งเสาไฟและโคมไฟถนนบนทางโค้ง 30
รูปที่ 10 ตำแหน่งติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนสำหรับทางแยกรูปตัว Y แบบต่าง ๆ 31-32
รูปที่ 11 ตำแหน่งติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนสำหรับทางแยกรูปตัว T 32
รูปที่ 12 ตำแหน่งติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนสำหรับสี่แยก 33
รูปที่ 13 อัตราส่วนระยะช่วงห่างของโคมไฟบนทางโค้งที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีความโค้ง 34
รูปที่ 14 ระยะห่างของเสาไฟถนนจากขอบไหล่ทางและขอบผิวจราจรของถนนในเขตนอกเมือง 35
รูปที่ 15 ระยะห่างของเสาไฟถนนจากขอบคันหินของถนนในเขตเมือง หรือชุมชน 36
รูปที่ 16 การพิจารณาการกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคมไฟในระบบพิกัด C-γ ตามมาตรฐาน CIE 37
รูปที่ 17 การจัดประเภทของค่า THROW และ SPREAD ของโคมไฟถนนตามมาตรฐาน CIE 38
รูปที่ 18 การเดินสายไฟฟ้าและสายดินภายในเสาไฟร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันแบบต่าง ๆ 41-42
รูปที่ 19 การเดินสายต่อหลักดินเข้ากับเสาไฟแสงสว่างแต่ละต้น 44
รูปที่ 20 การกำหนดตารางจุดวัดแสงของช่องจราจรบนทางหลวง ตามมาตรฐาน BS EN 13201-3 48

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์

การติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง คือ การช่วยเพิ่มความสามารถในการขับขี่ในช่วงเวลากลางคืนเพื่อให้การมองเห็นเส้นทางและวัตถุข้างทางที่ถูกต้องในเวลาอันรวดเร็ว ทำให้ผู้ใช้ทางสามารถหลบหลีกหากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน และช่วยลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ การออกแบบเพื่อติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างนั้น ผู้ออกแบบต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงของผู้ใช้ทาง การติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างที่ดีและมีประสิทธิภาพ ควรคำนึงถึงประโยชน์ทางเศรษฐกิจ สังคม และความปลอดภัยต่อผู้ใช้ทาง การให้แสงสว่างบนทางหลวงที่มีคุณภาพจะช่วยเพิ่มความคล่องตัวและการมองเห็นแก่ผู้ใช้ทาง ช่วยลดปัญหาอุบัติเหตุทางถนนในช่วงเวลากลางคืน และลดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้ทางหลวง รวมทั้งลดปัญหาด้านอาชญากรรมและเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ใช้ทางหลวง

เพื่อควบคุมคุณภาพในการออกแบบแสงสว่างและงานติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ได้จัดทำ ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไป งานติดตั้งแสงสว่างบนทางหลวง (General specification) ฉบับ มกราคม 2522 ซึ่งใช้สำหรับโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูง แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการพัฒนาโคมไฟถนนประสิทธิภาพสูงชนิดแอลอีดีซึ่งมีสมรรถนะด้านการให้แสงสว่างและด้านการใช้พลังงานที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามโคมไฟถนนแอลอีดีมีการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีไปจากเดิมค่อนข้างมาก ตั้งแต่ตัวโคมไฟ และชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในโคมไฟ รวมทั้งการติดตั้งใช้งาน นอกจากนั้นยังมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2954-2562 หรือ ข้อแนะนำการให้แสงสว่างบนถนนสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์และคนเดินเท้าขึ้นใหม่ในประเทศไทย ซึ่งอ้างอิงมาจากมาตรฐาน CIE 115:2010 ที่เป็นสากล จึงเป็นที่มาให้กรมทางหลวง โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย ดำเนินการจัดทำ แนวทางปฏิบัติสำหรับงานออกแบบและติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง ชนิดโคมไฟแอลอีดี (Guidelines for the design and installation of LED road lighting) โดยปรับปรุงทั้งในส่วนของแนวทางปฏิบัติในการออกแบบแสงสว่างบนถนน การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะและมาตรฐานของโคมไฟแอลอีดี และงานติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลที่สามารถปฏิบัติได้ และมีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีการให้แสงสว่างบนถนนในปัจจุบัน

1.2 ขอบข่ายของแนวทางปฏิบัติ

รายละเอียดของเอกสารฉบับนี้เป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับการออกแบบสมรรถนะทางเทคนิค การยอมรับ (Approval) การทบทวน (Review) การเลือกโคมไฟถนนแอลอีดีและข้อกำหนดในการติดตั้งสำหรับการให้แสงสว่างถนน ทางเชื่อมต่อและทางแยก ทางรถจักรยาน ทางเท้า ทางข้ามและสะพาน ซึ่งสร้างเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายทางหลวงในความควบคุมของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ทั้งนี้เพื่อให้มีการพัฒนาการออกแบบที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูงและลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบการให้แสงสว่างถนนและที่สาธารณะ

รายละเอียดของแนวทางปฏิบัตินี้ให้ใช้ในทุกกรณี ยกเว้น จะมีการเปลี่ยนแปลง หรือผู้ออกแบบจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงในบางกรณีโดยเฉพาะ ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องยื่นขอความเห็นชอบจากหน่วยงานที่รับผิดชอบเป็นกรณี ๆ ไป

ขอบข่ายนี้รวมถึงรูปแบบและวัสดุของเสาไฟ กิ่งจับยึดหรือแม้แต่โคมไฟถนน รายละเอียดนี้เป็นแนวทางปฏิบัติในการกำหนดสมรรถนะของโคมไฟในระดับต่ำสุด ได้แก่

- สมรรถนะทางแสงสว่าง
- ตัวประกอบบำรุงรักษา
- ความปลอดภัย
- ความคงทน และประมาณการอายุใช้งาน

รายละเอียดนี้ครอบคลุมการให้แสงสว่างในเรื่องการออกแบบโดยย่อ สมรรถนะในการออกแบบ เกณฑ์การออกแบบ การปฏิบัติที่ยอมรับได้ การติดตั้งและตรวจสอบ แต่ไม่รวมรายการ ดังต่อไปนี้

- การผลิตเสาไฟแสงสว่าง
- การผลิตโคมไฟถนน
- เสาไฟฟ้าสำหรับสายจ่ายไฟที่ใช้ติดตั้งโคมไฟถนน
- สายอากาศสำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โคมไฟถนน
- การติดตั้งโคมไฟถนนแบบเสาสูง

1.3 มาตรฐานและเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง

- ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ฉบับ มกราคม 2522
- รายงานการศึกษา ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง กรมทางหลวง ฉบับ กันยายน 2554
- คู่มือแนะนำการติดตั้งอุปกรณ์กั้นและสิ่งอำนวยความปลอดภัย สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง ปี 2555
- รายงานฉบับสมบูรณ์ - โครงการศึกษาและจัดทำข้อมูลการจำแนกลำดับชั้นของโครงข่ายทางหลวงแผ่นดินทั่วประเทศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนพัฒนาและบริหารจัดการทางหลวง สำนักแผนงาน กรมทางหลวง ปี 2563
- รายงานฉบับสมบูรณ์ - โครงการพัฒนาหลักเกณฑ์และข้อกำหนดของไฟส่องสว่างประสิทธิภาพสูงบนทางหลวง กรมทางหลวง ปี 2565
- มอก. 1955-2551, บริภัณฑ์ส่องสว่างและบริภัณฑ์ที่คล้ายกัน: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ
- Made in Thailand (MiT), สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- มอก. 9001-2559, ระบบการบริหารงานคุณภาพ - ข้อกำหนด
- ISO 9001:2015, Quality management systems - requirements
- มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- Standard drawing for highway design and construction, 2015 revision, department of highways, DWG. No. EE-101-106, Sheet No. 182-187

- มอก. 11 เล่ม 101–2559, สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 101 สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานทั่วไป
- มอก. 11 เล่ม 4-2553, สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 4 สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานติดตั้งยึดกับที่
- มอก. 11 เล่ม 3-2553, สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 450/750 โวลต์ เล่ม 3 สายไฟฟ้าไม่มีเปลือกสำหรับงานติดตั้งยึดกับที่
- มอก. 770-2567, ท่อเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีสำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้า
- มอก. 982-2556, ท่อพอลิเอทิลีนสำหรับน้ำดื่ม
- DIN 8074:2023, Polyethylene (PE) pipes - Dimensions
- DIN 8075:2018, Polyethylene (PE) pipes - General quality requirements and testing
- มอก. 60898 เล่ม 1-2561, อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องตัดวงจรสำหรับป้องกันกระแสเกิน สำหรับการติดตั้งใช้งานในที่อยู่อาศัย และลักษณะที่คล้ายกัน เล่ม 1 เครื่องตัดวงจรสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ
- IEC 60898-1:2015, Electrical accessories - Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations - Part 1: Circuit-breakers for a.c. operation
- มอก. 2425-2560, เครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัยและใช้ในลักษณะที่คล้ายกัน เล่ม 1 หลักเกณฑ์ทั่วไป
- IEC 61008-1:2024, Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part1: General rules
- มอก. 909-2567, เครื่องตัดวงจรกระแสเหลือแบบมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัยและใช้ในลักษณะที่คล้ายกัน
- IEC 61009-1:2024, Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) - Part 1: General rules
- IEC 60947-4-1:2023, Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-1: Contactors and motor-starters - Electromechanical contactors and motor-starters
- IEC 61643-11:2011, Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods
- มอก. 513-2553, ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า (รหัส IP)
- IEC 60529:1989, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
- มอก. 2316-2549, เสาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีสำหรับไฟฟ้าแสงสว่าง

- ASTM A123/A123M-24, Standard specification for zinc (hot-dip galvanized) coatings on iron and steel products
- มอก. 327-2553, สีเคลือบเงาแอลคีด
- มอก. 606-2563, แผ่นสะท้อนแสงสำหรับควบคุมการจราจร
- มอก. 20-2559, เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม
- มอก. 2954-2562, ข้อแนะนำการให้แสงสว่างบนถนน สำหรับการจราจรด้วยยานยนต์และคนเดินเท้า
- CIE 115:2010, Lighting of roads for motor and pedestrian traffic
- CIE 140:2019, Road lighting calculations, 2nd edition
- PD CEN/TR 13201-1:2014, Road lighting - Part 1: guidelines on selection of lighting classes
- BS EN 13201-2:2015, Road lighting - Part 2: performance requirements
- BS EN 13201-3:2015, Road lighting - Part 3: calculation of performance
- BS EN 13201-4:2015, Road lighting - Part 4: methods of measuring lighting performance
- BS EN 13201-5:2015, Road lighting - Part 5: energy performance indicators
- BS EN 5489-1:2020, Design of road lighting, Part 1: Lighting of roads and public amenity areas – code of practice
- AS/NZS 1158.1.1:2022, Lighting for roads and public spaces, Part 1.1: Vehicular traffic (Category V) lighting – Performance and design requirements
- CIE 144:2001, Road surface and road marking reflection characteristics
- ISO/CIE TS 22012:2019, Light and lighting - maintenance factor determination - way of working
- CIE 034:1977, Road lighting lantern and installation data - photometrics, classification and performance (E)
- Guidance Note 01/21 (GN01/21), The reduction of obtrusive light
- CIE 150:2017, Guide on the limitation of the effects of obtrusive light, 2nd edition
- IEC 61557-4:2019, Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1,000 V AC and 1,500 V DC - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 4: Resistance of earth connection and equipotential bonding
- IEC 61557-5:2019, Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1,000 V AC and 1,500 V DC - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 5: Resistance to earth

- IEC 61557-2:2019, Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1,000 V AC and 1,500 V DC - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 2: Insulation resistance
- ISO/CIE 19476:2014, Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters
- DIN 5032-7: 2017-02, Photometry - Part 7: Classification of illuminance meters and luminance meters
- IEC 60364-6:2016, Low voltage electrical installations - Part 6: Verification
- มอก. 17025-2561 ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

หมายเหตุ: กรณีที่มาตรฐานและเอกสารอ้างอิงมีการทบทวนและปรับปรุง กำหนดให้ใช้ฉบับที่ประกาศใช้ล่าสุด ซึ่งกรมทางหลวงได้พิจารณาและเห็นชอบแล้ว

1.4 นิยามและตัวย่อ

1) โคมไฟ (Lantern หรือ Luminaire) หมายถึง โคมไฟถนนแอลอีดีที่ประกอบด้วย ตัวโคมไฟ (Housing) ฝาครอบโคมไฟ (Cover) มอดูลแอลอีดี (LED module) เลนส์ควบคุมแสง (Optical lens) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า (Driver) อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge protective device; SPD) ขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ (Receptacle) สายไฟฟ้าและขั้วต่อสายไฟ (Wire and connector)
หมายเหตุ : คำว่า "โคมไฟ" หรือ "โคมไฟถนน" ในเอกสารแนวทางปฏิบัตินี้ หมายถึง "โคมไฟถนนแอลอีดี"
2) เสาไฟ (Pole) หมายถึง เสากลวงเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีที่เป็นท่อเรียว ใช้สำหรับเป็นที่ติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนน 1 โคม หรือมากกว่า และอาจมีกิ่งโคม หรือไม่มีก็ได้
3) กิ่งโคม หรือท่อกิ่ง (Bracket) หมายถึง ส่วนที่ยื่นออกจากปลายส่วนตรงของเสาไฟ สำหรับติดตั้งโคมไฟ
4) ช่วงแขน (Outreach) หมายถึง ระยะทางในแนวราบระหว่างศูนย์กลางของโคมไฟกับศูนย์กลางของเสาไฟ
5) ระยะยื่น (Overhang) หมายถึง ระยะทางในแนวราบที่ศูนย์กลางของโคมไฟยื่นเข้ามาในขอบผิวจราจร
6) ความสูงของโคมไฟ (Mounting height) หมายถึง ระยะห่างในแนวดิ่งระหว่างศูนย์กลางของโคมไฟกับผิวจราจร
7) ช่วงห่างของเสาไฟ (Spacing หรือ Span) หมายถึง ระยะห่างระหว่างเสาไฟที่ติดตั้งในด้านเดียวกัน ซึ่งวัดขนานไปตามแนวเส้นศูนย์กลางของถนน

8) ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux; ϕ) หมายถึง กำลังแสงสว่างที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดแสง โดยไม่คำนึงถึงทิศทางที่กระจัดกระจายออกไป หน่วยที่ใช้วัด คือ ลูเมน (Lumen, lm)

9) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous intensity; I) หมายถึง ความหนาแน่นของฟลักซ์การส่องสว่างไปยังทิศทางหนึ่ง หน่วยของความเข้มการส่องสว่าง คือ แคนเดลา (Candela, cd)

10) เส้นโค้งโพลาร์ (Polar curve) หมายถึง เส้นโค้งที่แสดงการกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคมไฟถนน โดยใช้พิกัดโพลาร์

11) สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Utilization factor) หมายถึง ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่ตกลงไปถึงพื้นที่ที่ต้องการให้แสงสว่างเทียบกับปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟและคิดเป็นร้อยละ

12) ประสิทธิศักย์การส่องสว่างของโคมไฟ (Luminaire luminous efficacy) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์การส่องสว่างของโคมไฟและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลักซ์การส่องสว่างของโคมไฟ หน่วยวัดเป็น Lumen/watt (lm/W)

13) ความสว่าง (Illuminance; E) หมายถึง ค่าที่ได้จากฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกบนพื้นที่ส่วนย่อยหนึ่งหารด้วยพื้นที่ส่วนย่อยนั้น หน่วยที่ใช้วัด คือ ลักซ์ (Lux, lx)

14) ความส่องสว่าง (Luminance; L) หมายถึง ปริมาณแสงสะท้อนออกมาจากพื้นผิวใด ๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อพื้นที่ หรือเรียกว่า ความจ้า (Brightness) ซึ่งปริมาณแสงที่เท่ากัน เมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีคุณสมบัติสะท้อนแสงสว่างที่ต่างกัน จะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน ทำให้เห็นวัตถุมีความส่องสว่างต่างกัน มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตาราเมตร (cd/m^2)

15) ความเปรียบต่าง หรือคอนทราสต์ (Contrast) หมายถึง ผลจากความแตกต่างของสี หรือความส่องสว่างของวัตถุ (Object) กับฉากหลัง (Background) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการมองเห็นวัตถุ ถ้าความแตกต่างระหว่างฉากกับวัตถุมีน้อย เราจะสามารถมองเห็นวัตถุได้ยากขึ้น ค่าความเปรียบต่างที่น้อยที่สุดที่สามารถเริ่มมองเห็นได้ เรียกว่า Contrast threshold

16) ความจ้าตา (Glare) หมายถึง สภาพที่แสงเข้าตาแล้วทำให้เสียความสามารถในการมองเห็นวัตถุได้หรือมองไม่เห็นเลย ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนต่อการมองเห็น

17) ความจ้าตาแบบเสียความสามารถ (Disability glare) หมายถึง ความจ้าตาที่ส่งผลต่อความสามารถในการมองเห็นโดยตรง เป็นความจ้าตาแบบเสียความสามารถที่เกิดจากการกระจายตัวของแสงภายในลูกตา ทำให้ลดความเปรียบต่างของภาพบนเรตินา ผลดังกล่าวนี้อาจอธิบายด้วยการวางทับซ้อนกัน (Superimposition) ของม่านบางความส่องสว่างสม่ำเสมอเหนือภาพฉาก (Scene) ซึ่งคิดเป็นปริมาณด้วยค่าความส่องสว่างม่านบางสมมูลย์ (Equivalent veiling luminance) ขนาดของความส่องสว่างม่านบางสมมูลย์นี้ขึ้นกับความสว่างบนลูกตาของคนขับจากโคมไฟและมุมที่มองเห็นโคมไฟ ระดับของความจ้าตาแบบเสียความสามารถจะเพิ่มขึ้นตามความส่องสว่างม่านบางสมมูลย์ แต่จะลดลงตามฟังก์ชันของความส่องสว่างถนนเฉลี่ย

18) ความจ้าตาแบบไม่สบายตา (Discomfort glare) หมายถึง ความจ้าตาที่ทำให้เกิดความไม่สบายตาและตาเกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย ยังไม่มีวิธีที่น่าพอใจอย่างสมบูรณ์ในการประเมินปริมาณความจ้าตาแบบไม่สบายตาของคนขับรถยนต์บนเส้นทางจราจร หลักฐานภาคสนามมีค่าแนะนำว่าการติดตั้งที่ออกแบบให้ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าไม่เกินขีดจำกัดตามที่กำหนด สามารถยอมรับได้โดยทั่วไปเมื่อคำนึงถึงความจ้าตาแบบไม่สบายตา สิ่งแวดล้อมที่สว่าง เช่น อาคารที่ถูกส่องสว่างมีแนวโน้มที่จะบรรเทาความจ้าตาแบบไม่สบายตา แต่เนื่องจากการส่องสว่างตัวอาคารสามารถแปรเปลี่ยนได้และอาจหายหมดไประหว่างช่วงกลางคืน ในทางปฏิบัติจึงไม่อนุญาตให้ใช้ประเด็นนี้ในการออกแบบการส่องสว่าง

19) ตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance factor; MF) หมายถึง ตัวประกอบการบำรุงรักษาโดยรวม ซึ่งเป็นผลคูณของ 3 องค์ประกอบ ต่อไปนี้ คือ (1) แฟกเตอร์ฟลักซ์ส่องสว่าง เรียกอีกอย่างว่า แฟกเตอร์การบำรุงรักษาลูเมนของหลอดไฟ (LLMF) (2) แฟกเตอร์การอยู่รอด เรียกอีกอย่างว่าแฟกเตอร์การอยู่รอดของหลอดไฟ (LSF) และ (3) แฟกเตอร์การบำรุงรักษาโคมไฟ เรียกอีกอย่างว่า LMF สมการตัวประกอบการบำรุงรักษา คือ MF= LLMF x LSF x LMF

20) ความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน (Average luminance of the road surface; L_{av}) หมายถึง ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุดของพื้นผิวถนนที่ต้องดำรงไว้ตลอดอายุของการติดตั้งระบบไฟแสงสว่างสำหรับระดับชั้นการส่องสว่างที่ระบุ ค่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟ ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟ รูปแบบการติดตั้งโคมไฟ และคุณสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวถนน โดยต้องคำนึงถึงตัวประกอบการบำรุงรักษาของโคมไฟและหลอดไฟด้วย

21) อัตราส่วนความสม่ำเสมอ (Uniformity ratio) หมายถึง อัตราส่วนของค่าความส่องสว่างของพื้นผิวถนน หรือค่าความสว่างบนพื้นผิวถนนที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับค่าความส่องสว่างเฉลี่ยหรือค่าความสว่างเฉลี่ย หรือค่าสูงสุด มีความสำคัญในการประเมินคุณภาพของแสงสว่างบนถนนโดยรวม หรือตามแนวยาวของถนน ซึ่งส่งผลต่อทัศนวิสัยของผู้ขับขี่

22) ความสม่ำเสมอโดยรวมของความส่องสว่างถนน (Overall uniformity of road luminance; U_o) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างต่ำสุดต่อความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน ค่านี้มีความสำคัญในด้านการควบคุมการมองเห็นได้ต่ำสุดบนถนน

23) ความสม่ำเสมอตามแนวยาวของความส่องสว่างถนน (Longitudinal uniformity of road surface luminance; U_l) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างต่ำสุดต่อความส่องสว่างสูงสุดบนแนวที่วิ่งขนานกับถนน (ปกติใช้แนวกึ่งกลางของช่องทางวิ่ง (Lane) แต่ละช่อง) ค่านี้จะส่งผลต่อความสบาย (Comfort) และใช้ป้องกันค่าความส่องสว่างสูงต่ำสลับซ้ำ ๆ กัน

24) อัตราส่วนความสว่างบริเวณขอบทาง (Edge illuminance ratio; EIR (R_{EI})) หมายถึง อัตราส่วนของค่าความสว่างแนวนอนเฉลี่ยบนพื้นที่ตามแนวยาวด้านนอกที่ติดกับขอบทางของผิวจราจรต่อค่าความสว่างแนวนอนเฉลี่ยบนพื้นที่ตามแนวยาวของผิวจราจรด้านในที่ติดกับขอบทาง โดยทั้งสองพื้นที่มีความกว้างเท่ากัน และเท่ากับความกว้างของช่องจราจรหนึ่งช่องทาง

25) ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Increment; TI (f_{TI})) เป็นมาตรวัดของการสูญเสียการมองเห็นได้ที่มีสาเหตุจากความจ้าตาแบบเสียความสามารถ (Disability glare) จากโคมไฟส่องสว่างบนถนนทางตรง การคำนวณจะอิงร้อยละที่ต้องเพิ่มขึ้นของผลต่างของความส่องสว่างที่จำเป็นเพื่อทำให้มองเห็นวัตถุได้เมื่อมีความจ้าตาเทียบกับเมื่อเริ่มมองเห็นได้เมื่อไม่มีความจ้าตา นั่นคือ เมื่อโคมไฟถูกบังให้พ้นจากการมองเห็นของผู้สังเกตการณ์ รายละเอียดการคำนวณให้ไว้ในมาตรฐาน CIE 140:2019 หรือ BS EN 13201-3:2015 ซึ่งการคำนวณต้องทำกับโคมไฟสะอาดพร้อมหลอดไฟที่ให้ฟลักซ์การส่องสว่างค่าเริ่มต้น (หลอดใหม่)

26) ความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนน (Average Illuminance on the road area; E_{av}) หมายถึง ค่าความสว่างเฉลี่ยต่ำสุดบนพื้นถนนที่ต้องดำรงไว้ตลอดอายุของการติดตั้งระบบไฟแสงสว่างสำหรับระดับชั้นการส่องสว่างที่ระบุ ค่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟ ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟ และรูปแบบการติดตั้งโคมไฟ โดยต้องคำนึงถึงตัวประกอบการบำรุงรักษาของโคมไฟและหลอดไฟด้วย

27) ความสม่ำเสมอโดยรวมของความสว่างถนน (Overall uniformity of road Illuminance; U_o) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความสว่างต่ำสุดต่อความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนน

28) ผู้รับจ้าง หมายถึง คู่สัญญาที่ทำงานก่อสร้าง หรือ ผู้ขออนุญาตกระทำการ หรือ ผู้รับสัมปทาน หรือ กรณีอื่น ๆ ที่ต้องดำเนินการติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์และตัวย่อ

สัญลักษณ์และตัวย่อ	ความหมาย
LED	Light Emitting Diode
มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ISO	International organization for standardization
CIE	International commission on illumination
BS EN	British Standard (European Norm)
IES-NA	Illuminating Engineering Society of North America
กฟน.	การไฟฟ้านครหลวง
กฟภ.	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
วสท.	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
MiT	Made in Thailand, สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย

1.5 ลักษณะงาน

งานที่ประกอบด้วย การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของพื้นที่การให้แสงสว่าง การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวงประเภทติดตั้งบนเสาไฟเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี พร้อมกับงานจัดหาชุดอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วย โคมไฟถนนแอลอีดี อุปกรณ์จับยึดโคมไฟ เสาไฟและกิ่งโคมพร้อมอุปกรณ์ เช่น

ฐานเสาไฟ สายไฟฟ้า หลักดิน สวิตช์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็น รวมทั้งการขนส่ง การเก็บรักษา การประกอบและติดตั้ง การติดต่อและขออนุญาตในการตรวจสอบระบบ การบรรจบกระแสไฟฟ้ากับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ และการทดสอบคุณภาพเพื่อให้ได้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวงที่ถูกต้องตามแบบและตามข้อกำหนดฉบับนี้และข้อกำหนดพิเศษของงาน อย่างไรก็ตามลักษณะงานที่กำหนดนี้ไม่ครอบคลุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างประเภทติดตั้งบนเสาสูง

2. วัสดุและอุปกรณ์

2.1 โคมไฟ

โคมไฟที่จะนำมาใช้งานกับถนนทางหลวงต้องเป็นโคมไฟถนนแอลอีดี (LED road light luminaire) ซึ่งมีสมรรถนะการให้แสงสว่างบนถนนเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง และมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง มีความปลอดภัยและคงทนต่อการใช้งานในระยะยาว โดยโคมไฟถนนแอลอีดีที่เหมาะสมกับการใช้งานบนถนนทางหลวง ต้องมีคุณสมบัติเฉพาะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

2.1.1 โคมไฟถนนแอลอีดีมีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ตัวโคมไฟ (Housing) ฝาครอบโคมไฟ (Cover) มอดูลแอลอีดี (LED module) เลนส์ควบคุมแสง (Optical lens) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า (Driver) อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge protective device; SPD) ขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ (Receptacle) สายไฟฟ้าและขั้วต่อสายไฟ (Wire and connector)

2.1.2 มีฟลักซ์ส่องสว่างรวมและคุณสมบัติการกระจายแสงที่เหมาะสม และมีความยืดหยุ่นกับการติดตั้งใช้งานบนถนนทางหลวงในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีสมรรถนะการส่องสว่างเป็นไปตามมาตรฐานระดับชั้นการให้แสงสว่างบนถนนทางหลวง ซึ่งพิจารณาตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก. 2954 และ BS EN 13201-2 และมีการควบคุมผลกระทบจากมลภาวะทางแสงของโคมไฟถนน

2.1.3 มีรูปแบบและโครงสร้างของตัวโคมไฟที่สามารถบำรุงรักษาได้ง่าย มีความคงทนแข็งแรง อายุการใช้งานยาวนาน และมีการลดลงของแสงจากการเสื่อมสภาพของแอลอีดีและฝุ่นละอองที่เกาะติดพื้นที่ให้แสงของโคมไฟในระดับต่ำ รวมทั้งมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าเกินเสิร์จเหมาะสมกับการใช้งานในระบบไฟฟ้าภายใต้สภาพแวดล้อมของถนนทางหลวง

2.1.4 มีสมรรถนะด้านการใช้พลังงานสูง ให้ค่าตัวบ่งชี้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power density indicator; PDI หรือ D_P) และตัวบ่งชี้การใช้พลังงานรายปี (Annual energy consumption indicator; AECI หรือ D_E) ไม่ควรเกินเกณฑ์สูงสุดที่กำหนด

2.1.5 โคมไฟถนนแอลอีดีและส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ ต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง และได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1955 ซึ่งเป็นมาตรฐานบังคับ รวมทั้งมาตรฐาน มอก. ทั่วไป และมาตรฐานอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับการกำหนดคุณสมบัติและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านความปลอดภัย ด้านสมรรถนะ ด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า และคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1.6 โคมไฟถนนต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย (Made in Thailand; MiT) โดยผู้ผลิตต้องได้รับการรับรองระบบบริหารงานคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 9001 หรือ ISO 9001 มีความพร้อมในการผลิตและการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.1.7 ผู้รับจ้างต้องมีเอกสารต่าง ๆ ที่สำคัญของโคมไฟจากผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่าย ได้แก่ เอกสารรับประกันสินค้า เอกสารยืนยันการสำรองชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโคมไฟตลอดระยะเวลาอายุการใช้งาน รายงานรับรองผลการทดสอบและเอกสารแสดงรายละเอียดคุณสมบัติเฉพาะและมาตรฐาน วิธีการถอดเปลี่ยนและคำแนะนำในการซ่อมบำรุงของโคมไฟและชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ

สำหรับข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะและมาตรฐานของโคมไฟถนนแอลอีดีโดยละเอียด รวมทั้งข้อแนะนำในการเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับถนนทางหลวงรูปแบบต่าง ๆ แสดงอยู่ใน ภาคผนวก ก และ ภาคผนวก ข ตามลำดับ

2.2 สายไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

สายไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 สายไฟฟ้า

1) สายไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างทั้งหมดเป็นสายทองแดงหุ้มด้วยฉนวน และมีเปลือกนอก ประกอบไปด้วยสายไฟฟ้าชนิด สาย NYY และสาย IEC10 ที่สามารถนำมาใช้งานได้ โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญของสายไฟฟ้าแต่ละชนิดดังนี้
   - สายไฟฟ้าระหว่างเสาไฟกำหนดให้ใช้สาย NYY ชนิดหลายแกน หุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก PVC ทนแรงดันไฟฟ้า 450/750 V และอุณหภูมิสูงสุด 70 °C ตามมาตรฐาน มอก. 11 เล่ม 101
   - สายไฟฟ้าภายในเสาไฟกำหนดให้ใช้สาย IEC10 ชนิดหลายแกน แบบมีสายดิน หุ้มฉนวน PVC มีเปลือกนอก PVC ทนแรงดันไฟฟ้า 300/500 V และอุณหภูมิสูงสุด 70 °C ตามมาตรฐาน มอก. 11 เล่ม 4 หรือสามารถใช้สาย NYY ทดแทนได้
2) สายต่อหลักดินเป็นสายทองแดงแกนเดียว หรือสาย THW (IEC01) หุ้มฉนวน PVC ทนแรงดันไฟฟ้า 450/750 V และอุณหภูมิสูงสุด 70 °C ตามมาตรฐาน มอก. 11 เล่ม 3
3) สายไฟฟ้ากำลังของวงจรเมนมีขนาดไม่น้อยกว่า 10 ตารางมิลลิเมตร สำหรับวงจรย่อยมีขนาดไม่น้อยกว่า 2.5 ตารางมิลลิเมตร
4) สายดินที่ต่อเข้ากับโคมไฟถนนแอลอีดีมีขนาดไม่น้อยกว่า 2.5 ตารางมิลลิเมตร

2.2.2 ท่อร้อยสายไฟฟ้าเหนือพื้นใช้ท่อเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี ชนิดหนา (Rigid steel conduit; RSC) ตามมาตรฐาน มอก. 770 สำหรับท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินใช้ท่อ HDPE ตามมาตรฐาน มอก. 982 หรือ DIN 8074 และ DIN 8075 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหมาะสมกับขนาดและจำนวนของสายไฟฟ้าภายในท่อ

2.2.3 เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นชนิดโมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Molded case circuit breaker; MCCB) ชนิด 1 เฟส 2 Pole สำหรับตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างแบบระบบ 1 เฟส

พิกัดแรงดันไฟฟ้า 230V AC หรือชนิด 3 เฟส 3 Pole พิกัดแรงดันไฟฟ้า 400V AC สำหรับตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างแบบระบบ 3 เฟส มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 16 A และพิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (IC) ไม่น้อยกว่า 25 kA ตามมาตรฐาน มอก. 60898 เล่ม 1 หรือ IEC 60898-1 เป็นชนิดตัดวงจรทันทีเมื่อเกิดการลัดวงจร และหน่วงเวลาตัดเมื่อมีโหลดเกิน ขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แสดงไว้ในแบบเฉพาะโครงการ

2.2.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อยเป็นชนิดโมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (MCCB) หรือมินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Miniature circuit breaker; MCB) ชนิด 1 Pole พิกัดแรงดันไฟฟ้า 230 V AC มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 10 A และพิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (IC) ไม่น้อยกว่า 10 kA ตามมาตรฐาน มอก. 60898 เล่ม 1 หรือ IEC 60898-1

2.2.5 เครื่องตัดไฟรั่ว หรือเครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (RCCB) ชนิด 2 Pole พิกัดแรงดันไฟฟ้า 230 V AC มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่าพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย พิกัดกระแสไฟฟ้ารั่วสูงสุดไม่เกิน 30 mA ตามมาตรฐาน มอก. 2425 หรือ IEC 61008-1

2.2.6 เครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (RCBO) ชนิด 2 Pole พิกัดแรงดันไฟฟ้า 230 V AC มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 10 A พิกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (IC) ไม่น้อยกว่า 10 kA และมีพิกัดกระแสไฟฟ้ารั่วสูงสุดไม่เกิน 30 mA ตามมาตรฐาน มอก. 909 หรือ IEC 61009-1 และต้องมีตัวบ่งชี้แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ทั้งในส่วนของการป้องกันกระแสเกินและกระแสไฟฟ้ารั่ว

2.2.7 แมกเนติคคอนแทคเตอร์ พิกัดแรงดันไฟฟ้า 230 V AC สำหรับตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างแบบระบบ 1 เฟส หรือ 400 V AC สำหรับตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างแบบระบบ 3 เฟส ตามมาตรฐาน IEC 60947-4-1 มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่ากระแสใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และต้องสามารถตัดวงจรที่มีกระแสเท่ากับขนาดพิกัดของคอนแทคเตอร์ ตามที่ระบุไว้ในแผนผังวงจรได้

2.2.8 โฟโต้สวิตช์ (Photo switch) เป็นแบบเทอร์มอลรีเลย์ ชนิด Plug-in สำหรับติดตั้งใช้งานภายนอกอาคาร เพื่อใช้เปิด-ปิดไฟฟ้าแสงสว่างถนน ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 220-240 V AC ทนกระแสได้ไม่น้อยกว่า 10 A การทำงานจะต้องเป็นลักษณะ Fail safe กล่าวคือ ถ้าโฟโตสวิตช์เสีย สวิตช์จะต้องต่อกันทำให้ไฟแสงสว่างติดตลอดเวลา อุปกรณ์ต้องทำงานได้ในสภาพอากาศในประเทศไทย โดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน สวิตช์ต้องทนต่อกระแสพุ่งเข้า (Inrush current) และเป็นชนิดที่ปรับความเข้มแสงได้

2.2.9 อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จ (Surge protective device; SPD) สำหรับใช้ลดทอนแรงดันไฟฟ้าเกินเสิร์จ ชนิด 1 เฟส พิกัดแรงดันไฟฟ้า 230 V AC ประเภท Type 1+2 หรือ Class I+II สำหรับตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างแบบระบบ 1 เฟส หรือชนิด 3 เฟส พิกัดแรงดันไฟฟ้า 230/400 V AC ประเภท Type 1+2 หรือ Class I+II สำหรับตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างแบบระบบ 3 เฟส ตามมาตรฐาน IEC 61643-11 โดยมีพิกัดกระแสคายประจุ (I_{imp}) ไม่น้อยกว่า 12.5 kA (Type 1 หรือ Class I) และกระแสคายประจุสูงสุด (I_{max}) ไม่น้อยกว่า 40 kA (Type 2 หรือ Class II) และมีตัวบ่งชี้แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ใช้สำหรับติดตั้งในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนน

2.2.10 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนน

1) ตู้ควบคุมเป็นแบบติดตั้งบนเสาไฟฟ้า หรือติดตั้งบนฐานคอนกรีต
2) ตู้ทำจากเหล็กเคลือบสังกะสี หรือโลหะชนิดสแตนเลสกรณีติดตั้งในบริเวณพื้นที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น พื้นที่ชายฝั่งทะเล โดยมีความหนาไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร มีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้ทั้งหมดตามที่แสดงในแบบ โดยมีช่องว่างสำหรับการเดินสายอย่างสะดวก ต้องเหลือเนื้อที่ว่างอีกไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของตู้ และต้องจัดให้สามารถระบายอากาศได้ในตัว
3) ตู้ต้องสามารถป้องกันไม่ให้น้ำฝน ฝุ่น หรือแมลงผ่านเข้าไปภายในตู้ได้ มีระดับการป้องกันฝุ่นและน้ำ (Ingress protection; IP) ไม่น้อยกว่า IP 55 ตามมาตรฐาน มอก. 513 หรือ IEC 60529 บนประตูต้องมีปะเก็นยางผนึกกับขอบ การต่อท่อร้อยสายไฟฟ้ากับตู้จะต้องเป็นแบบเกลียว และควรอยู่บริเวณด้านล่างของตู้
4) ประตูตู้ต้องออกแบบให้สามารถคล้องกุญแจปิดล็อคได้ เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าถึง โดยผู้รับจ้างต้องมอบลูกกุญแจให้ผู้ว่าจ้างจำนวน 6 ดอก
5) ภายในตู้มีจุดสำหรับต่อสายดินเข้าตัวตู้ และให้ติดตั้งไฟแสงสว่างและเต้ารับไฟฟ้าสำหรับใช้ในการบำรุงรักษา
6) ด้านในของประตูตู้ต้องติดตารางแสดงวงจรและการเดินสายไฟฟ้า ซึ่งบรรจุในซองพลาสติกแข็งใส โดยด้านนอกของตัวตู้ต้องติดตั้งเครื่องหมายเตือนอันตรายจากไฟฟ้าที่ผ่านการเห็นชอบแล้ว
7) ผู้รับจ้างจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ พร้อมเดินสายไฟฟ้าในตู้ให้เรียบร้อยจากโรงงานผู้ผลิต
8) ฐานคอนกรีตของตู้ที่ติดตั้งบนพื้นดิน ใช้คอนกรีตซึ่งต้องมีกำลังอัดประลัยไม่น้อยกว่า 30 MPa สำหรับตัวอย่างแท่นคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ที่อายุ 14 วัน หรือที่อายุ 28 วัน และลบมุมทุกมุมที่มองเห็นขนาด 2 เซนติเมตร

2.2.11 หลักดินและสายต่อหลักดิน

1) ใช้หลักดินชนิดแท่งเหล็กชุบด้วยทองแดง (Copper clad steel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร หรือ 5/8 นิ้ว ยาว 2,400 มิลลิเมตร หรือหลักดินตามมาตรฐาน วสท. หรือที่การไฟฟ้าฯ ยอมรับ
2) ใช้สายต่อหลักดินชนิด THW (IEC01) ตามมาตรฐาน มอก. 11 เล่ม 3 ขนาดไม่น้อยกว่า 10 ตารางมิลลิเมตร การต่อลงดินของตู้ควบคุมไฟฟ้าให้ติดตั้งในท่อร้อยสายชนิด RSC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หรือ 1 นิ้ว สำหรับสายต่อลงดินของเสาไฟให้ติดตั้งในท่อร้อยสายไฟชนิด PVC หรือ HDPE มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 ½ นิ้ว สำหรับท่อร้อยสายไฟชนิด PVC และมีขนาดไม่น้อยกว่า 1 ½ นิ้ว สำหรับท่อร้อยสายไฟชนิด HDPE ซึ่งติดตั้งอยู่ในฐานคอนกรีตของเสาไฟ ดังแสดงในรูปที่ 18
3) การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า 1 เฟส ให้ใช้ระบบต่อลงดินเหมือนกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส

2.3 เสาไฟและกิ่งโคม

แบบเสาไฟและกิ่งโคมไฟ ดูแบบและรายละเอียดประกอบใน Standard drawing for highway design and construction หัวข้อการติดตั้งเสาไฟแสงสว่างสำหรับถนนระดับพื้นดิน (Ground level road) หรือ มอก. 2316 มีรายละเอียดสำคัญ ดังต่อไปนี้

2.3.1 เป็นเสาไฟแบบตรง (Post top column) หรือเสาไฟแบบมีกิ่งโคม (Column with bracket) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนน ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4 ข้อกำหนดการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟ

2.3.2 การผลิตเสาไฟและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และได้รับการรับรองมาตรฐาน มอก. 2316

2.3.3 เสาไฟต้องทำจากเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี เป็นท่อกลมเรียว เชื่อมติดกับแผ่นหน้าจานเพื่อติดตั้งกับฐานด้านล่าง กิ่งโคมสามารถถอดได้ เสาไฟต้องมีช่องบานเปิดสำหรับใช้ติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า พร้อมมีฝาปิดเปิดเพื่อป้องกันความชื้นและฝุ่น โดยมีขนาดมิติของเสาไฟและชิ้นส่วนต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก. 2316 ฝาปิดเปิดจะต้องมีกุญแจล็อกเป็นแบบเดียวกันทุกเสาไฟ ผู้รับจ้างต้องมอบลูกกุญแจให้ผู้ว่าจ้าง 6 ดอกต่อสัญญา

2.3.4 กิ่งโคม (Bracket) จะต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงที่จะพยุงโคมไฟในทุกสภาวะ โดยปราศจากการเคลื่อนไหวและอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดโคมไฟ มีมุมการยึดโคมไฟขนาด 5 องศา โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 องศา

2.3.5 เสาไฟและกิ่งโคมที่ทำจากเหล็กจะต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดังต่อไปนี้

- ความหนาของแผ่นเหล็ก 4 มิลลิเมตร ± 8%
- ความต้านทานแรงดึงไม่น้อยกว่า 418 MPa
- ความต้านแรงดึงที่จุดคลากไม่น้อยกว่า 255 MPa
- ความยืดไม่น้อยกว่า ร้อยละ 21

2.3.6 ส่วนของเสาไฟที่อยู่เหนือพื้นดินจะต้องไม่เอียงเฉออกจากแนวตรงเกิน 3.0 มิลลิเมตร ต่อเมตร

2.3.7 เสาไฟ กิ่งโคม และตัวยึดที่เป็นเหล็กให้ป้องกันการผุกร่อนด้วยการเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot dip galvanizing) ตามกรรมวิธีของ ASTM A123/A123M ทั้งภายในและภายนอก มวลของสังกะสีที่เคลือบเฉลี่ยจากการทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 550 กรัมต่อตารางเมตร ตามมาตรฐาน มอก. 2316

2.3.8 โคนเสาไฟด้านนอกจะต้องทาด้วยสีเคลือบเงาแอลคีด ตามมาตรฐาน มอก. 327 พร้อมติดแผ่นสะท้อนแสงสีส้ม ตามมาตรฐาน มอก. 606 ขนาด 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร

2.3.9 รายละเอียดอื่น ๆ ของเสาไฟและกิ่งโคม หากไม่ได้กำหนดไว้ให้เป็นไปตาม มอก. 2316

2.3.10 ฐานคอนกรีตของเสาไฟ ต้องมีขนาดมิติตามที่กำหนดไว้ในแบบมาตรฐาน ซึ่งมีความแตกต่างกันตามความสูงของเสาไฟ โดยคอนกรีตต้องมีกำลังอัดประลัยไม่น้อยกว่า 30 MPa สำหรับตัวอย่างแท่นคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ที่อายุ 14 วัน หรือที่อายุ 28 วัน และเหล็กเสริมคอนกรีตต้องมีชั้นคุณภาพ SR24 ตามมาตรฐาน มอก. 20

2.3.11 แผงต่อวงจร (Switch board) เป็นแบบทนต่อความชื้น และทำมาจากแผ่นฉนวนกันไฟฟ้าประเภทเบกาไลท์ (Bakelite plate) ติดตั้งอยู่ภายในช่องบานเปิดของเสาไฟ ซึ่งสามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ง่าย มีขนาดไม่น้อยกว่า 7x25x0.5 เซนติเมตร เพียงพอต่อการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำเป็นทุกชนิด สามารถติดตั้งทางช่องบานเปิดของเสาไฟได้อย่างสะดวก

2.3.12 ภายในเสาไฟบริเวณช่องบานเปิดต้องมีที่จุดต่อสายดินจากหลักดินด้านล่างเข้ากับตัวเสาไฟ ทำด้วยเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเช่นเดียวกับตัวเสาไฟ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูสำหรับยึดสายดินไม่น้อยกว่า 8 มิลลิเมตร พร้อมน็อตและแหวนชนิดสแตนเลส

3. การออกแบบและมาตรฐานระดับชั้นแสงสว่าง

3.1 แนวทางการออกแบบแสงสว่างบนทางหลวง

การออกแบบแสงสว่างบนถนนต้องพิจารณาจุดประสงค์หลักด้านความปลอดภัยเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ควบคู่ไปกับการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ และลดผลกระทบของมลภาวะทางแสงที่เกิดขึ้นจากโคมไฟถนน โดยมีแนวทางการออกแบบดังนี้

3.1.1 ด้านความปลอดภัย (Safety)

การออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวงต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านความปลอดภัยต่อการใช้ถนนในเวลากลางคืน หรือในสภาวะที่มีแสงน้อย (Mesopic vision) โดยพิจารณาถึงสมรรถนะการส่องสว่างเพื่อให้ผู้ใช้ถนนมีการมองเห็นที่ดี ทำให้เกิดความเปรียบต่าง (Contrast) ของวัตถุกับพื้นผิวถนน ช่วยให้มองเห็นวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้ทั้งในมุมมองหลักและบริเวณโดยรอบ ในระยะที่สามารถตัดสินใจตอบสนองได้ทันเวลา ซึ่งควรพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average luminance; L_{av}) ในมุมมองของผู้ขับขี่ และคุณภาพของความส่องสว่างบนถนน ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความสว่างเฉลี่ย (Illuminance; $E_{h,\,av}$) บนถนน ลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนน และคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน เป็นต้น และควรเลือกใช้สเปกตรัมสีของแสงจากโคมไฟถนนแอลอีดีที่มีแสงสีน้ำเงินในระดับปานกลาง หรือต่ำ โดยเลือกใช้ค่าอุณหภูมิสีของแสง (CCT) ในช่วงแสงสีขาวธรรมชาติ (Natural white, 4,000K) สำหรับถนนทางหลวงที่ใช้ความเร็วในการสัญจร พื้นที่ขัดแย้งกัน หรือพื้นที่เขตเมือง เพื่อช่วยให้มองเห็นวัตถุได้ในระยะไกล หรือใช้สีขาวโทนอุ่น (Warm white, <3,000K) ซึ่งช่วยปรับสายตาของผู้ขับขี่และผู้ใช้ถนนในสภาพแสงต่ำได้ดี และช่วยลดการกระเจิงของแสงภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีทัศนวิสัยต่ำกว่าปกติ ซึ่งเหมาะสมกับถนนนอกเขตเมือง หรือถนนท้องถิ่นใกล้ที่อยู่อาศัย ในภาคผนวก ค แสดงการแบ่งกลุ่มค่าอุณหภูมิสีของแอลอีดีและเกณฑ์การยอมรับ สเปกตรัมสีของแสงที่เหมาะสมควรช่วยให้เกิดความเปรียบต่างของสี (Color contrast) ของวัตถุกับพื้นหลัง เพื่อให้ผู้ขับขี่สังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น หรือควรมีค่าดัชนีความสามารถในการให้สีวัตถุ (CRI) สูงเพียงพอ หรือไม่น้อยกว่า 70 สำหรับพื้นที่ซึ่งให้ความสำคัญกับการรับรู้ใบหน้า หรือความถูกต้องของสีวัตถุ ควรกำหนดให้ CRI มีค่าไม่น้อยกว่า 80

3.1.2 ด้านพลังงานไฟฟ้า (Electrical energy)

การออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวงต้องพิจารณาถึงสมรรถนะการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยควรพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ หรือสมรรถนะด้านพลังงานของไฟถนน ได้แก่ ลักษณะการกระจาย

แสงของโคมไฟ ที่ควรให้แสงลงสู่พื้นที่ใช้งานให้มากที่สุด หรือมีสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ทางแสงสูง และควรใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตัวบ่งชี้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power density indicator, PDI หรือ D_P) และตัวบ่งชี้การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (Annual energy consumption indicator, AECI หรือ D_E) ตามมาตรฐาน BS EN 13201-5 จึงควรเลือกใช้โคมไฟถนนแอลอีดีที่มีค่าประสิทธิศักย์การส่องสว่างสูง (High efficacy, lm/W) และมีการกระจายแสงที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนถนนทางหลวงมีสมรรถนะด้านการใช้พลังงานที่ดี

3.1.3 ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)

เนื่องจากแสงของโคมไฟถนนอาจส่งผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่โดยรอบ หรือเกิดมลภาวะทางแสง (Light pollution) ในรูปแบบของความจ้าตา (Glare) ทั้งในรูปแบบความจ้าตาแบบเสียความสามารถ (Disability glare) และความจ้าตาแบบไม่สบายตา (Discomfort glare) ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการมองเห็นในเวลากลางคืนขณะขับขี่หรือเดินถนนของผู้ใช้ทาง หรือการมีแสงรุกล้ำ (Light trespass) เข้าไปในเขตที่อยู่อาศัยและพื้นที่ธรรมชาติ อาจส่งผลกระทบต่อระบบนาฬิกาชีวิต สุขภาพ และการดำรงชีวิตของมนุษย์ พืช และสัตว์ ในเวลากลางคืน รวมทั้งแสงที่ส่องขึ้นด้านบนท้องฟ้า (Upward lighting) อาจรบกวนต่อการสังเกตท้องฟ้าด้านดาราศาสตร์ นอกจากนั้นการให้แสงสว่างที่มากเกินไป (Over illumination) หรือมีสเปกตรัมสีของแสงที่ไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน ดังนั้นในพื้นที่ซึ่งถนนอยู่ติดกับบ้านที่อยู่อาศัย หรือมีความอ่อนไหวต่อระบบนิเวศและมีความเป็นธรรมชาติสูง ควรควบคุมปริมาณแสงสว่างและเลือกใช้สเปกตรัมแสงสีขาวที่มีอุณหภูมิสีต่ำ เช่น 3,000K หรือต่ำกว่า 2,700K ขึ้นอยู่กับระดับของผลกระทบ ดังนั้นการออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวงต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากมลภาวะทางแสง ควรเลือกใช้โคมไฟถนนแอลอีดีที่มีการกระจายแสงให้เหมาะสม มีแสงส่องขึ้นด้านบนในระดับต่ำ และมีค่าความเข้มการส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด อ้างอิงตามข้อแนะนำ GN01 และ CIE 150 โดยติดตั้งโคมไฟถนนในมุมเอียงที่ไม่ทำให้เกิดความจ้าตาและแสงรุกล้ำ โคมไฟถนนที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณที่อยู่อาศัย หรือติดกับพื้นที่เกษตรกรรมอาจพิจารณาติดตั้งแผ่นกำบังแสง (Light shield) เพื่อลดแสงที่จะส่องออกนอกพื้นที่เขตทาง (Spill light) รวมทั้งควรเลือกใช้สเปกตรัมสีของแสงและควบคุมปริมาณแสงสว่างให้เหมาะสมกับการใช้งาน พื้นที่แวดล้อม และช่วงเวลา

3.2 มาตรฐานระดับชั้นแสงสว่างบนทางหลวง

3.2.1 ทางหลวงสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ (Motor traffic; M)

การเลือกระดับชั้นการให้แสงสว่างบนทางหลวงสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ตามมาตรฐาน มอก. 2954 หรือ PD CEN/TR 13201-1 ให้พิจารณาจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลกับความต้องการทางแสง ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันตามลำดับชั้นทางหลวง (Road hierarchy) ได้แก่ ความเร็ว ปริมาณจราจร ส่วนประกอบการจราจร การแยกส่วนช่องทางเดินรถ ความหนาแน่นของทางแยก การมีรถจอดริมทาง และการนำทางการมองเห็น/การควบคุมจราจร สำหรับความส่องสว่างแวดล้อมถูกกำหนดโดยสภาพแวดล้อมข้างทาง ซึ่งแบ่งออกเป็น พื้นที่เมือง พื้นที่ชานเมือง และพื้นที่ชนบท โดยลำดับชั้นทางหลวงแผ่นดินสามารถแบ่งได้เป็น 5 ลำดับชั้น ดังนี้

1) ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (Motorway)

เป็นทางหลวงที่เชื่อมโยงระหว่างเมืองหลวงไปยังศูนย์กลางของภูมิภาคต่าง ๆ ลักษณะการจราจรแบบผ่านตรง มีการรบกวนกระแสจราจรทางตรงน้อยมาก มีปริมาณการจราจรสูง ความเร็วในการออกแบบ 120-130 กม./ชม. มีขนาดจำนวนช่องจราจรมากกว่า หรือเท่ากับ 6 ช่องจราจร มีการแบ่งทิศทางจราจร มาตรฐานคุณภาพและมาตรฐานชั้นทางสูงที่สุด

2) ทางหลวงแผ่นดินสายประธาน (Link1)

เป็นทางหลวงที่เชื่อมโยงระหว่างเมืองหลวงกับเมืองหลักของภูมิภาคต่าง ๆ หรือเชื่อมโยงระหว่างสถานที่สำคัญระดับประเทศ ส่วนใหญ่เป็นการจราจรผ่านตรง มีการไหลแบบไม่ถูกขัดจังหวะ ยกเว้นที่ทางแยกหลัก ระดับการรบกวนกระแสจราจรทางตรงน้อย รองรับปริมาณจราจรสูง มีความเร็วในการออกแบบ 90-120 กม./ชม. มีขนาดจำนวนช่องจราจรอย่างน้อย 4 ช่องจราจรขึ้นไป เป็นถนนที่มีเกาะกลาง มาตรฐานคุณภาพและมาตรฐานชั้นทางสูงมาก

3) ทางหลวงแผ่นดินสายรองประธาน (Link2)

เป็นทางหลวงเส้นทางหลักที่เชื่อมโยงระหว่างเมืองศูนย์กลางของภูมิภาคกับจังหวัดต่าง ๆ หรือใช้รองรับการเดินทางระหว่างจังหวัดภายในภูมิภาค หรือเชื่อมโยงไปยังสถานที่สำคัญระดับภูมิภาค มีปริมาณการจราจรค่อนข้างสูง รองรับปริมาณจราจรระดับปานกลางถึงสูง มีการจราจรผ่านทางตรงค่อนข้างมาก ระดับของการรบกวนกระแสการจราจรทางตรงในระดับไม่สูงมากนัก ความเร็วในการออกแบบ 90-100 กม./ชม. มีขนาดจำนวนช่องจราจรอย่างน้อย 4 ช่องจราจร มาตรฐานคุณภาพและมาตรฐานชั้นทางสูง อาจมีเกาะกลางเพื่อแบ่งแยกทิศทางการจราจร

4) ทางหลวงแผ่นดินสายหลัก (Link3)

เป็นทางหลวงเส้นทางหลักในระดับจังหวัดที่เชื่อมโยงการเดินทางระหว่างอำเภอเมืองไปยังอำเภอต่าง ๆ ภายในจังหวัด รวมทั้งเชื่อมโยงกับทางหลวงแผ่นดินสายรองประธาน มีปริมาณจราจรบนเส้นทางปานกลาง และมีการรบกวนกระแสการจราจรทางตรงค่อนข้างมาก ความเร็วในการออกแบบ 90 กม./ชม. มีขนาดจำนวนช่องจราจรส่วนใหญ่เป็น 2 ช่องจราจร มาตรฐานคุณภาพและมาตรฐานชั้นทางอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง

5) ทางหลวงแผ่นดินสายรอง (Link4)

เป็นทางหลวงที่เชื่อมโยงตำบลหรือพื้นที่ย่อยต่าง ๆ เข้ากับเส้นทางหลวงในลำดับที่สูงกว่า และเชื่อมโยงกับโครงข่ายทางหลวงประเภทอื่น เช่น ทางหลวงชนบท และทางหลวงท้องถิ่น จำนวนทางแยกและทางเชื่อมสูง มีระดับการรบกวนกระแสการจราจรทางตรงมาก มีปริมาณจราจรบนเส้นทางน้อย ความเร็วในการออกแบบ 90 กม./ชม. มีขนาดจำนวนช่องจราจรส่วนใหญ่เป็น 2 ช่องจราจร มาตรฐานคุณภาพและมาตรฐานชั้นทางอยู่ในระดับปานกลาง

ตามเงื่อนไขพิจารณาข้างต้นสามารถกำหนดระดับชั้นการให้แสงสว่างบนทางหลวงสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ หรือระดับชั้น M เมื่อพิจารณาตามลำดับชั้นทางหลวงและสภาพแวดล้อมข้างทางได้ดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับกรณีอื่น ๆ ที่ไม่ได้กำหนดไว้ ให้พิจารณาเลือกระดับชั้นการให้แสงสว่างตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มอก. 2954 หรือ PD CEN/TR 13201-1

ตารางที่ 2 ระดับชั้นการให้แสงสว่างบนทางหลวงสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ (ระดับชั้น M)

ลำดับชั้นทางหลวง (Road hierarchy)	สภาพแวดล้อมข้างทาง		
	พื้นที่ชนบท	พื้นที่ชานเมือง	พื้นที่เมือง
ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (Motorway)	M2		
ทางหลวงแผ่นดินสายประธาน (Link1)	M3	M2	M1
ทางหลวงแผ่นดินสายรองประธาน (Link2)	M3	M2	M1
ทางหลวงแผ่นดินสายหลัก (Link3)	M4	M3	M2
ทางหลวงแผ่นดินสายรอง (Link4)	M4	M3	M2

เกณฑ์ที่ใช้ควบคุมการให้แสงสว่างบนถนนทางหลวงในระดับชั้น M กำหนดให้พิจารณาภายใต้แนวคิดด้านความส่องสว่าง (Luminance; L) อ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 13201-2 โดยถนนต้องมีความส่องสว่างเพียงพอเพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่มองเห็นวัตถุ สิ่งกีดขวาง หรือผู้ใช้ถนนอื่น ๆ ได้ในระยะไกล ในทิศทางมองตรงไปด้านหน้า ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนนที่ต้องดำรงไว้ (L_{av}) ความสม่ำเสมอโดยรวมของความส่องสว่าง (U_o) ความสม่ำเสมอตามแนวยาวของความส่องสว่าง (U_l) อัตราส่วนความสว่างบริเวณขอบทาง (R_{EI}) และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (f_{TI}) ซึ่งแสดงถึงความจ้าตาแบบเสียความสามารถ (Disability glare)

ตารางที่ 3 เกณฑ์ควบคุมสำหรับระดับชั้นการให้แสงสว่างสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ (M)

ระดับชั้นการให้แสงสว่าง	พื้นผิวถนน				ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน	อัตราส่วนความสว่างบริเวณขอบทาง
	แห้ง			เปียก*		
	L_{av} (cd/m^2) [เกณฑ์ต่ำสุด]	U_o [เกณฑ์ต่ำสุด]	U_l [เกณฑ์ต่ำสุด]	U_o [เกณฑ์ต่ำสุด]	f_{TI} (%) [เกณฑ์สูงสุด]	R_{EI} [เกณฑ์ต่ำสุด]
M1	2.00	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M2	1.50	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M3	1.00	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.30
M6	0.30	0.35	0.40	0.15	20	0.30

** ใช้เสริมกับสภาพผิวถนนแห้ง เมื่อพื้นผิวถนนเปียกเป็นเวลานานในช่วงมืด และมีข้อมูลการสะท้อนแสงของพื้นผิวถนนที่เหมาะสม*

3.2.2 ทางหลวงในพื้นที่เขตเมือง และบริเวณจุดเชื่อมต่อ (Conflict area; C)

ทางหลวงสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ที่วิ่งผ่านเข้าไปยังพื้นที่เขตเมือง หรือเขตชุมชน ซึ่งมีคนเดินเท้า คนขี่จักรยาน หรือผู้ใช้ถนนอื่น ๆ และบริเวณจุดเชื่อมต่อของทางหลวงที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพของถนน หรือมีการตัดกันของยานพาหนะ เช่น บริเวณทางแยก วงเวียน จุดกลับรถ บริเวณที่มีการลดจำนวนหรือความกว้างของช่องจราจร บริเวณพื้นที่จอดพักรถ และสถานีเก็บค่าผ่านทาง เป็นต้น

พื้นที่เหล่านี้ให้พิจารณาเป็นพื้นที่ขัดแย้งกัน (Conflict area; C) ตามมาตรฐาน มอก. 2954 ซึ่งยังคงแนะนำให้ใช้เกณฑ์ความส่องสว่าง (Luminance; L) ในการออกแบบแสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกันที่ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่สำหรับพื้นที่ขัดแย้งกันที่ผู้ขับขี่มีระยะการมองเห็นสั้นลง หรือน้อยกว่า 60 เมตร มีทิศทางการมองหลายลักษณะ และมีตำแหน่งผู้สังเกตหลายตำแหน่ง ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้เกณฑ์ความส่องสว่าง กำหนดให้ใช้ความสว่าง (Illuminance; E) เป็นเกณฑ์พิจารณาเฉพาะบนส่วนของพื้นที่ขัดแย้งกัน หรือบนพื้นที่ทั้งหมดได้ โดยมีแนวทางในเลือกระดับชั้นการให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน หรือระดับชั้น C ดังนี้

1) พื้นที่ขัดแย้งกันบนทางหลวงที่มีการให้แสงสว่าง

การกำหนดระดับชั้นการให้แสงสว่างบนส่วนของพื้นที่ขัดแย้งกัน หรือระดับชั้น C ซึ่งเชื่อมต่อกับทางหลวงที่มีการให้แสงสว่างระดับชั้น M ให้พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) ที่สะท้อนจากผิวถนนในทิศทางที่ผู้ขับขี่มองเห็นกับความสว่างแนวนอนเฉลี่ยบนถนน ($E_{h,av}$) ซึ่งขึ้นอยู่กับความขาว (Lightness) ของวัสดุผิวถนนที่แสดงอยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย (Average luminance coefficient; Q_o) ในตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระดับชั้นความสว่างแนวนอนเฉลี่ยบนพื้นที่ขัดแย้งกัน หรือระดับชั้น C ที่เทียบเท่ากันกับระดับชั้นความส่องสว่างเฉลี่ย หรือระดับชั้น M ของทางหลวงที่เชื่อมต่อกับส่วนของพื้นที่ขัดแย้งกัน อย่างไรก็ตามระดับชั้น C บนพื้นที่ขัดแย้งกันควรมีค่าไม่ต่ำกว่าระดับชั้นสูงสุดที่เทียบเท่าระดับชั้น M สูงสุดของทางหลวงทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับพื้นที่ขัดแย้งกัน โดยเฉพาะการกำหนดระดับชั้น C บริเวณทางแยกที่เชื่อมต่อกับทางหลวงที่ให้แสงสว่างหลายระดับชั้น M เข้าด้วยกัน

ตารางที่ 4 ระดับชั้นการให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน (ระดับชั้น C) ที่เชื่อมต่อกับทางหลวงระดับชั้น M

ประเภทของวัสดุผิวถนน	ระดับชั้น M สูงสุด ของทางหลวงที่เชื่อมต่อกับพื้นที่ขัดแย้งกัน							
	-	-	M1	M2	M3	M4	M5	M6
แอสฟัลต์	-	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
คอนกรีต	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

ข้อแนะนำ: ในทางปฏิบัติควรปรับเพิ่มระดับชั้น C ของพื้นที่ขัดแย้งกันอีกหนึ่งระดับจากที่แสดงไว้ในตารางที่ 4

2) พื้นที่ขัดแย้งกันบนทางหลวงที่ไม่มีการให้แสงสว่าง

การกำหนดระดับชั้น C ของพื้นที่ขัดแย้งกันที่ไม่มีการให้แสงสว่างใด ๆ บนทางหลวงที่วิ่งเข้าหาและวิ่งออกจากพื้นที่ขัดแย้งกัน เช่น บริเวณแยก หรือจุดกลับรถบนทางหลวงที่ไม่มีไฟส่องสว่าง หรือทางหลวงในพื้นที่ศูนย์กลางของเมืองซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ขัดแย้งกันอย่างชัดเจน การเลือกระดับชั้นการให้แสงสว่างของพื้นที่ขัดแย้งกันตามมาตรฐาน มอก. 2954 หรือ PD CEN/TR 13201-1 ให้พิจารณาจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับระดับชั้น M ยกเว้น ความหนาแน่นของทางแยก ซึ่งสามารถกำหนดระดับชั้นการให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน ตามลำดับชั้นทางหลวงและสภาพแวดล้อมข้างทาง ได้ตามตารางที่ 5 สำหรับกรณีอื่น ๆ ที่ไม่ได้กำหนดไว้ ให้พิจารณาตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มอก. 2954 หรือ PD CEN/TR 13201-1

ตารางที่ 5 ระดับชั้นการให้แสงสว่างบริเวณพื้นที่เชื่อมต่อและทางแยกบนทางหลวงแผ่นดิน

ลำดับชั้นทางหลวง (Road hierarchy)	สภาพแวดล้อมข้างทาง		
	พื้นที่ชนบท	พื้นที่ชานเมือง	พื้นที่เมือง
ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (Motorway)	C1		
ทางหลวงแผ่นดินสายประธาน (Link1)	C2	C1	C0
ทางหลวงแผ่นดินสายรองประธาน (Link2)	C2	C1	C0
ทางหลวงแผ่นดินสายหลัก (Link3)	C3	C2	C1
ทางหลวงแผ่นดินสายรอง (Link4)	C3	C2	C1

โดยเกณฑ์ควบคุมสำหรับการให้แสงสว่างบริเวณพื้นที่ขัดแย้งกันกำหนดไว้ในตารางที่ 6 อ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 13201-2 ประกอบไปด้วย ค่าความสว่างแนวนอนเฉลี่ยบนผิวถนนที่ต้องดำรงไว้ ($E_{h,av}$) ความสม่ำเสมอโดยรวมของความสว่าง ($U_o(E)$) และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (f_{TI}) สำหรับพื้นที่ขัดแย้งกันที่มีการจราจรด้วยความเร็วต่ำ มีระยะการมองเห็นสั้น มีตำแหน่งผู้สังเกตการณ์หลายตำแหน่ง และมีการวางตัวของโคมไฟหลายรูปแบบ อาจไม่สามารถคำนวณค่าส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยนได้ ให้ควบคุมความจ้าตาแบบเสียความสามารถโดยพิจารณาจากระดับชั้นความเข้มการส่องสว่าง (Luminous intensity class G) ของโคมไฟถนนโดยตรงที่มุมเงยขณะติดตั้งใช้งานจริง ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ซึ่งโคมไฟที่เหมาะสมควรมีระดับชั้นไม่ต่ำกว่า G3 หรือตั้งแต่ G3 ถึง G6

ตารางที่ 6 เกณฑ์ควบคุมสำหรับระดับชั้นการให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน (C)

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ความสว่างแนวนอนเฉลี่ย $E_{h,av}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ความสม่ำเสมอของความสว่าง U_o (E) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน f_{TI} (%) [เกณฑ์สูงสุด]
C0	50	0.40	15
C1	30	0.40	15
C2	20.0	0.40	15
C3	15.0	0.40	20
C4	10.0	0.40	20
C5	7.50	0.40	20

ระบบแสงสว่างที่ติดตั้งบนพื้นที่ขัดแย้งกันต้องมีระยะทางตามแนวยาวเพียงพอกับระยะวิ่งของรถยนต์ไม่น้อยกว่า 5 วินาที ที่ความเร็วในการออกแบบของถนน หรือคิดเป็นระยะทางที่ความเร็วต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระยะทางตามแนวยาวที่ต้องให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน บนทางหลวงที่ไม่มีการให้แสงสว่าง

ความเร็วที่ออกแบบ (กม./ชม.)	ระยะทางขั้นต่ำที่ต้องให้แสงสว่างบนพื้นที่ขัดแย้งกัน (เมตร)
120	170
100	140
90	125
50	70

3.2.3 ทางเดินเท้า ทางจักรยาน และถนนที่มีการจราจรด้วยความเร็วต่ำ (Pedestrian traffic; P)

บริเวณทางเดินเท้า ทางจักรยาน และถนนที่มีการจราจรด้วยความเร็วต่ำภายใต้ความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ให้พิจารณาเลือกระดับชั้นการให้แสงสว่างที่เหมาะสมจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตามข้อกำหนดของระดับชั้น P ในมาตรฐาน มอก. 2954 หรือ PD CEN/TR 13201-1 สำหรับเกณฑ์การควบคุมการให้แสงสว่างของระดับชั้น P กำหนดไว้ในตารางที่ 8 ตามมาตรฐาน BS EN 13201-2 ประกอบไปด้วย ค่าความสว่างแนวนอนเฉลี่ยบนผิวถนนที่ต้องดำรงไว้ ($E_{h,av}$) ค่าความสว่างแนวนอนต่ำสุด ($E_{h,min}$) และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (f_{TI}) กรณีที่การรับรู้ใบหน้า หรือความสว่างบนวัตถุแนวตั้งเป็นสิ่งจำเป็น ให้พิจารณาค่าความสว่างแนวตั้งต่ำสุด ($E_{v,min}$) และค่าความสว่างครึ่งทรงกระบอกต่ำสุด ($E_{sc,min}$) เพิ่มเติมเข้าไปด้วย สำหรับความจ้าตาในพื้นที่คนเดินเท้าและการจราจรด้วยความเร็วต่ำอาจควบคุมโดยพิจารณาจากระดับชั้นความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity class G) ซึ่งโคมไฟที่เหมาะสมควรมีระดับชั้นไม่ต่ำกว่า G3 หรือตั้งแต่ G3 ถึง G6

ตารางที่ 8 เกณฑ์ควบคุมสำหรับระดับชั้นการให้แสงสว่างสำหรับพื้นที่คนเดินเท้า ทางจักรยาน และการจราจรด้วยความเร็วต่ำ (P)

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ความสว่างแนวนอนเฉลี่ย* $E_{h,av}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ความสว่างแนวนอนต่ำสุด $E_{h,min}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน f_{TI} (%) [เกณฑ์สูงสุด]	ข้อกำหนดเพิ่มเติมถ้าการรับรู้ใบหน้า หรือความสว่างบนวัตถุแนวตั้งเป็นสิ่งจำเป็น	
				ความสว่างแนวตั้งต่ำสุด $E_{v,min}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ความสว่างครึ่งทรงกระบอกต่ำสุด $E_{sc,min}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]
P1	15.0	3.00	20	5.0	5.0
P2	10.0	2.00	25	3.0	2.0
P3	7.50	1.50	25	2.5	1.5

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ความสว่างแนวนอนเฉลี่ย* $E_{h,av}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ความสว่างแนวนอนต่ำสุด $E_{h,min}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน f_{TI} (%) [เกณฑ์สูงสุด]	ข้อกำหนดเพิ่มเติมถ้าการรับรู้ใบหน้า หรือความสว่างบนวัตถุแนวตั้งเป็นสิ่งจำเป็น	
				ความสว่างแนวตั้งต่ำสุด $E_{v,min}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]	ความสว่างครึ่งทรงกระบอกต่ำสุด $E_{sc,min}$ (lux) [เกณฑ์ต่ำสุด]
P4	5.00	1.00	30	1.5	1.0
P5	3.00	0.60	30	1.0	0.6
P6	2.00	0.40	35	0.6	0.2
P7	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	-	-

** เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของความสว่าง ค่าจริงของความสว่างแนวนอนเฉลี่ยที่ต้องดำรงไว้ต้องมีค่าไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าความสว่างแนวนอนเฉลี่ยต่ำสุดที่แสดงในแต่ละระดับชั้น*

3.3 ข้อกำหนดในการออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวง

การออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวงให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่แนะนำ และให้กำหนดคุณสมบัติและค่าของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวง

การออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวงทุกประเภทให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่แนะนำไว้ในมาตรฐาน BS 5489-1 ซึ่งประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) กำหนดรูปแบบและแยกประเภทของพื้นที่ถนนที่จะให้แสงสว่าง
2) เลือกระดับชั้นการให้แสงสว่าง กำหนดเกณฑ์พิจารณาด้านสมรรถนะการส่องสว่างและคุณภาพแสงสว่างของพื้นที่ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3) รวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ก่อนนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบแสงสว่าง ดังนี้

- พื้นที่ถนนสำหรับจราจรด้วยยานยนต์ (Motorized traffic; M)
  - ก. ความสูงที่ติดตั้งโคมไฟถนน
  - ข. ชนิดของโคมไฟถนน และการปรับตั้งอุปกรณ์ควบคุมแสง
  - ค. ฟลักซ์ส่องสว่างเริ่มต้นของโคมไฟถนนแอลอีดี
  - ง. พิกัดการป้องฝุ่นและน้ำ (IP rating)
  - จ. ช่วงระยะเวลาที่วางแผนไว้ในการทำความสะอาดโคมไฟถนน
  - ฉ. ระดับมลภาวะ หรือฝุ่นละอองในบริเวณที่ติดตั้งโคมไฟถนน
  - ช. ตัวประกอบการบำรุงรักษาของโคมไฟถนน (LMF)
  - ซ. ช่วงระยะเวลาที่วางแผนไว้ในการเปลี่ยนทดแทนของมอดูลแอลอีดี
  - ฌ. ตัวประกอบฟลักซ์ส่องสว่างของแพ็กเกจแอลอีดี (LLMF)

ญ. ตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF)
ฎ. มุมเอียงในการติดตั้งโคมไฟถนน (Tilt angle)
ฏ. ความกว้างของช่องทางเดินรถ (Carriageway) ในแต่ละทิศทาง
ฐ. ความกว้างของช่องจราจร (Driving lane)
ฑ. ความกว้างของพื้นที่ที่จะให้แสงสว่างที่อยู่ติดกับช่องทางเดินรถ เช่น ไหล่ทาง ทางเท้า หรือความกว้างของพื้นที่ที่แยกส่วนออกไป เมื่อมีการแยกระดับชั้นการให้แสงสว่าง
ฒ. ตำแหน่งติดตั้งโคมไฟตามแนวขวางของถนน หรือระยะยื่นของโคมไฟถนน
ณ. รูปแบบและตำแหน่งติดตั้งโคมไฟถนน (Luminaire arrangement)
ด. ข้อมูลตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน (r-table)

- พื้นที่ขัดแย้งกัน (Conflict area; C)

มีความต้องการข้อมูลเบื้องต้นเช่นเดียวกับถนนประเภท M แต่มีข้อมูลบางส่วนที่มีความแตกต่างกัน ดังนี้

ก. ลักษณะรูปร่างของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องไม่ใช่ถนนแนวตรงทั่วไป
ข. พื้นที่ที่เกี่ยวข้องอาจอยู่ติดกันกับช่องทางเดินรถ (Carriageway)
ค. มุมในแนวราบ (Azimuth) ของโคมไฟถนนแต่ละโคมที่สัมพันธ์กับการวางแนวของพื้นที่จุดคำนวณแสง (Calculation grid)
ง. ไม่ต้องใช้ข้อมูลตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน (r-table) บนพื้นที่ขัดแย้งที่ใช้เกณฑ์ด้านความสว่าง (Illuminance; E)

4) คำนวณระยะห่างระหว่างเสาไฟ หรือเลือกใช้โคมไฟถนนที่เหมาะสม โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณตามมาตรฐาน CIE 140 หรือ EN 13201-3 ซึ่งจำเป็นต้องมีการคำนวณซ้ำเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น ความสูงติดตั้งโคมไฟถนน ระยะห่างระหว่างเสาไฟ รูปแบบการจัดวางโคมไฟ ประเภทและรุ่นของโคมไฟ การปรับอุปกรณ์ควบคุมแสงของโคมไฟ ค่าฟลักซ์ส่องสว่างรวม โดยเงื่อนไขความเหมาะสมอาจเกี่ยวข้องกับงบประมาณในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตัวบ่งชี้สมรรถนะด้านการใช้พลังงาน ผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม หรือความสวยงาม
5) วางแบบการวางตำแหน่งของเสาไฟและโคมไฟถนน
6) กำหนดตำแหน่งเสาไฟ และอุปกรณ์สนับสนุนอื่น ๆ โดยพิจารณาถึงการกีดขวางของสายไฟฟ้าเหนือหัว สายไฟใต้ดินและงานบริการอื่น ๆ ตำแหน่งของต้นไม้และการเติบโต หลีกเลี่ยงแสงส่องรบกวนและอยู่ไกลจากหน้าต่าง หลีกเลี่ยงบริเวณที่รถยนต์อาจชนเสาไฟได้

3.3.2 การกำหนดค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance factor; MF)

ในการออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวงต้องคำนึงถึงการลดลงของค่าความส่องสว่างและค่าความสว่างตามเวลาการใช้งาน เพื่อให้มั่นใจว่าสมรรถนะการส่องสว่างบนถนนยังคงอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดที่ต้องดำรงไว้ของระดับชั้นการให้แสงสว่างที่กำหนด โดยให้กำหนดค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance factor; MF) จากผลคูณของตัวประกอบการบำรุงรักษาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ตัวประกอบค่าฟลักซ์การส่องสว่าง หรือการลดลงของค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากการเสื่อมสภาพของหลอดไฟ หรือแพ็กเกจแอลอีดี (Lamp luminous flux maintenance factor; LLMF) ตัวประกอบการดำรงอยู่ของหลอดไฟ (Lamp survival factor; LSF) หรือการดับของแพ็กเกจแอลอีดี และตัวประกอบการบำรุงรักษาของโคมไฟ (Luminaire maintenance factor; LMF) ซึ่งเกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองบนพื้นที่ให้แสงของโคมไฟ

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF$$

สำหรับโคมไฟถนนแอลอีดีที่ใช้งานบนถนนทางหลวง ซึ่งกำหนดให้มีค่าฟลักซ์การส่องสว่างลดลงไม่เกิน 10% (L_{90}) ภายใต้อายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 50,000 ชั่วโมง ตัวโคมไฟมีการป้องกันฝุ่นและน้ำไม่ต่ำกว่าระดับ IP65 ภายใต้การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส มีมลภาวะในระดับปานกลาง และกำหนดระยะเวลาในการบำรุงรักษาและทำความสะอาดโคมไฟไม่เกิน 3 ปี กำหนดให้ตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) มีค่าเท่ากับ 0.75 กรณีที่พิจารณาภายใต้เงื่อนไขอื่น ๆ การกำหนดค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาของโคมไฟถนนให้อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO/CIE TS 22012 และหากมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าฟลักซ์การส่องสว่างของโคมไฟก็ให้นำมาพิจารณาร่วมกันด้วย เช่น ผลกระทบจากอุณหภูมิแวดล้อม และแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย เป็นต้น

3.3.3 การกำหนดคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน

การออกแบบแสงสว่างบนถนนทางหลวงสำหรับการจราจรด้วยยานยนต์ (Motor traffic; M) ให้กำหนดคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน หรือข้อมูลตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน (r-table) ตามมาตรฐาน CIE 144 ระดับชั้น R สำหรับใช้คำนวณค่าความส่องสว่าง (Luminance) บนถนนในสภาพพื้นผิวถนนแห้ง (Dry road surfaces) ตามตารางที่ 9 ซึ่งแบ่งระดับชั้นตามค่าตัวประกอบความเงาของผิวถนน (Specular factor; S_1) ยกเว้นกรณีที่มีการกำหนดข้อมูลตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (r-table) ของวัสดุผิวถนนทางหลวงไว้เป็นการเฉพาะแล้ว กรณีที่ต้องการออกแบบบนพื้นผิวถนนเปียก (Wet road surfaces) อาจอ้างอิงข้อมูลคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน ระดับชั้น W สำหรับการพิจารณาในเบื้องต้นได้

ตารางที่ 9 คุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุผิวถนนระดับชั้น R ตามมาตรฐาน CIE 144

ระดับชั้น R	ช่วงของค่า S_1	ค่า S_1 มาตรฐาน	ค่า Q_0 มาตรฐาน	คำอธิบาย	การสะท้อนแสง
R1	$S_1 < 0.42$	0.25	0.10	แทนผิวถนนคอนกรีต หรือผิวถนนแอสฟัลต์ที่ผสมหินบดและมีหินบดสีขาวสะท้อนแสงได้ดีไม่น้อยกว่า 15% ของหินบด	ผิวด้าน แสงกระจายอย่างมาก
R2	$0.42 \le S_1 < 0.85$	0.58	0.07	แทนผิวถนนแอสฟัลต์ที่ผสมหินบดขนาดโตกว่า 10 mm ไม่น้อยกว่า 60% ของหินบด หรือผิวถนนแอสฟัลต์ที่ผสมหินบดสีขาว 10-60%	ผิวด้านผสมเงา แสงสะท้อนและกระจาย
R3	$0.85 \le S_1 < 1.35$	1.11	0.07	แทนผิวถนนแอสฟัลต์ที่ผสมหินบดสีทึบแสง หรือผิวถนนแอสฟัลต์ที่ผ่านการใช้งานมาหลายเดือน	ผิวเงาน้อย แสงมีการสะท้อนบางส่วน
R4	$1.35 \le S_1$	1.55	0.08	แทนผิวถนนแอสฟัลต์ที่เรียบ และมีเนื้อละเอียดมาก	ผิวเงามาก แสงสะท้อนอย่างมาก

หมายเหตุ: 1) ผิวถนนประเภทคอนกรีต กำหนดให้ใช้ตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างประเภท R1
2) ผิวถนนประเภทแอสฟัลต์ กำหนดให้ใช้ตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างประเภท R3

3.3.4 การพิจารณาสมรรถนะด้านการใช้พลังงาน

การประเมินสมรรถนะด้านการใช้พลังงานของไฟถนน ให้พิจารณาจาก 2 ตัวบ่งชี้ ตามมาตรฐาน BS EN 13201-5 ประกอบไปด้วย

1) ตัวบ่งชี้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power density indicator, PDI หรือ D_P)

มีหน่วยเป็น $mW.lx^{-1}.m^{-2}$ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้กำลังไฟฟ้าของโคมไฟถนนที่เปลี่ยนมาเป็นค่าความสว่างบนพื้นผิวถนนภายในพื้นที่ที่กำหนด ค่า PDI หรือ D_P คำนวณได้ดังนี้

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n}\left(E_{m,i} \cdot A_i\right)}$$

โดยที่

D_P คือ ตัวบ่งชี้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า มีหน่วย $mW.lx^{-1}.m^{-2}$

P คือ กำลังไฟฟ้าของระบบติดตั้งการให้แสงสว่างที่ใช้ในพื้นที่ มีหน่วย W

$E_{m,i}$ คือ ค่าความสว่างบนระนาบนอนเฉลี่ยที่ดำรงไว้ของพื้นที่ย่อย i มีหน่วย lx

A_i คือ ขนาดของพื้นที่ย่อย i มีหน่วย m^2

n คือ จำนวนพื้นที่ย่อยที่มีการให้แสงสว่าง

2) ตัวบ่งชี้การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (Annual energy consumption indicator, AECI หรือ D_E)

มีหน่วยเป็น $kWh.m^{-2}.yr^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงจำนวนหน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าของไฟถนนที่ใช้งานใน 1 ปี ต่อหน่วยพื้นที่ของถนนที่ให้แสงสว่าง ค่า AECI หรือ D_E คำนวณได้ดังนี้

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^{m}(P_j \cdot t_j)}{A}$$

โดยที่

D_E คือ ตัวบ่งชี้การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีสำหรับระบบการให้แสงสว่างถนนระบบหนึ่ง มีหน่วย $kWh.m^{-2}.yr^{-1}$

P_j คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการให้แสงสว่างของระบบในช่วงเวลาทำงาน j^{th} มีหน่วย W

t_j คือ ช่วงเวลา j^{th} ของโปรไฟล์การทำงานใน 1 ปี ที่ใช้กำลังไฟฟ้า P_j มีหน่วย $h.yr^{-1}$

A คือ ขนาดพื้นที่ของระบบการให้แสงสว่าง มีหน่วย m^2

m คือ จำนวนช่วงเวลาที่ใช้กำลังไฟฟ้า P_j ที่ต่างกัน ทั้งนี้ต้องพิจารณารวมถึงเวลาที่ไม่มีการให้แสงสว่างของระบบด้วย

ตัวบ่งชี้ PDI และ AECI สามารถนำมาใช้พิจารณาได้กับถนนทุกประเภท สำหรับเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงานของไฟถนนที่มีเทคโนโลยีต่างกันในโครงการเดียวกัน แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบกันระหว่างถนนหรือโครงการที่มีความแตกต่างกันได้ กรณีที่มีการปรับเปลี่ยนระดับชั้นการให้แสงสว่างระหว่างการใช้งาน เช่น การหรี่แสงสว่างในบางช่วงเวลา เนื่องจากมีความหนาแน่นของการจราจรลดลง ให้คำนวณค่า PDI แยกเป็นแต่ละระดับชั้น และคำนวณค่าเฉลี่ยของ PDI ตลอดช่วงการใช้งานต่อวันหรือต่อปี โดยค่า PDI และ AECI ต้องแสดงผลหรือนำไปใช้ควบคู่กันเพื่อประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานของไฟถนน เกณฑ์สูงสุดของตัวบ่งชี้ทางด้านสมรรถนะการใช้พลังงานของโคมไฟถนนแอลอีดี เมื่อติดตั้งใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

3.4 ข้อกำหนดการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟ

ในการออกแบบการให้แสงสว่างบนถนน ต้องคำนึงถึงรูปแบบติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนน (Pole and luminaire arrangements) ซึ่งกำหนดโดยรูปแบบและประเภทของถนน ความกว้างของถนน (w) และความสูงที่ติดตั้งโคมไฟ (h) นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ตำแหน่งหรือระยะติดตั้งเสาไฟ ซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะยื่น (Overhang) ของโคมไฟ มุมเอียง (Tilt angle) และช่วงห่างของเสาไฟ (Spacing หรือ Span; S) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดของแต่ละรูปแบบดังนี้

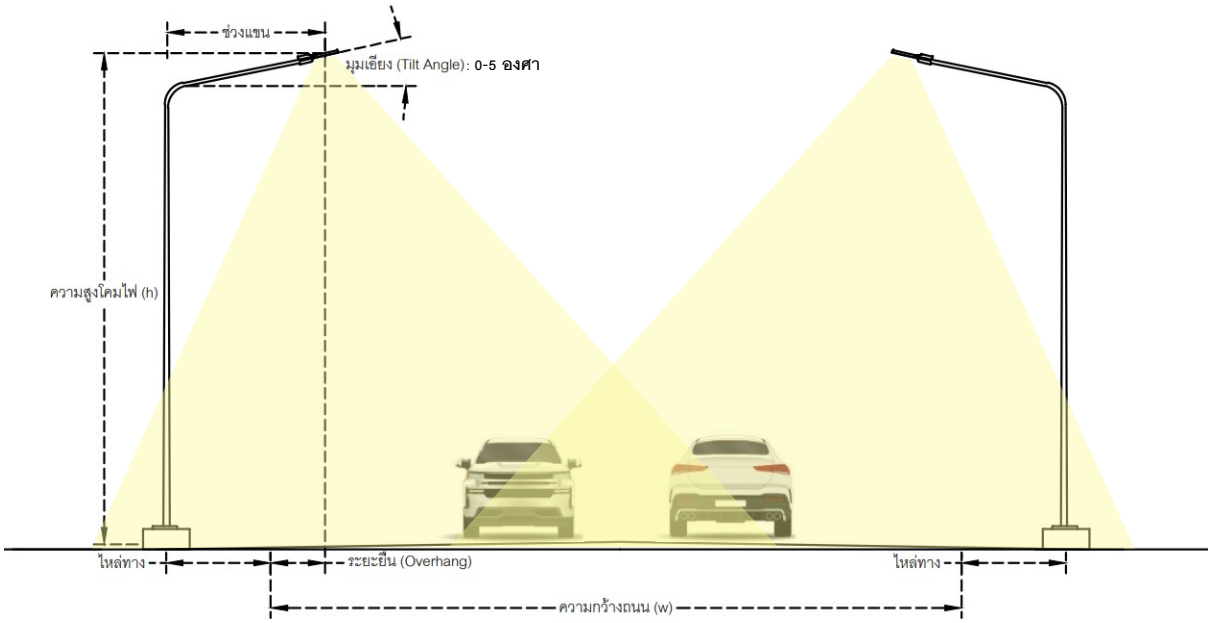
3.4.1 การติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนน สำหรับถนนทางตรง

แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2 ถึง รูปที่ 5 คือ เสาไฟกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว (Single sided) เสาไฟกิ่งเดี่ยวติดสลับ (Staggered) เสาไฟกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม (Opposite sided) และเสาไฟกิ่งคู่ติดเกาะกลางถนน (Twin central) โดยมีเงื่อนไขและข้อแนะนำในการใช้งาน ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ จำนวนช่องจราจร หรือความกว้างของถนน และความสูงของเสาไฟ ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เงื่อนไขและข้อแนะนำในการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนรูปแบบต่าง ๆ สำหรับถนนทางตรง

รูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน	เงื่อนไขที่เหมาะสม	รูปแบบถนน
เสาไฟกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว	w ≤ 1h	ถนนไม่มีการแบ่งทิศทางการจราจร
เสาไฟกิ่งเดี่ยวติดสลับ	1h < w ≤ 1.5h	ถนนหลายช่องจราจร ไม่มีเกาะกลาง
เสาไฟกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม	1.5h < w ≤ 2.5h	ถนนหลายช่องจราจร มีเกาะกลางถนน หรือไม่มีเกาะกลางถนน
เสาไฟกิ่งคู่ติดเกาะกลางถนน	w/2 ≤ 1h	ถนนในเขตเมืองที่มีเกาะกลางถนนแบบยก

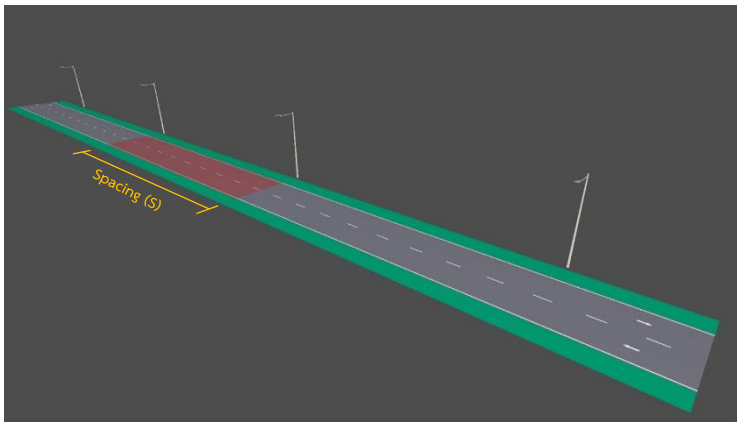
หมายเหตุ: w คือ ความกว้างของถนนรวมทุกทิศทางการเดินรถ (พิจารณาเฉพาะผิวจราจร ไม่รวมไหล่ทาง)
h คือ ความสูงในการติดตั้งโคมไฟถนน



รูปที่ 1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดรูปแบบการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนน

1) การติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว (Single sided)

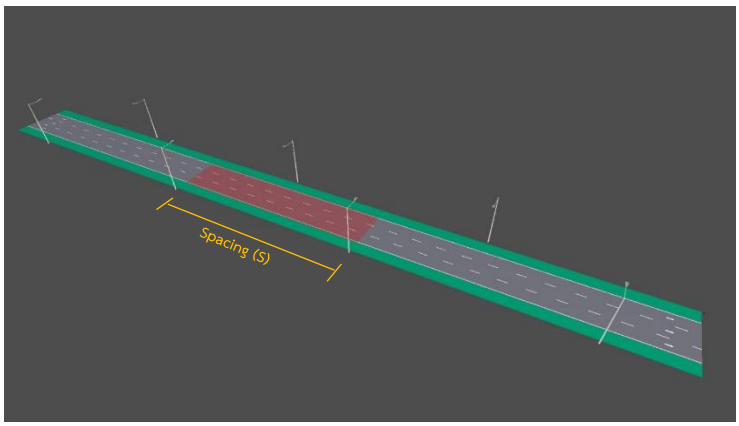
เหมาะสำหรับการติดตั้งบนทางหลวงที่มีความกว้างถนนน้อยกว่าความสูงของโคมไฟ หรือถนนขนาด 2 ช่องจราจร และ 3 ช่องจราจร สำหรับเสาไฟสูง 9 เมตร และ 12 เมตร ตามลำดับ ได้แก่ ทางลาดเชื่อมกับทางต่างระดับ สะพานกลับรถ ทางขนาน ทางสายรองหรือถนนท้องถิ่นขนาด 2 ช่องจราจร และถนนขนาดเล็กในซอย ทางจักรยาน หรือทางเท้า แสดงดังรูปที่ 2 การติดตั้งโคมไฟแบบด้านเดียวให้ติดตั้งบนเสาไฟที่อยู่บนทางเท้า หรือไหล่ทาง



รูปที่ 2 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว (Single sided)

2) การติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดสลับ (Staggered)

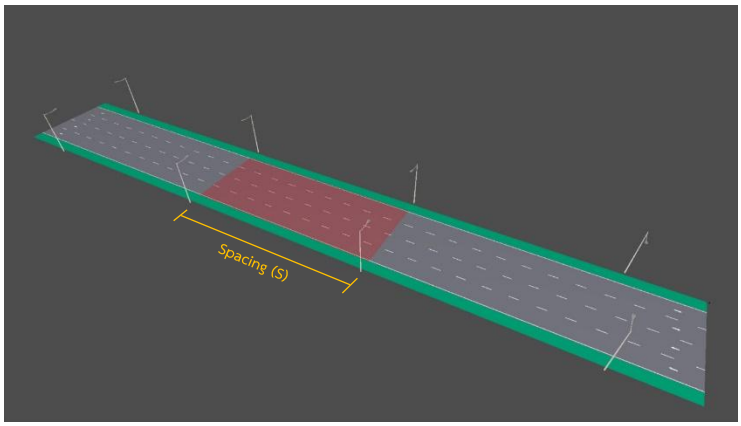
เหมาะสำหรับติดตั้งบนทางหลวงที่มีความกว้างถนนระหว่าง 1 ถึง 1.5 เท่าของความสูงโคมไฟ หรือถนนขนาด 3 ช่องจราจร และ 4-5 ช่องจราจร สำหรับเสาไฟสูง 9 เมตร และ 12 เมตร ตามลำดับ ได้แก่ ถนนหลายช่องจราจรที่ไม่มีเกาะกลาง แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดสลับ (Staggered)

3) การติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม (Opposite sided)

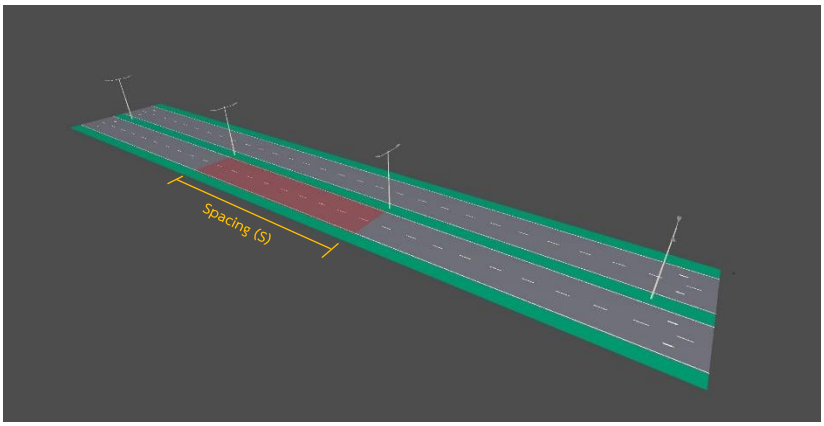
เหมาะสำหรับการติดตั้งบนทางหลวงที่มีความกว้างถนนมากกว่า 1.5 เท่า แต่ไม่เกิน 2.5 เท่า ของความสูงโคมไฟ หรือถนนขนาด 4-6 ช่องจราจร และ 6-8 ช่องจราจร สำหรับความสูงเสาไฟ 9 เมตร และ 12 เมตร ตามลำดับ ทั้งที่มีเกาะกลางถนนและไม่มีเกาะกลางถนน แสดงดังรูปที่ 4 ในกรณีที่ถนนมีการจราจรสองทิศทางสามารถเทียบได้กับการติดตั้งโคมไฟแบบด้านเดียวทั้งสองฝั่งถนน



รูปที่ 4 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม (Opposite sided)

4) การติดตั้งโคมไฟแบบติดกิ่งคู่บนเกาะกลาง (Twin central)

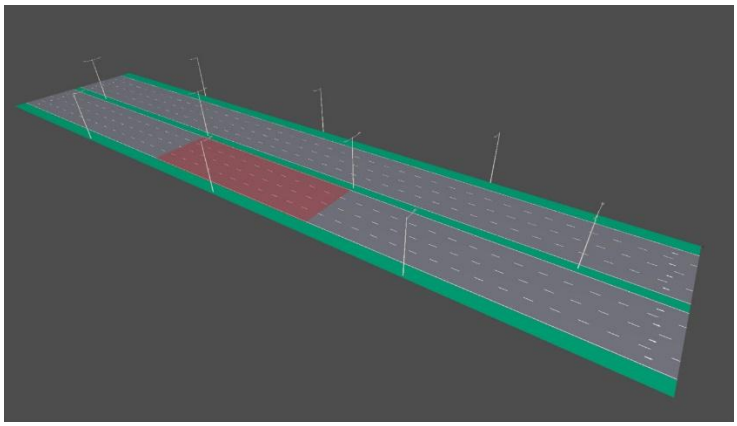
เหมาะสมกับถนนทางหลวงที่มีการจราจรสองทิศทางและมีเกาะกลางสำหรับติดตั้งเสาไฟและโคมไฟตามแนวกึ่งกลางของเกาะกลาง โดยเกาะกลางต้องมีความกว้างไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งคล้ายกับการติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียวสองแถวหันด้านหลังโคมไฟเข้าหากัน จึงเหมาะสมกับถนนที่มีความกว้างในแต่ละทิศทางไม่เกินความสูงของโคมไฟ ในเขตเมืองที่มีเกาะกลางแบบยก (Raised median) หรือถนนขนาด 4 ช่องจราจร และ 6 ช่องจราจร สำหรับเสาไฟสูง 9 เมตร และ 12 เมตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5



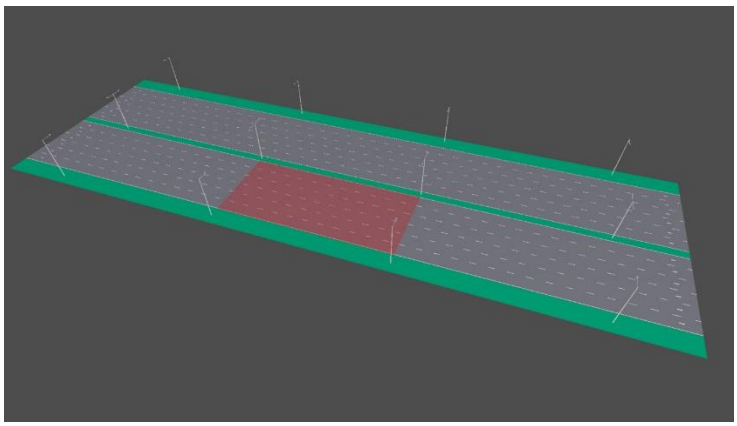
รูปที่ 5 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบติดกิ่งคู่เกาะกลาง (Twin central)

การติดตั้งเสาไฟในลักษณะด้านเดียวทั้งแบบกิ่งเดี่ยวหรือกิ่งคู่บนเกาะกลางถนน อาจให้ความสว่างบนผิวถนนในช่องจราจรที่อยู่ด้านเดียวกับเสาไฟมากกว่าด้านตรงข้าม หรือมีความสม่ำเสมอของความสว่างน้อยกว่าแบบติดสลับและติดตรงข้าม ตามลำดับ สำหรับในพื้นที่ซึ่งมีสภาวะผิวถนนเปียกในช่วงเวลากลางคืนค่อนข้างมาก การติดตั้งโคมไฟแบบตรงข้ามสามารถช่วยลดผลกระทบของความไม่สม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Luminance uniformities) ได้ดีกว่ารูปแบบอื่น ๆ และกรณีที่ถนนมีจำนวนช่องจราจรมากกว่า 6 ช่องจราจร ขึ้นไป เช่น ทางหลวงพิเศษขนาด 8-12 ช่องจราจร และมีเกาะกลางถนนแยกทิศทางการจราจร ควรติดตั้งเสาไฟและโคมไฟแบบผสมผสานกันระหว่างเสาไฟกิ่งคู่บนเกาะกลางร่วมกับเสาไฟกิ่งเดี่ยวติดสลับ

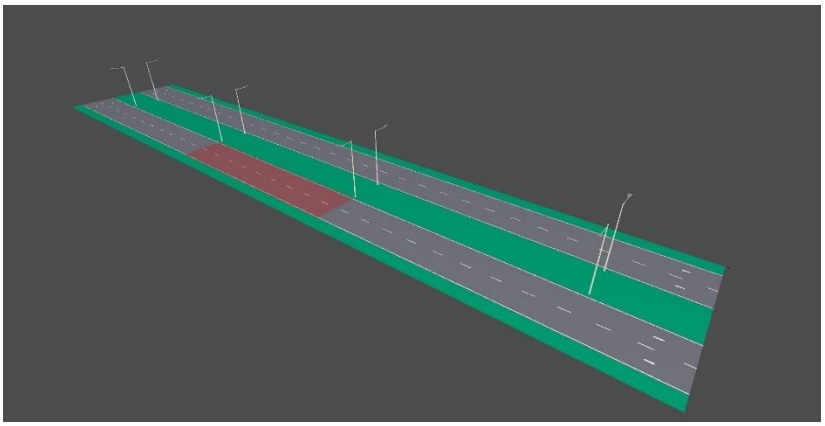
(Twin central with staggered) หรือเสาไฟกิ่งคู่บนเกาะกลางร่วมกับเสาไฟกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม (Twin central with opposite sided) ดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 เพื่อให้แสงจากโคมไฟส่องครอบคลุมถนนที่มีความกว้างหลายช่องจราจรได้อย่างทั่วถึง นอกจากนั้นถนนที่มีเกาะกลางกว้างมากกว่า 6 เมตร หากเลือกใช้การติดตั้งเสาไฟบนเกาะกลางให้ติดตั้งแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียวจำนวน 2 ต้น แยกออกจากกัน ดังรูปที่ 8 กรณีถนน 2 ช่องจราจรขนาดเล็ก ซอย ทางจักรยาน หรือทางเท้า ซึ่งมีความกว้างของช่องจราจรน้อยกว่า 3 เมตร สามารถเลือกใช้เสาไฟที่มีความสูงน้อยกว่า 9 เมตร ได้ ตามความสูงที่ระบุในมาตรฐาน มอก. 2316 โดยติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว กิ่งเดี่ยวติดสลับ หรือรูปแบบอื่น ๆ ให้เหมาะสมกับรูปแบบและความกว้างของถนน



รูปที่ 6 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบผสมผสานระหว่างกิ่งคู่บนเกาะกลางและกิ่งเดี่ยวติดสลับ (Twin central with staggered)



รูปที่ 7 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟแบบผสมผสานระหว่างกิ่งคู่บนเกาะกลางและกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม (Twin central with opposite sided)

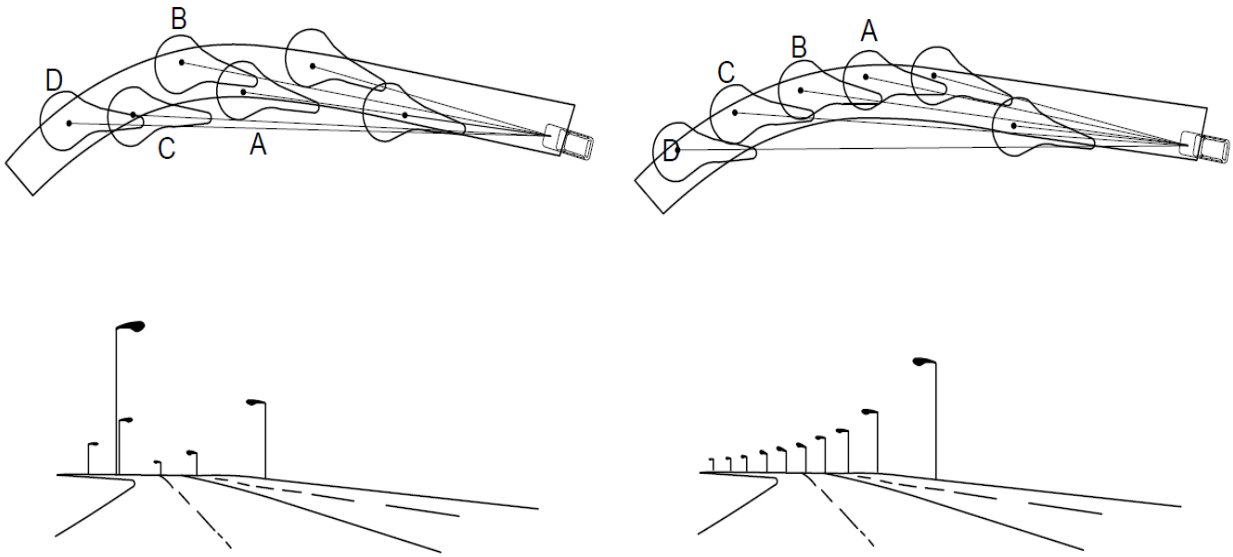


รูปที่ 8 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนเกาะกลางแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว จำนวน 2 ต้น

3.4.2 การติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนสำหรับถนนบริเวณทางโค้ง และทางแยก

1) ทางโค้ง

บริเวณทางโค้งกำหนดให้ติดตั้งเสาไฟแสงสว่างแบบต่อเนื่อง ในรูปแบบการวางตำแหน่งโคมไฟถนนแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว หรือแบบกิ่งเดี่ยวติดสลับ ขึ้นอยู่กับความกว้างของถนน ดังรูปที่ 9 โดยถนนที่มีความกว้างไม่เกิน 1.25 เท่าของความสูงโคมไฟ การติดตั้งแบบกิ่งเดี่ยวด้านเดียวมีความเหมาะสมมากกว่า เมื่อพิจารณาจากมุมมองของการมองเห็นและการนำทางผู้ขับขี่



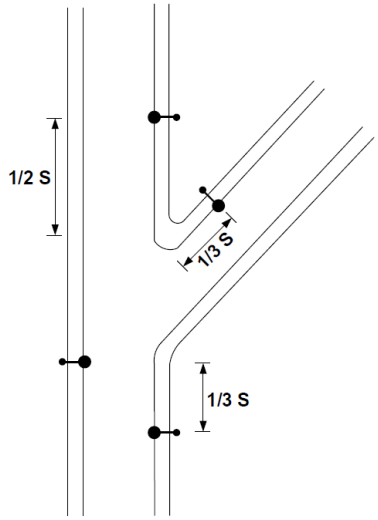
(ก) การติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดสลับบนทางโค้ง (ข) การติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งเดี่ยวติดด้านเดียวบนทางโค้ง

อ้างอิง: จาก AS/NZS 1158.1.1:2022

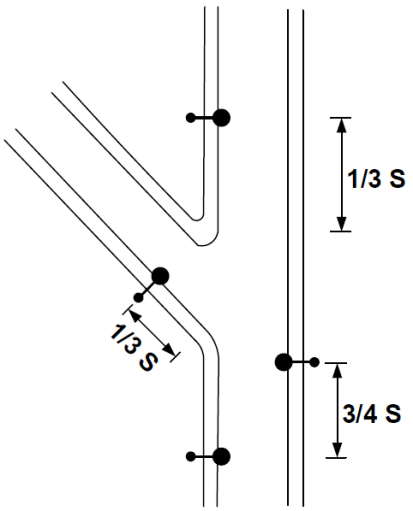
รูปที่ 9 รูปแบบการวางตำแหน่งเสาไฟและโคมไฟถนนบนทางโค้ง

2) ทางแยก

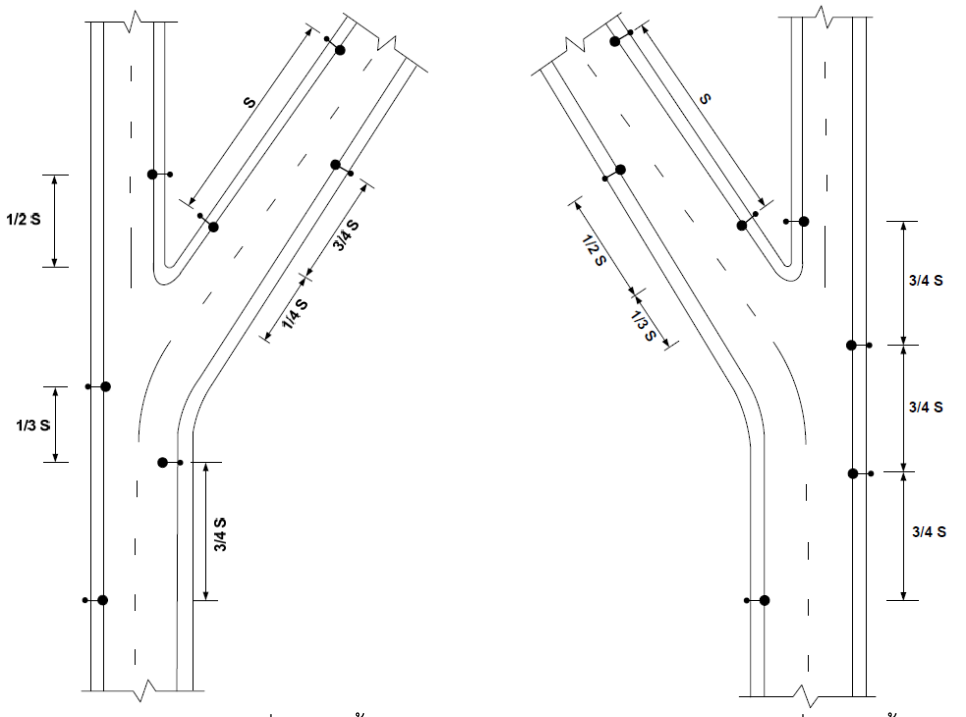
ระยะห่างระหว่างเสาไฟบริเวณทางแยกพิจารณาจากรูปแบบทางแยกและระยะห่างปกติระหว่างเสาไฟบนถนนทางตรง (S) ที่วิ่งเข้าทางแยกและออกจากทางแยก ทางแยกรูปตัว Y ทางแยกรูปตัว T และสี่แยก กำหนดให้ติดตั้งตำแหน่งเสาไฟตามรูปที่ 10 ถึง รูปที่ 12 ตามลำดับ สำหรับบริเวณทางแยกและพื้นที่ขัดแย้งรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งไม่ได้แสดงตัวอย่างไว้ในแนวทางปฏิบัติฯ นี้ เช่น วงเวียน จุดกลับรถ หรือทางแยกรูปแบบอื่น ๆ การกำหนดตำแหน่งติดตั้งเสาไฟและระยะห่างระหว่างเสาไฟสามารถอ้างอิงวิธีการพิจารณาและนำข้อแนะนำเหล่านี้ไปปรับใช้ในแต่ละกรณีได้ตามความเหมาะสม และควรตรวจสอบผลการออกแบบด้วยการคำนวณสมรรถนะการให้แสงสว่างบนทางแยก หรือพื้นที่ขัดแย้งกันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อย่างละเอียด เพื่อตรวจสอบและประเมินปริมาณแสงสว่างและคุณภาพแสงสว่างให้เป็นไปตามเกณฑ์ระดับชั้นการให้แสงสว่างที่กำหนดไว้



ทางแยกรูปตัว Y ทางโทเชื่อมทางด้านขวา

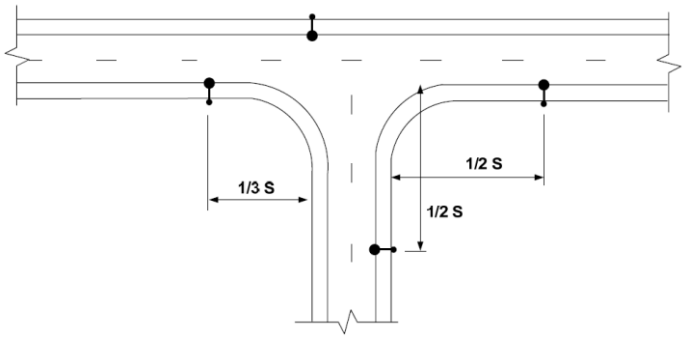


ทางแยกรูปตัว Y ทางโทเชื่อมทางด้านซ้าย

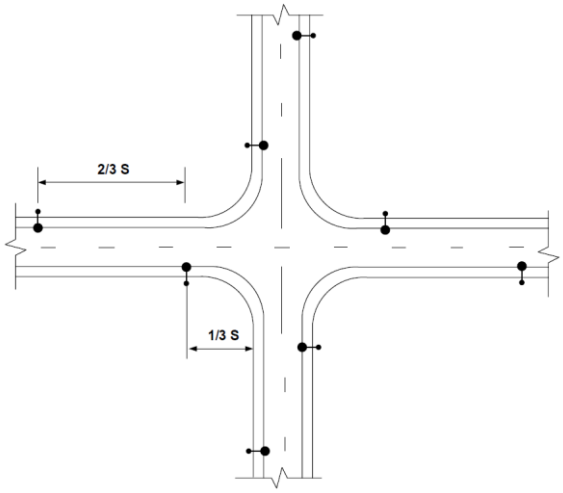


ทางแยกรูปตัว Y ทางเอกเบี่ยงแนวเลี้ยวขวา ทางแยกรูปตัว Y ทางเอกเบี่ยงแนวเลี้ยวซ้าย

รูปที่ 10 ตำแหน่งติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนสำหรับทางแยกรูปตัว Y แบบต่าง ๆ



รูปที่ 11 ตำแหน่งติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนสำหรับทางแยกรูปตัว T



รูปที่ 12 ตำแหน่งติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนสำหรับสี่แยก

3.4.3 การกำหนดระยะช่วงห่างของเสาไฟ (Spacing หรือ Span; S)

การกำหนดระยะช่วงห่างของเสาไฟต้องสัมพันธ์กับระดับชั้นการให้แสงสว่าง ซึ่งเป็นตัวกำหนดเกณฑ์คุณภาพของแสงสว่างบนถนน เช่น ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) และค่าส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (TI) หรือความจ้าตาแบบสูญเสียความสามารถ การออกแบบให้แสงสว่างผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดจะต้องพิจารณาถึงความกว้างของถนนรวม (w) และรูปแบบการติดตั้งโคมไฟ เพื่อนำไปกำหนดความสูงในการติดตั้ง (h) และเลือกคุณลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนน การกำหนดระยะช่วงห่างของเสาไฟที่เหมาะสมได้จากการคำนวณซ้ำ เพื่อปรับค่าช่วงห่างและพารามิเตอร์อื่น ๆ จนได้แสงสว่างบนถนนผ่านตามเกณฑ์และมีความคุ้มค่าในการลงทุน ทั้งนี้การกระจายแสงสว่างของโคมไฟถนนทั่วไปจะยังคงรักษาคุณภาพความสม่ำเสมอของแสงและความจ้าตาให้อยู่ในเกณฑ์ได้ หากเสาไฟติดตั้งห่างกันไม่เกิน 4 เท่าของความสูงโคมไฟบนถนนทางตรง ในทางปฏิบัติแนะนำที่ระยะ 3.0-3.75 เท่าของความสูงโคมไฟ ตารางที่ 11 แสดงระยะช่วงห่างของเสาไฟที่แนะนำสำหรับถนนทางตรงแต่ละรูปแบบการติดตั้งที่ความสูง 12 เมตร และ 9 เมตร

ตารางที่ 11 ระยะช่วงห่าง (Spacing; S) ที่แนะนำสำหรับความสูงของโคมไฟถนน 12 เมตร และ 9 เมตร

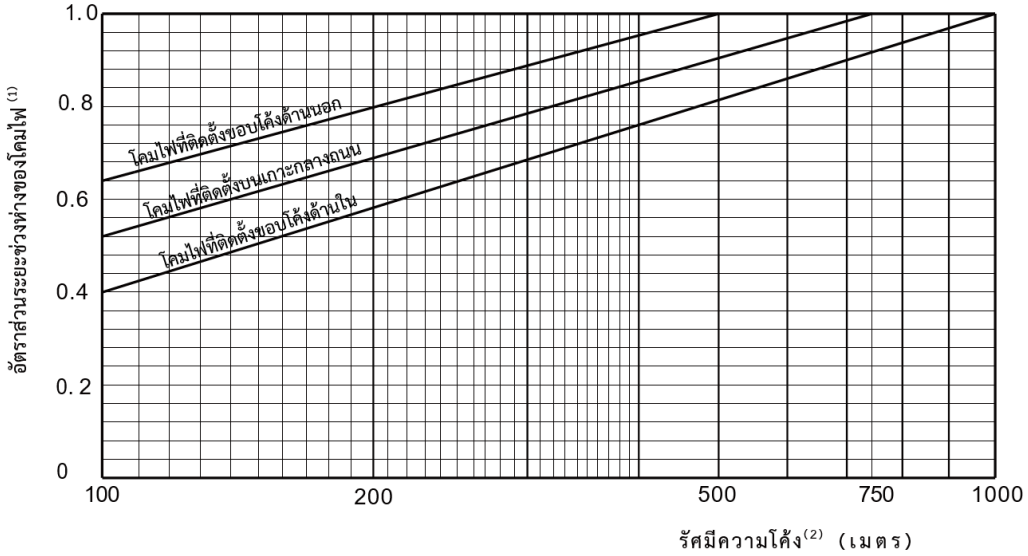
ความสูงโคมไฟถนน (เมตร)	รูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน	ความกว้างถนนรวมสูงสุด* (เมตร)	จำนวนช่องจราจรสูงสุด (ช่องจราจร)	ระยะช่วงห่างที่แนะนำ (เมตร)
12	กิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว	12	3	36-45
	กิ่งเดี่ยวติดสลับ	18	5	36-45
	กิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม	21-30	6-8	36-45
	กิ่งคู่บนเกาะกลาง	24	6	36-45
9	กิ่งเดี่ยวติดด้านเดียว	9	2	27-34
	กิ่งเดี่ยวติดสลับ	13.5	3	27-34
	กิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม	14-22.5	4-6	27-34
	กิ่งคู่บนเกาะกลาง	18	4	27-34

** ความกว้างถนนรวมสูงสุด พิจารณาเฉพาะผิวจราจร ไม่รวมไหล่ทาง โดยกำหนดตามเงื่อนไขและข้อแนะนำในการติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนนตามตารางที่ 10*

สำหรับถนนทั่วไปที่มีการจราจรด้วยยานยนต์เป็นหลักและมีความต้องการคุณภาพของค่าความส่องสว่างตั้งแต่ระดับปานกลาง หรือ M4 ขึ้นไป และใช้วัสดุผิวถนนประเภทเดียวกันตลอดการใช้งาน เช่น คอนกรีต หรือแอสฟัลต์ อย่างใดอย่างหนึ่ง อาจกำหนดให้ระยะช่วงห่างของเสาไฟมีค่ามากได้ แต่ไม่ควรเกิน 45 เมตร สำหรับความสูงติดตั้งโคมไฟ 12 เมตร และไม่ควรเกิน 34 เมตร สำหรับความสูง 9 เมตร ตามที่แนะนำไว้ในตารางที่ 11

กรณีที่วัสดุผิวถนนอาจมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการใช้งาน ควรปรับลดระยะห่างของโคมไฟให้สั้นลง เพื่อลดผลกระทบกับค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างบนถนน เมื่อใช้โคมไฟถนนที่มีการกระจายแสงแบบเดิม โดยที่ความสูง 12 เมตร แนะนำให้ใช้ระยะช่วงห่างไม่เกิน 40 เมตร สำหรับเกณฑ์คุณภาพแสงสว่างระดับปานกลาง (M3 และ M4) หรือไม่เกิน 36 เมตร สำหรับเกณฑ์คุณภาพแสงสว่างระดับสูง (M1 และ M2) กรณีที่ความสูง 9 เมตร ควรมีระยะไม่เกิน 30 เมตร ในทุกระดับชั้นแสงสว่าง อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ ในทางปฏิบัติ ในการติดตั้งจริงอาจมีความแตกต่างจากระยะช่วงห่างที่แนะนำได้ แต่ต้องควบคุมให้แสงสว่างผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยระยะช่วงห่างที่แนะนำนี้สามารถนำไปใช้ประกอบในการออกแบบและประเมินราคาเบื้องต้นได้

สำหรับถนนในช่วงทางโค้ง กรณีที่มีรัศมีความโค้งน้อยกว่า 1,000 เมตร และติดตั้งเสาไฟที่ขอบโค้งด้านใน หรือน้อยกว่า 500 เมตร หากติดตั้งเสาไฟที่ขอบโค้งด้านนอก ระยะห่างของโคมไฟบนทางโค้งต้องปรับให้เข้าใกล้กันมากขึ้นเมื่อเทียบกับถนนทางตรงปกติ โดยระยะช่วงห่างของโคมไฟที่ติดตั้งขอบโค้งด้านนอก ขอบโค้งด้านใน และบนเกาะกลางถนนจะลดลงตามรัศมีความโค้ง ซึ่งพิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนระยะช่วงห่างของโคมไฟ (Spacing ration; SR) ที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีความโค้ง ตามมาตรฐาน AS/NZS 1158.1.1 ดังรูปที่ 13 ในตารางที่ 12 แสดงระยะช่วงห่างสูงสุดของโคมไฟบนทางโค้งที่มีความเหมาะสม สำหรับระยะช่วงห่างของโคมไฟบนถนนทางตรงตั้งแต่ 30-45 เมตร



หมายเหตุ: *อ้างอิง: จาก AS/NZS 1158.1.1:2022*

1) อัตราส่วนช่วงห่างของโคมไฟ คือ อัตราส่วนระหว่างช่วงห่างของโคมไฟที่ติดตั้งบนทางโค้งกับช่วงห่างของโคมไฟที่ติดตั้งบนทางตรงของถนนซึ่งมีความกว้างเท่ากัน
2) รัศมีความโค้งของถนนวัดตามแนวเส้นกึ่งกลางของถนน

รูปที่ 13 อัตราส่วนระยะช่วงห่างของโคมไฟบนทางโค้งที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีความโค้ง

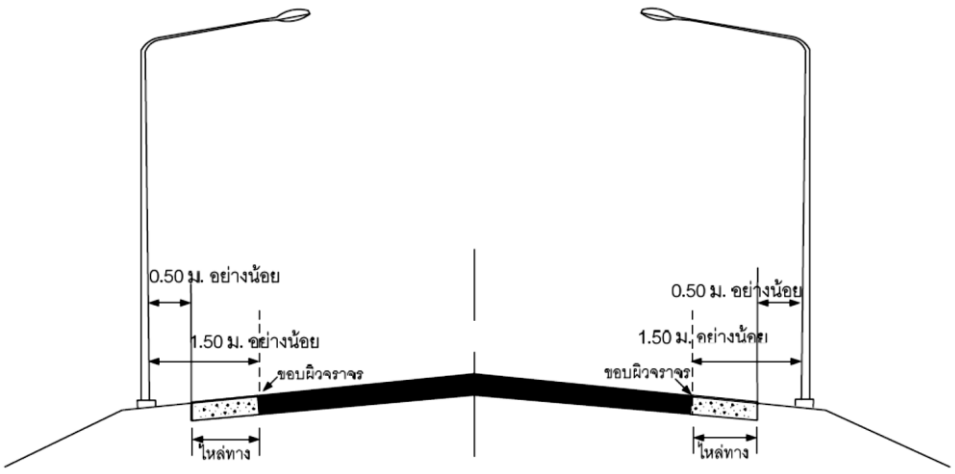
ตารางที่ 12 ระยะช่วงห่างของโคมไฟบนทางโค้งสูงสุดตามรัศมีความโค้ง

ระยะช่วงห่างของโคมไฟบนทางตรง (เมตร)	รูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนทางโค้ง	รัศมีความโค้ง (เมตร)				
		1,000-750	750-500	500-300	300-200	น้อยกว่า 200
45	ติดตั้งขอบโค้งด้านนอก	45			40	36
	ติดตั้งบนเกาะกลางถนน	45		40	36	30
	ติดตั้งขอบโค้งด้านใน	45	40	36	30	26
40	ติดตั้งขอบโค้งด้านนอก	40			36	32
	ติดตั้งบนเกาะกลางถนน	40		36	32	27
	ติดตั้งขอบโค้งด้านใน	40	36	32	27	23
35	ติดตั้งขอบโค้งด้านนอก	35			31	28
	ติดตั้งบนเกาะกลางถนน	35		31	28	23
	ติดตั้งขอบโค้งด้านใน	35	31	28	23	20
30	ติดตั้งขอบโค้งด้านนอก	30			27	24
	ติดตั้งบนเกาะกลางถนน	30		27	24	20
	ติดตั้งขอบโค้งด้านใน	30	27	24	20	17

3.4.4 ตำแหน่งติดตั้งเสาไฟ

ตำแหน่งหรือระยะติดตั้งเสาไฟถนนบนทางหลวง มีข้อกำหนดด้านระยะห่างจากขอบไหล่ทาง หรือคันหินของกรมทางหลวง ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่บริเวณนอกเมืองและพื้นที่ในเมืองหรือเขตชุมชน มีรายละเอียด ดังนี้

1) ถนนในเขตนอกเมือง ให้ติดตั้งเสาไฟถนนห่างจากไหล่ทางไม่น้อยกว่า 0.5 เมตร ในกรณีที่ไม่มีไหล่ทาง ให้ติดตั้งห่างจากขอบผิวทางไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร ดังรูปที่ 14 ยกเว้นในบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่จำกัดหรือบริเวณสะพาน สามารถลดระยะห่างลงได้แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 เมตร



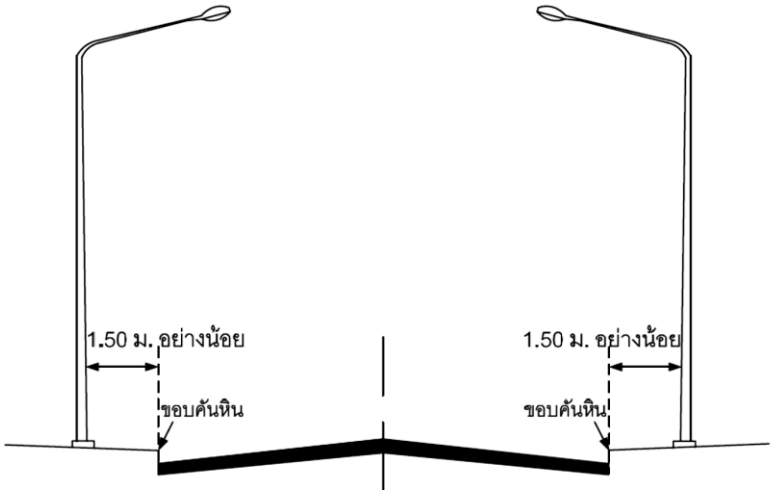
รูปที่ 14 ระยะห่างของเสาไฟถนนจากขอบไหล่ทางและขอบผิวจราจรของถนนในเขตนอกเมือง

2) ถนนในเขตเมืองหรือชุมชนที่ขอบทางเป็นคันหิน (Curb) ควรมีระยะห่างระหว่างเสาไฟและขอบทางอย่างน้อย 1.5 เมตร ดังรูปที่ 15 แต่สามารถลดลงได้ตามสัดส่วนของความลาดหลังทางเข้าหาคันหิน ดังต่อไปนี้

ก. ลดลง 0.50 เมตร สำหรับความลาดหลังทางเข้าหาคันหินที่ไม่มากกว่าร้อยละ 2.5

ข. ลดลง 0.60 เมตร สำหรับความลาดหลังทางเข้าหาคันหินระหว่างร้อยละ 2.5 ถึงร้อยละ 4.0

ค. ลดลง 0.75 เมตร สำหรับความลาดหลังทางเข้าหาคันหินที่มากกว่าร้อยละ 4.0 และต้องได้รับการยอมรับจากวิศวกร



รูปที่ 15 ระยะห่างของเสาไฟถนนจากขอบคันหินของถนนในเขตเมือง หรือชุมชน

3.4.5 ระยะยื่นของโคมไฟถนน

ระยะยื่นของโคมไฟถนนถูกกำหนดโดยตำแหน่งติดตั้งเสาไฟ ซึ่งสัมพันธ์กับระดับชั้นของถนนและขีดจำกัดความเร็วที่ออกแบบตามหัวข้อที่ 3.4.4 รวมทั้งความกว้างของไหล่ทาง และความยาวกิ่งโคม ในทางปฏิบัติ การใช้เสาไฟแบบมีกิ่งโคมที่มีความยาวส่วนยื่นของกิ่งโคม 2.5 เมตร สำหรับเสาไฟสูง 9 เมตร และ 12 เมตร ถนนส่วนใหญ่อาจมีระยะยื่นอยู่ระหว่าง -1 เมตร ถึง 2 เมตร ซึ่งจำเป็นต้องเลือกคุณลักษณะการกระจายแสงและมุมเอียงของโคมไฟถนนให้เหมาะสมและครอบคลุมกับระยื่นของโคมไฟและเกณฑ์คุณภาพแสงสว่างที่กำหนด ในพื้นที่เขตเมืองหรือชุมชน กรณีที่เสาไฟติดตั้งห่างจากขอบคันหิน หรือขอบผิวจราจรน้อยกว่า 1.0 เมตร ควรเลือกใช้เสาไฟแบบตรง (Post top) เพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบกับสมรรถนะการส่องสว่างของโคมไฟถนน เนื่องจากอาจมีความยาวของระยะยื่นมากเกินไป

3.4.6 มุมเอียงของโคมไฟถนน

เพื่อควบคุมสมรรถนะด้านการส่องสว่างของโคมไฟถนน โดยเฉพาะความจ้าตาแบบเสียความสามารถและผลกระทบจากมลภาวะทางแสง มุมเอียงของหน้าโคมไฟถนนเทียบกับแนวราบต้องไม่เงยเกิน 5 องศา สำหรับความสูงติดตั้งโคมไฟ 9 เมตร และ 12 เมตร เมื่อติดตั้งบนเสาไฟแบบ

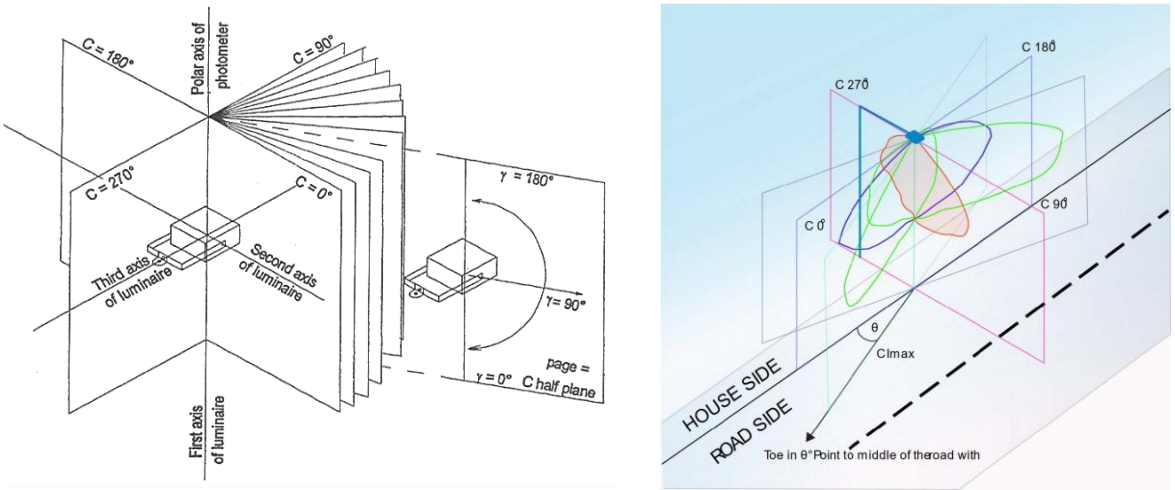
มีกิ่งโคม หรือเสาไฟแบบตรง และควรปรับมุมเงย 0 องศา สำหรับโคมไฟที่ติดตั้งสูงไม่เกิน 7 เมตร ทั้งนี้โคมไฟถนนต้องมีคุณลักษณะการกระจายแสงสอดคล้องกับมุมเงยที่กำหนด และมีส่วนจับยึดกิ่งที่สามารถปรับมุมเอียงของหน้าโคมไฟได้อย่างน้อย ±15 องศา เพื่อควบคุมให้แสงจากโคมไฟถนนตกลงบนผิวถนนอย่างมีประสิทธิภาพและได้คุณภาพแสงสว่างที่ดี หากมุมเอียงของกิ่งโคมมีความแตกต่างไปจากที่กำหนดหลังจากติดตั้งจริง กรณีที่มีความจำเป็นต้องปรับมุมเอียงของหน้าโคมไฟเกิน 5 องศา ต้องควบคุมให้ความจ้าตาเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดของระดับชั้นการให้แสงสว่างและไม่มีผลกระทบจากมลภาวะทางแสง

3.5 การพิจารณาคุณสมบัติทางแสงของโคมไฟถนนแอลอีดี

การเลือกใช้โคมไฟถนนต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทางแสงของโคมไฟ ซึ่งประกอบด้วย

1) รูปแบบการกระจายความเข้มการส่องสว่างที่สาดแสงไปทางด้านหน้า (สัมพันธ์กับความกว้างของถนน) และการกระจายแสงไปทางด้านข้างซ้าย-ขวา (สัมพันธ์กับระยะห่างของการติดตั้งโคมไฟถนนแต่ละคู่)
2) ฟลักซ์การส่องสว่างรวม (ลูเมน) หรือพิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์) สัมพันธ์กับค่าความส่องสว่าง (Luminance) หรือค่าความสว่าง (Illuminance) ของระดับชั้นการให้แสงสว่างบนถนน

การกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคมไฟถนนมีการกำหนดค่าและทิศทางของการกระจายแสงในระบบ C-γ ตามมาตรฐาน CIE ดังแสดงในรูปที่ 16 มีหน่วยวัดเป็น candela (cd) สำหรับโคมไฟถนนแอลอีดี ระนาบ C0 อยู่ทางด้านขวามือของโคมไฟถนน ด้านหน้าเป็นระนาบ C90 ด้านซ้ายเป็นระนาบ C180 ด้านหลังเป็นระนาบ C270 โดยระนาบ C อยู่ในแนวดิ่งผ่านแกนอ้างอิงของโคมไฟถนน และหมุนทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 16 การพิจารณาการกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคมไฟในระบบพิกัด C-γ ตามมาตรฐาน CIE

การจัดประเภทโคมไฟถนนตามการกระจายความเข้มการส่องสว่างในมาตรฐาน CIE 034 ได้จำแนกโคมไฟถนน โดยพิจารณาคุณสมบัติไว้ 3 ด้าน ดังแสดงในตารางที่ 13 และรูปที่ 17 ซึ่งประกอบไปด้วย

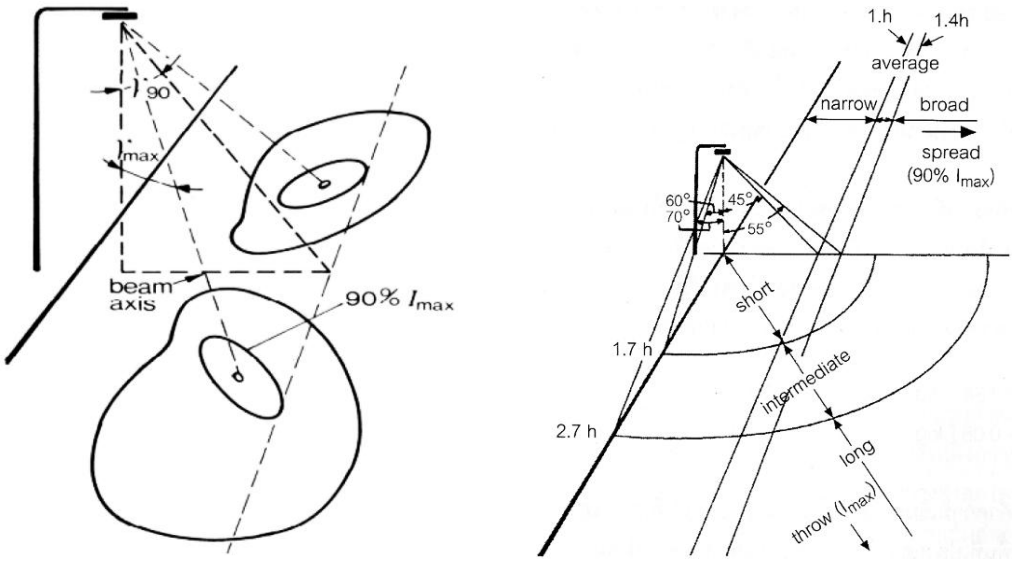
1) Throw คือ ความสามารถในการกระจายแสงของโคมไฟไปในแนวตามยาวของถนน ซึ่งแบ่งได้เป็น Short, Intermediate และ Long พิจารณาจากขนาดของมุม Throw (γ_T)

2) Spread คือ ความสามารถในการกระจายแสงของโคมไฟไปในแนวขวางถนน ซึ่งแบ่งได้เป็น Narrow, Average และ Broad พิจารณาจากขนาดของมุม Spread (γ_S)
3) Control คือ ความสามารถในการควบคุมความจ้าตา ซึ่งแบ่งได้เป็น Limited, Moderate และ Tight พิจารณาจากค่า SLI (Specific luminaire index)

ตารางที่ 13 การจัดประเภทโคมไฟถนนของ CIE ตามรูปแบบการกระจายความเข้มการส่องสว่าง

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

การพิจารณาเลือกโคมไฟถนนสามารถพิจารณาได้จาก Throw และ Spread โดยใช้การแปลงค่ามุม γ_T เป็นอัตราส่วนของระยะบนพื้นถนน เทียบกับความสูงของการติดตั้งโคมไฟถนน จะแสดงให้เห็นว่า Throw แต่ละระดับให้แสงสว่างบนพื้นถนนส่วนใดรอบ ๆ จุดตกของโคมไฟตามแนวยาวถนน และด้วยการแปลงค่ามุม γ_S เป็นอัตราส่วนของระยะบนพื้นถนนเทียบกับความสูงของการติดตั้งโคมไฟถนน จะแสดงให้เห็นว่า Spread แต่ละระดับสามารถให้แสงสว่างบนพื้นถนนส่วนใดบ้างตามแนวขวางถนน ดังนั้นลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟต้องมีความเหมาะสมกับรูปแบบถนนและการติดตั้งโคมไฟ รวมถึงคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน เพื่อให้มีคุณภาพความสม่ำเสมอของความส่องสว่างบนถนนที่ดีด้วยเช่นกัน



รูปที่ 17 การจัดประเภทของค่า Throw และ Spread ของโคมไฟถนนตามมาตรฐาน CIE

การเลือกใช้โคมไฟถนนนอกพิจารณารูปแบบการกระจายความเข้มการส่องสว่าง และค่าฟลักซ์ส่องสว่างรวม ยังมีพารามิเตอร์ทางด้านสมรรถนะที่สำคัญ ได้แก่ ค่าประสิทธิศักย์ (Efficacy) อัตราส่วนแสง

ออก (Light output ratio; LOR) สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ทางแสง (Utilization factor; UF) และระดับชั้นความเข้มการส่องสว่าง G ตามมาตรฐาน CIE 115 (CIE Intensity class) เป็นต้น

4. การก่อสร้างและการติดตั้งระบบ

4.1 การขุดและการกลบ

การขุดเพื่อวางสายไฟเคเบิล หรือท่อร้อยสายให้ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่ระบุไว้ในข้อกำหนดรายละเอียดควบคุมการก่อสร้างทางหลวง กรมทางหลวง (Specifications for highway construction) การกลบจะต้องทำการกลบและตกแต่งผิวจนกระทั่งพื้นผิวมีลักษณะเหมือนเดิมก่อนดำเนินการ แบบการขุดและการกลบดูแบบและรายละเอียดประกอบใน Standard drawing for highway design and construction หัวข้อรายละเอียดของสายเคเบิลใต้ดิน และท่อร้อยสายไฟใต้ดิน

4.2 งานคอนกรีต

ให้ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่ระบุไว้ในข้อกำหนดรายละเอียดควบคุมการก่อสร้างทางหลวง กรมทางหลวง หากไม่มีข้อระบุในแบบก่อสร้างหรือในข้อกำหนดพิเศษ (Special provisions) ให้ผู้รับจ้างใช้คอนกรีตชนิดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 (Type 1) หรือไฮดรอลิกซีเมนต์ การเทฐานรากให้เทครั้งเดียว นอกจากจะให้เหลือส่วนบนของฐานรากไว้ 5 เซนติเมตร สำหรับปรับระดับ ส่วนผิวภายนอกของฐานรากเสาไฟจะต้องเรียบและสวยงาม กรณีที่ไม่สามารถก่อสร้างตามแบบได้ การแก้ไขแบบจะต้องได้รับการเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมก่อน

งานคอนกรีตในการก่อสร้างบ่อพักสายไฟ ฐานเสาไฟ และฐานตู้ควบคุมไฟถนน จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของงานโครงสร้าง

4.3 ท่อร้อยสายไฟและข้อต่อ

ท่อร้อยสายไฟสำหรับข้อต่อและบ่อพักสายไฟจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดรายละเอียดควบคุมการก่อสร้างทางหลวง กรมทางหลวง ถ้าหากจะทำด้วยพลาสติกจะต้องเป็นพลาสติกชนิดที่เหนียว ทนทาน รวมทั้งไม่อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนจากอากาศ ทั้งนี้จะต้องได้รับการเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมก่อน

ผู้รับจ้างจะใช้ท่อร้อยสายไฟที่มีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดได้ โดยไม่มีการคิดมูลค่างานเพิ่ม แต่ท่อจะต้องมีขนาดเดียวในแนวเดียวกันและห้ามใช้ข้อลด ถ้าใช้ท่อร้อยสายโลหะการตัดจะต้องให้ได้ฉาก ถ้าต่อตรงจะต้องขันเกลียวจนกระทั่งท่อร้อยสายชนกัน เกลียวโลหะจะต้องทาสีกันสนิมก่อนต่อกัน ถ้าวัสดุเคลือบกันสนิมท่อโลหะกะเทาะหรือเสียหายขณะขนย้ายจะต้องทาสีกันสนิมให้เรียบร้อยก่อนทำการติดตั้ง ปลายของท่อร้อยสายเมื่อทำเกลียวจะต้องครอบหัวไว้จนกระทั่งเริ่มร้อยสายไฟ เมื่อถอดหัวครอบต้องใช้แปรงลวดขัดให้สะอาด

ท่อร้อยสายไฟถ้าอยู่ใต้ทางเท้าหรือเกาะกลาง จะต้องลึกไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร แต่ถ้าอยู่ใต้ผิวจราจรจะต้องลึกไม่น้อยกว่า 75 เซนติเมตร ถ้าวางท่อร้อยสายผ่านใต้ขอบคันหินจะต้องทำเครื่องหมายบนคันหินด้วยอักษร “Y” ขนาดความสูงไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร โดยการสกัดคันหินให้เป็นร่องตรงกับตำแหน่งท่อ ปลายท่อร้อยสายที่อยู่ในตู้หรือเสาไฟจะต้องสูงจากพื้นล่างของตู้หรือเสาไฟนั้นไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร ท่อร้อยสายนั้นจะต้องเอียงขึ้นเพื่อให้ร้อยสายได้สะดวก แต่ถ้าท่อร้อยสายโผล่เข้ามาในบ่อพัก

ทางก้นบ่อจะต้องอยู่ใกล้กับด้านข้างเพื่อให้ตรงกลางมีที่ไว้ ท่อร้อยสายทั้งหมดจะต้องเข้ามาจากด้านที่เดินท่อนั้นมา

4.4 บ่อพักสายไฟ

ให้ติดตั้งบ่อพักตามแบบโดยให้มีระยะห่างกันไม่เกิน 60 เมตร ผู้รับจ้างอาจติดตั้งบ่อพักเพิ่มขึ้นได้โดยไม่คิดค่างานเพิ่ม บ่อพักจะต้องทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร ซึ่งอาจจะเป็นแบบหล่อสำเร็จก็ได้ ฝาปิดถ้าอยู่บนทางเท้าจะต้องทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กยึดด้วยน็อตทองเหลือง 2 ตัว และบนฝาด้านนอกจะมีตัวอักษร “ทล.” สำหรับฝาปิดบนผิวจราจรจะต้องเป็นฝาเหล็กมีตัวอักษร “ทล.” เช่นเดียวกัน ฐานรองรับฝาเหล็กจะต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้และจะต้องต่อสายดินจากฝาเหล็กนั้นกับจุดต่อในบ่อพัก ระดับด้านบนของบ่อพักจะต้องเสมอกับทางเท้าหรือผิวจราจร ถ้าเป็นทางที่ไม่ใช่ผิวถาวรให้ระดับฝาบ่อพักอยู่ใต้ผิวทาง 30 เซนติเมตร บ่อพักจะต้องรองพื้นด้วยทรายซีเมนต์หรือหินคลุก ตำแหน่งของบ่อพักทุกแห่งจะต้องทำเครื่องหมายถาวรไว้ แบบบ่อพักสายไฟให้ดูแบบและรายละเอียดประกอบใน Standard drawing for highway design and construction หัวข้อบ่อพักสายไฟ (Handhole) สำหรับไฟถนน

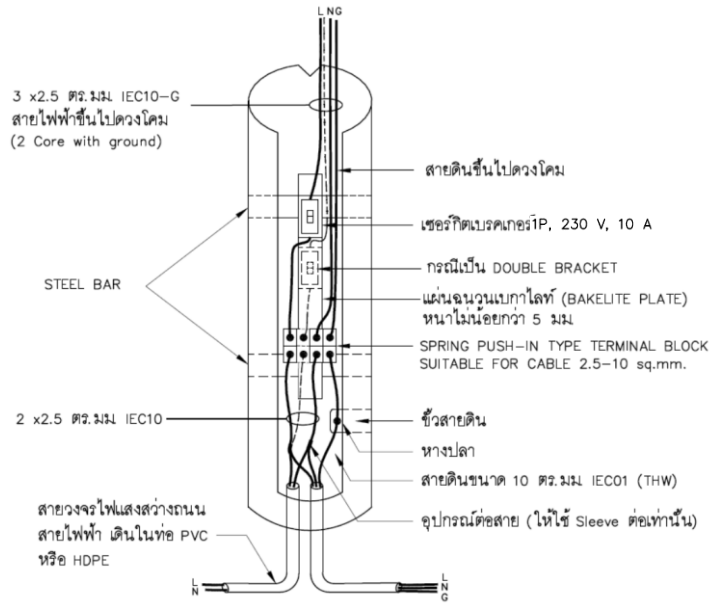
4.5 งานติดตั้งระบบไฟฟ้า

ระบบการเดินสายไฟฟ้าและอุปกรณ์สวิตช์ไฟฟ้าที่ควบคุมการจ่ายไฟและการปิดเปิดโคมไฟ จะต้องผ่านการเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ อุปกรณ์สวิตช์จะต้องเป็นแบบเปิดปิดโดยแสงอาทิตย์ (Photoelectric relay switch) หรือแบบตั้งเวลาอัตโนมัติตามที่ระบุไว้ในแบบแนะนำ ให้อ้างอิงแบบการเดินสายไฟฟ้าและอุปกรณ์สวิตช์ไฟฟ้า ตามแบบและรายละเอียดประกอบใน Standard drawing for highway design and construction หัวข้อการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Electrical connection to power supply) การต่อลงดิน (Grounding schematic) การติดตั้งและรายละเอียดของตู้จ่ายไฟฟ้า (Supply pillar details and installation) โดยมีรายละเอียดดังนี้

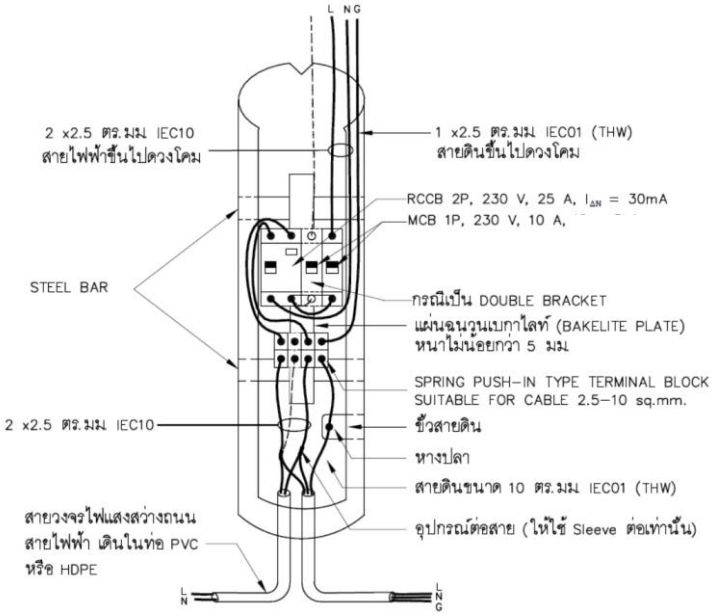
4.5.1 งานติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ต้องเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) และข้อกำหนดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่โครงการ

4.5.2 ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาวิศวกรและช่างไฟฟ้าผู้ชำนาญงานซึ่งได้รับการรับรองความสามารถจากหน่วยงานวิชาชีพมาดำเนินการติดตั้งระบบทั้งหมด

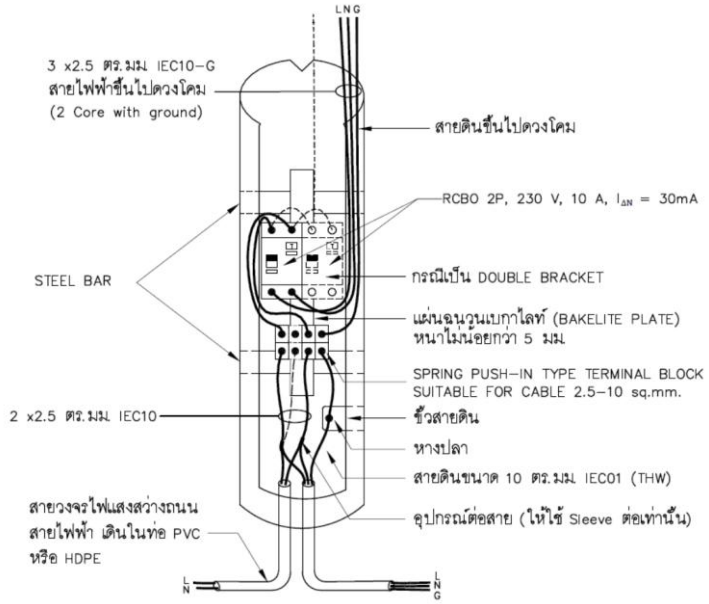
4.5.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนนที่ติดตั้งบนพื้นให้เดินสายไฟฟ้าใต้ดิน โดยไม่ต้องเดินสายดินจากตู้ควบคุม หรือระบบ TT ตามวิธีการ A (Method A) ใน Standard drawing for highway design and construction หัวข้อแผนผังการต่อลงดิน ซึ่งต้องติดตั้งหลักดินที่เสาไฟทุกต้น พร้อมกับต่อสายดินเข้ากับจุดต่อสายดินของเสาไฟและโคมไฟถนนแอลอีดี โดยใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย (MCB) ป้องกันกระแสเกิน ดังรูปที่ 18 กรณีที่เสาไฟถนนติดตั้งอยู่ในพื้นที่เขตเมืองหรือเขตชุมชน พื้นที่ความชื้นสูงหรือเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย ให้ติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย (MCB) ร่วมกับเครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (RCCB) หรือใช้เครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (RCBO) ทดแทนได้ โดยกำหนดพิกัดกระแสรั่วสูงสุด 30 mA



(ก) เสาไฟที่ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย (MCB)



(ข) เสาไฟที่ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย (MCB) ร่วมกับเครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (RCCB)



(ค) เสาไฟที่ใช้เครื่องตัดวงจรใช้กระแสเหลือแบบมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (RCBO)

รูปที่ 18 การเดินสายไฟฟ้าและสายดินภายในเสาไฟร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันแบบต่าง ๆ

4.5.4 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนนที่ติดตั้งบนทางยกระดับหรือในอุโมงค์ ให้เดินสายไฟฟ้าใต้ดินหรือในระบบทางเดินสายพร้อมกับเดินสายดินจากตู้ควบคุมไปต่อเข้ากับจุดต่อสายดินของเสาไฟแสงสว่างและโคมไฟถนนแอลอีดีทั้งระบบ หรือระบบ TN-C-S ตามวิธีการ D (Method D) ใน Standard drawing for highway design and construction หัวข้อแผนผังการต่อลงดิน โดยใช้เฉพาะเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย (MCB) ป้องกันกระแสเกินในแต่ละวงจรย่อยเท่านั้น ร่วมกับการติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันไฟรั่ว (RCCB) ซึ่งมีพิกัดกระแสรั่วสูงสุด 100 mA ที่ต้นทางของแต่ละวงจรภายในตู้ควบคุม

4.5.5 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนนที่ติดตั้งบนทางยกระดับซึ่งต่อมาจากวงจรไฟฟ้าของเสาไฟบนพื้น ให้เดินสายดินจากหลักดินที่ติดตั้งเพิ่มเติมทั้งด้านหน้าและด้านหลังของทางยกระดับไปต่อเข้ากับจุดต่อสายดินของเสาไฟและโคมไฟถนนแอลอีดีบนทางยกระดับทั้งหมด

4.5.6 การเดินสายไฟฟ้า

1) สายไฟฟ้าเดินเหนือพื้นให้ใช้สาย NYY เดินในท่อ RSC ยึดกับโครงสร้าง
2) สายไฟฟ้าเดินใต้ดินใช้สาย NYY เดินฝังในดินโดยตรงที่ความลึกไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร หรือติดตั้งในท่อร้อยสายแบบฝังใต้ดิน (HDPE) ที่ความลึกไม่น้อยกว่า 45 เซนติเมตร
3) สายไฟฟ้าเดินลอดใต้ถนนใช้สาย NYY เดินในท่อ RSC หรือท่อ HDPE
4) การต่อแยกสายทั้งวงจรเมนและวงจรย่อยจะต้องกระทำภายในกล่องต่อสาย ตู้อุปกรณ์หรือภายในเสาไฟเท่านั้น ห้ามต่อสายไฟฟ้าส่วนที่อยู่ใต้ดินทั้งหมด

5) การต่อสายวงจรไฟฟ้าชนิด NYY ที่อยู่ใต้ดินเข้ากับสายไฟฟ้าชนิด IEC10 หรือ NYY ภายในเสาไฟดังรูปที่ 18 ต้องใช้อุปกรณ์ต่อสาย หรือสลิปต่อสายไฟ (Sleeve) เท่านั้น โดยมีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดสายไฟฟ้า
6) การต่อสายไฟฟ้าภายในเสาไฟให้ใช้ขั้วต่อสาย (Terminal block) แบบขันสกรู ชนิดมีฝาปิด ดังรูปที่ 18 โดยมีขนาดเหมาะสมกับสายไฟฟ้าขนาด 2.5-10 ตารางมิลลิเมตร
7) สายไฟฟ้าภายในเสาไฟและสายไฟฟ้าจากโคมไฟถนนแอลอีดีให้ใช้สาย IEC10-G หรือ NYY-G ชนิด 2 แกน แบบมีสายดิน (Two cores with ground) และต่อเข้าด้วยกันโดยใช้อุปกรณ์ต่อสายไฟฟ้ากันน้ำ ชนิด 3 PIN แบบขันสกรู มีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดสายไฟฟ้า และมีระดับการป้องกันไม่น้อยกว่า IP67
8) รายละเอียดของการติดตั้งท่อร้อยสายและการเดินสายไฟฟ้าให้ดำเนินการตาม Standard drawing for highway design and construction หัวข้อการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ขนาดท่อร้อยสายไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และความลึกของท่อร้อยสายไฟฟ้าส่วนที่อยู่ใต้พื้นดินต้องเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานของ วสท. หรือการไฟฟ้าฯ

4.5.7 ตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างชนิดแขวนต้องติดตั้งไว้ด้านข้างของเสาไฟในตำแหน่งที่เหมาะสม สูงจากระดับพื้นไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร และควรหันหน้าตู้ไปยังทิศทางของถนน สำหรับกรณีที่มีวงจรย่อยมาก ๆ แนะนำให้ใช้ตู้ควบคุมชนิดตั้งบนพื้น

4.5.8 ตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างชนิดติดตั้งบนพื้นต้องติดตั้งโดยวางหน้าตู้ขนานกับถนน

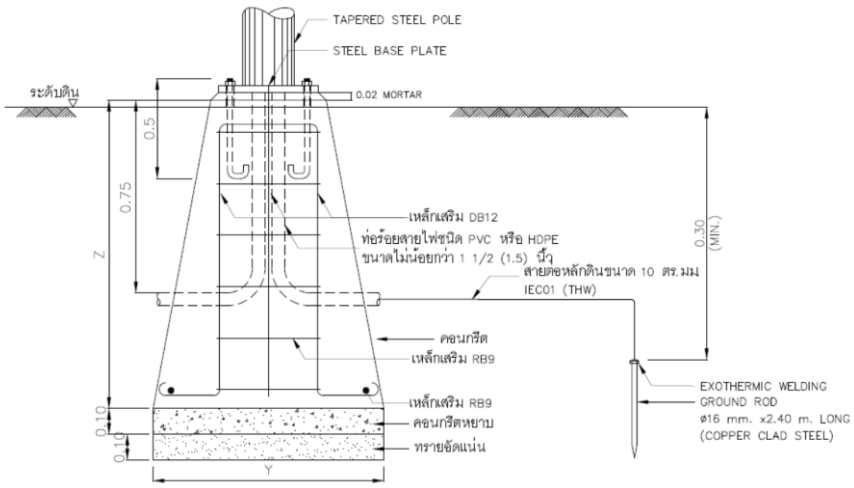
4.5.9 ตำแหน่งติดตั้งตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างและโฟโต้สวิตช์บนเสาไฟฟ้าอาจปรับเปลี่ยนได้ตามดุลยพินิจของผู้ควบคุมงาน โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนดำเนินการติดตั้ง

4.5.10 เปลือกนอกของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่เป็นโลหะ เช่น ท่อร้อยสายไฟ ตู้เหล็ก เสาไฟ และฐานโลหะ เป็นต้น จะต้องต่อลงดินโดยใช้อุปกรณ์ต่อลงดิน (Grounding fitting) ที่ได้รับการอนุมัติจากผู้ควบคุมงาน

4.5.11 ท่อร้อยสายไฟฟ้าที่ติดตั้งแล้วเสร็จและอยู่ในระหว่างรอการร้อยสายไฟฟ้าจะต้องปิดที่ปลายทั้ง 2 ด้านด้วยฝาท่อร้อยสาย (Conduit cap) เพื่อป้องกันมิให้สิ่งแปลกปลอมเข้าไปอุดในท่อ

4.5.12 ข้อกำหนดการต่อลงดิน

1) หลักดินที่เสาไฟแสงสว่างจะต้องตอกลงไปในดินให้ปลายส่วนบนของหลักดินจมลึกจากระดับผิวดินไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร และไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร สำหรับหลักดินที่ตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน ต้องใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน (Exothermic welding) ที่หน้างานเท่านั้น ภายหลังตอกหลักดินตามระดับที่กำหนด
2) ให้เดินสายต่อหลักดินเข้ากับเสาไฟผ่านท่อ PVC หรือท่อ HDPE ของฐานคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่กำหนดในข้อที่ 2.2.10 เข้าไปภายในเสาไฟ และต่อปลายสายเข้ากับจุดต่อลงดินภายในเสาไฟด้วยหางปลาแบบกลม ดังแสดงในรูปที่ 18 และรูปที่ 19



รูปที่ 19 การเดินสายต่อหลักดินเข้ากับเสาไฟแสงสว่างแต่ละต้น

5. การทดสอบและการตรวจรับงาน

ผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบและให้ความร่วมมือในงานทดสอบคุณภาพของระบบไฟฟ้า โคมไฟ และการวัดแสงสว่างบนถนน เพื่อใช้ประกอบการประเมินผลการตรวจรับงาน โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือและการทดสอบ ดังนี้

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

5.1.1 เครื่องวัดความต่อเนื่องทางไฟฟ้า (Continuity tester)

การตรวจวัดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของสายตัวนำต่อลงดิน สามารถใช้โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) หรือมัลติมิเตอร์ (Multimeter) สำหรับวัดค่าความต้านทานต่ำ หรือใช้เครื่องมือทดสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้า (Continuity tester) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61557-4

5.1.2 เครื่องวัดค่าความต้านทานหลักดิน (Earth resistance tester)

การตรวจวัดค่าความต้านทานหลักดินให้ใช้เครื่องมือวัดแบบ 3 สาย (Three wire method) หรือวิธี 3 จุดวัด (Three point method) ซึ่งมีคุณสมบัติของเครื่องมือวัดเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61557-5

5.1.3 เครื่องทดสอบความเป็นฉนวน (Insulation resistance tester)

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของฉนวนให้ใช้เครื่องมือวัดความต้านทานค่าสูง ซึ่งมีคุณสมบัติของเครื่องมือวัดเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61557-2 และมีแรงดันไฟฟ้าทดสอบไม่น้อยกว่า 500 โวลต์ (กระแสตรง)

5.1.4 เครื่องวัดทางไฟฟ้า (Electrical meter)

การวัดค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของโคมไฟถนนแอลอีดีให้ใช้เครื่องมือวัดที่มีความสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า รวมทั้งสามารถวัดค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THD_v) และกระแสฮาร์มอนิกรวม (THD_i) ซึ่งสามารถใช้

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power meter) หรือเครื่องวัดและวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power quality analyzer) ชนิด 1 เฟส หรือ 3 เฟส และต้องได้รับการสอบเทียบค่าทางไฟฟ้าครอบคลุมช่วงที่ใช้งานทุกปี โดยต้องมีผลการทวนสอบค่าความคลาดเคลื่อนผ่านเกณฑ์ยอมรับของเครื่องมือวัด

5.1.5 เครื่องวัดความสว่าง (Illuminance meter)

การตรวจวัดค่าความสว่างแนวนอน (Horizontal illuminance; E_h) บนผิวถนน และความสว่างแนวตั้ง (Vertical illuminance; E_v) ให้ใช้เครื่องวัดความสว่างชนิดหัววัดแสงแบบระนาบ (Planar detector) และใช้เครื่องวัดความสว่างชนิดหัววัดแสงแบบครึ่งทรงกระบอก (Semi-cylindrical detector) ตรวจวัดค่าความสว่างครึ่งทรงกระบอก (Semi-cylindrical illuminance; E_{sc}) ซึ่งแสดงถึงค่าความสว่างเฉลี่ยบนใบหน้ามนุษย์ที่มีผิวโค้ง หรือรอบวัตถุแนวตั้ง โดยเครื่องวัดความสว่างต้องมีความสามารถในการวัดแสงสีขาวของแอลอีดี และมีคุณสมบัติของเครื่องมือวัดตามที่กำหนดในมาตรฐาน ISO/CIE 19476 ไม่ต่ำกว่าระดับชั้น B (Class B) ตามมาตรฐาน DIN 5032-7 ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ และต้องได้รับการสอบเทียบค่าความสว่างครอบคลุมช่วงที่ใช้งานทุกปี โดยต้องมีผลการทวนสอบค่าความคลาดเคลื่อนผ่านเกณฑ์ยอมรับของเครื่องมือวัด

5.1.6 เครื่องวัดความส่องสว่าง (Luminance meter)

การตรวจวัดค่าความส่องสว่างที่สะท้อนจากผิวถนนให้ใช้เครื่องมือวัดชนิดกล้องถ่ายภาพความส่องสว่าง (Imaging luminance measuring device; ILMD) ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของการตอบสนองเชิงสเปกตรัมแสง (Spectral mismatch, f_1') ตามที่กำหนดให้มาตรฐาน ISO/CIE 19476 ไม่เกิน 3% และมีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน BS EN 13201-4 และต้องได้รับการสอบเทียบค่าความส่องสว่างครอบคลุมช่วงที่ใช้งานอย่างน้อยทุก 2 ปี โดยต้องมีผลการทวนสอบค่าความคลาดเคลื่อนผ่านเกณฑ์ยอมรับของเครื่องมือวัด

5.2 การทดสอบระบบไฟฟ้า

ก่อนดำเนินการทดสอบเปิดใช้งานโคมไฟ ให้ทดสอบคุณภาพของระบบไฟฟ้า ตามวิธีการและเกณฑ์การพิจารณาตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ หรือมาตรฐาน IEC 60364-6 ดังนี้

5.2.1 ทดสอบความต่อเนื่องของวงจรไฟฟ้า (Continuity test)

ตรวจวัดค่าความต้านทาน (Resistance) ของสายตัวนำต่อลงดิน (PE) และสายต่อฝาก โดยใช้โอห์มมิเตอร์หรือเครื่องมือทดสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้า เพื่อทดสอบความต่อเนื่องของสายไฟต่อลงดินกับโลหะเปลือกนอกของตู้ควบคุมและเสาไฟ โดยค่าความต้านทานของสายตัวนำต่อลงดินภายในตู้ควบคุมหรือภายในเสาไฟต้องตรวจวัดได้ไม่เกิน 0.1 โอห์ม และมีค่าไม่เกิน 1 โอห์ม สำหรับสายตัวนำต่อลงดินที่ต่อระหว่างตู้ควบคุมและเสาไฟ

5.2.2 ทดสอบวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน (Earth resistance test)

ตรวจวัดค่าความต้านทานของการต่อลงดิน (Earth resistance) ที่ขั้วต่อสายดินภายในตู้ควบคุมและเสาไฟทุกต้น โดยใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานหลักดิน และต้องมีค่าความต้านทานการต่อลงดินไม่เกิน 5 โอห์ม หรือยอมให้มีค่าได้ไม่เกิน 25 โอห์ม สำหรับพื้นที่ที่ยากในการปฏิบัติ ในกรณีที่ยังมีค่าเกินให้ปักหลักดินเพิ่มอีก 1 แท่ง และต่อสายเชื่อมกับหลักดินทุกแท่งเข้าด้วยกัน

5.2.3 ทดสอบความต้านทานฉนวนของวงจรไฟฟ้า (Insulation resistance test)

ตรวจวัดค่าความต้านทานของฉนวน (Insulation resistance) ระหว่างสายไฟฟ้าที่ไม่ต่อลงดินแต่ละเส้น และสายไฟฟ้าที่ไม่ต่อลงดินกับสายต่อลงดิน ที่ตู้ควบคุมคุม 1 จุด และสายไฟฟ้าของทุกวงจรย่อย ด้วยเครื่องทดสอบฉนวนที่แรงดันทดสอบ 500 โวลต์ (กระแสตรง) ในขณะที่เปิดวงจรไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าและโหลด หรือปลดสายไฟจากเบรกเกอร์ต้นทางและโคมไฟทั้งหมด รวมทั้งปลดสายนิวทรอลออกจากขั้วต่อลงดิน และไม่มีอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge protective device) ต่ออยู่ในวงจรไฟฟ้าที่ทดสอบ โดยค่าความต้านทานของฉนวนต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1 เมกกะโอห์ม

5.2.4 ทดสอบแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage drop test)

ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ด้วยเครื่องวัดทางไฟฟ้าที่ขั้วต่อสายไฟ ณ จุดตู้ควบคุม หรือส่วนปลายของสายที่เสาไฟต้นสุดท้ายในขณะไม่มีโหลดหรือปิดโคมไฟทั้งหมด และแรงดันไฟฟ้าที่ส่วนปลายของสายขณะมีโหลดเต็มที่หรือเปิดโคมไฟทั้งหมดในสภาวะคงตัว หรือวัดแรงดันไฟฟ้าหลังจากเปิดโคมไฟโคมสุดท้ายเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที โดยต้องมีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน ±5% ของแรงดันไฟฟ้าพิกัดของระบบไฟฟ้า

5.3 การทดสอบโคมไฟและการวัดแสงสว่างบนถนน

5.3.1 การทดสอบโคมไฟหลังจากติดตั้งเสร็จแล้ว ให้เปิดโคมไฟทิ้งไว้อย่างน้อย 5 คืน ต่อเนื่องกัน โดยต้องไม่มีการขัดข้อง ถ้าพบว่ามีการขัดข้องหรือระบบไฟฟ้ายังทำงานไม่ได้ตามต้องการ จะต้องแก้ไขให้เรียบร้อยจนกว่าจะใช้งานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด

5.3.2 ให้ทดสอบวัดแสงสว่างบนถนน เพื่อประเมินสมรรถนะการส่องสว่าง โดยคัดเลือกพื้นที่ทดสอบซึ่งมีความพร้อมในการดำเนินงาน จำนวนอย่างน้อย 1 พื้นที่ สำหรับแต่ละรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนแอลอีดี

5.3.3 ให้วัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF.) และความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกรวม (THD_i) และแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THD_v) ของโคมไฟในพื้นที่ทดสอบวัดแสงสว่าง หลังจากเปิดโคมไฟโคมสุดท้ายเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที โดยต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแตกต่างจากที่ระบุไว้ในรายงานรับรองผลการทดสอบสมรรถนะของโคมไฟถนนแอลอีดีไม่เกิน ±5%

5.3.4 การวัดแสงสว่างบนพื้นที่ถนนระดับชั้น M ให้วัดค่าความส่องสว่าง (Luminance; L) ที่สะท้อนจากผิวถนน โดยใช้ระบบวัดแบบหยุดนิ่งอยู่กับที่ (Static measurement system) หรือวัดค่าความสว่างแนวนอน (Horizontal illuminance; E_h) บนผิวถนนแทนการวัดค่าความส่องสว่าง อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยผลการประเมินค่าความส่องสว่างของพื้นผิวถนนเมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) ต้องผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดในตารางที่ 3 และควรมีผลสอดคล้องกับรายงานผลการคำนวณค่าความส่องสว่างของพื้นผิวถนน สำหรับกรณีที่ใช้การวัดค่าความสว่างแนวนอน ต้องมีผลการประเมินค่าความสว่างแนวนอนเฉลี่ย ($E_{h,av}$) แตกต่างจากที่ระบุไว้ในรายงานผลการคำนวณไม่เกิน ±5% และมีค่าความสม่ำเสมอของความสว่างโดยรวม ($E_{h,min}/E_{h,av}$) ที่วัดได้แตกต่างจากผลการคำนวณไม่เกิน ±0.05 ในทางปฏิบัติหากเป็นไปได้ควรมีความแตกต่างของค่าความสว่างแนวนอนบนถนนแต่ละจุดระหว่างผลการวัดแสงสว่างและผลการคำนวณไม่เกิน ±15% เพื่อควบคุมลักษณะของการ

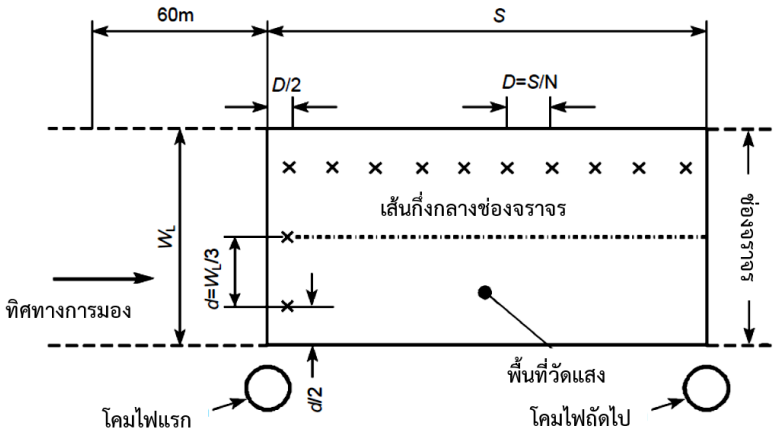
กระจายความสว่างบนถนนและความส่องสว่างของพื้นผิวถนนให้สอดคล้องกับผลการออกแบบให้ได้มากที่สุด

5.3.5 การวัดแสงสว่างบนพื้นที่ถนนระดับชั้น C ให้วัดค่าความสว่างแนวนอน (Horizontal illuminance; E_h) บนผิวถนน โดยผลการประเมินสมรรถนะการส่องสว่างเมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) ต้องผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดในตารางที่ 6 และควรมีผลสอดคล้องกับรายงานผลการคำนวณแสงสว่างบนถนน

5.3.6 การวัดแสงสว่างบนพื้นที่ถนนระดับชั้น P โดยทั่วไปให้วัดเฉพาะค่าความสว่างแนวนอน (Horizontal Illuminance; E_h) บนผิวถนน แต่ในกรณีที่การรับรู้ใบหน้า หรือความสว่างบนวัตถุแนวตั้งเป็นสิ่งจำเป็น ให้วัดค่าความสว่างแนวตั้ง (Vertical illuminance; E_v) และค่าความสว่างครึ่งทรงกระบอก (Semi-cylindrical illuminance; E_{sc}) ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร จากพื้นผิวถนนเพิ่มด้วย โดยผลการประเมินสมรรถนะการส่องสว่างเมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) ต้องผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดในตารางที่ 8 และควรมีผลสอดคล้องกับรายงานผลการคำนวณแสงสว่างบนถนน

5.3.7 การกำหนดตารางจุดวัดแสง (Measurement grid) บนทางหลวง ให้พิจารณาพื้นที่วัดแสงของช่องจราจรระหว่างกึ่งกลางโคมไฟสองชุดที่อยู่ติดกันในด้านเดียวกัน โดยอ้างอิงจำนวนจุดวัดแสงและการระบุตำแหน่งพิกัดตามมาตรฐาน BS EN 13201-3 ดังแสดงในรูปที่ 20 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) จุดวัดแสงตามแนวยาวของถนน กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างจุด (D) ไม่เกิน 3 เมตร
   - กรณีที่ระยะห่างระหว่างโคมไฟ (S) ไม่เกิน 30 เมตร กำหนดให้มีจำนวนจุดวัดแสง (N) เท่ากับ 10 จุด และมีระยะห่างระหว่างจุด (D) เท่า ๆ กัน เท่ากับ S/N โดยจุดแรกและจุดสุดท้ายจะอยู่ห่างจากแนวโคมไฟแรกและโคมไฟถัดไปเป็นระยะ D/2
   - กรณีที่ระยะห่างระหว่างโคมไฟ (S) เกินกว่า 30 เมตร กำหนดให้มีจำนวนจุดวัดแสง (N) เท่ากับ S/3 จุด ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นจำนวนเต็มให้ปัดเป็นจำนวนเต็มที่สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้มีระยะห่างระหว่างจุด (D) ไม่เกิน 3 เมตร และมีค่าเท่า ๆ กัน เท่ากับ S/N โดยจุดแรกและจุดสุดท้ายจะอยู่ห่างจากแนวโคมไฟแรกและโคมไฟถัดไปเป็นระยะ D/2
2) จุดวัดแสงตามแนวขวางของถนนกำหนดให้มีจำนวนเท่ากับ 3 จุดต่อช่องจราจร ด้วยระยะห่าง (d) เท่า ๆ กัน เท่ากับ $W_L/3$ โดยจุดแรกและจุดสุดท้ายอยู่ห่างจากขอบถนนเป็นระยะทาง d/2



รูปที่ 20 การกำหนดตารางจุดวัดแสงของช่องจราจรบนทางหลวง ตามมาตรฐาน BS EN 13201-3

5.3.8 รายละเอียดของวิธีการและกระบวนการตรวจวัดค่าความส่องสว่างและค่าความสว่างบนถนนให้อ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 13201-4 โดยตำแหน่งของเครื่องวัดความส่องสว่างจะตั้งอยู่ห่างออกไปจากโคมไฟแรกของพื้นที่วัดแสงเป็นระยะ 60 เมตร บนแนวกึ่งกลางของช่องจราจรแต่ละช่อง ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นผิวถนน ในการวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่วัดแสงที่กำหนดไว้ กำหนดให้มุมมองเครื่องวัดต้องอยู่ที่ 89°±0.5° จากพื้นผิวปกติ

5.4 การตรวจรับงาน

ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการทดสอบคุณภาพของงานติดตั้งของระบบไฟฟ้าและโคมไฟ ทดสอบสมรรถนะการส่องสว่างบนถนน ให้ครบถ้วนถูกต้องทุกรายการ เพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบรายงานผลการตรวจรับงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง พร้อมกับแนบรายงานผลการทดสอบสมรรถนะของโคมไฟที่ติดตั้ง ผลการคำนวณแสงสว่างบนถนนตามเงื่อนไขเดียวกับพื้นที่ทดสอบวัดแสงสว่าง และผลการทดสอบเสาไฟ จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง และเอกสารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น หนังสือส่งมอบงาน ใบตรวจรับงาน ใบรับรองผลการปฏิบัติงาน บัญชีค่างานต่าง ๆ พร้อมรูปถ่ายการปฏิบัติงาน นำเสนอประธานคณะกรรมการตรวจรับพัสดุ เพื่อพิจารณาตรวจรับงานโดยคณะกรรมการตรวจรับพัสดุ

6. การรับประกันผลงานและการซ่อมบำรุง

หากไม่ได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาการเริ่มต้นรับประกันผลงานนับตั้งแต่วันที่คณะกรรมการตรวจรับงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างงวดสุดท้ายเสร็จเรียบร้อยแล้วเป็นต้นไป โดยผู้รับจ้างจะต้องรับประกันโคมไฟถนนแอลอีดีและอุปกรณ์ที่ติดตั้งอื่น ๆ กำหนด 60 เดือน (5 ปี) และภายในระยะเวลาแห่งการรับประกัน ถ้าปรากฏว่าโคมไฟถนนแอลอีดีและอุปกรณ์ติดตั้งอื่น ๆ เกิดความเสียหาย หรือเสื่อมคุณภาพลง ผู้รับจ้างจะต้องเปลี่ยน ซ่อมแซม ให้เรียบร้อยคืนสู่สภาพเดิมภายใน 15 วัน นับตั้งแต่เวลาที่ได้รับแจ้งจากกรมทางหลวง ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมดเป็นของผู้รับจ้างแต่เพียงผู้เดียว

7. ข้อแนะนำในการบริหารสัญญา

หากไม่ได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้ข้อความดังต่อไปนี้ประกอบการบริหารสัญญา ในส่วนความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง การวัดปริมาณงาน การเบิกจ่ายเงิน และข้อมูลทางเทคนิคใช้ในการประกอบสัญญาหรือประกอบการควบคุมงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1 ความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง

7.1.1 ความรับผิดชอบในการออกแบบ และการก่อสร้าง

1) ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบทั้งหมดในการออกแบบให้อุปกรณ์ทุกชิ้นทำงานสัมพันธ์กันและทำงานร่วมกันได้ รวมทั้งดำเนินการก่อสร้างให้เป็นไปตามสัญญา อุปกรณ์ทุกชิ้นต้องเป็นแบบมาตรฐานของผู้ผลิตรุ่นใหม่ที่สุด และรวมถึงรุ่นที่มีการปรับปรุงรูปแบบและวัสดุ วัสดุทุกอย่างที่ใช้ต้องมีคุณภาพสูงและเป็นแบบที่มีคุณภาพมากที่สุดที่ใช้กัน โดยวัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ต้องเหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศที่มีฝนตกชุก ความชื้นสูง และแสงแดดแรงกล้า สามารถใช้งานได้ดีและไม่มีการขัดข้องที่อุณหภูมิสูงถึง 45 องศาเซลเซียส วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบและติดตั้งต้องไม่มีการชำรุดและเสียหาย และได้มาตรฐานตามข้อแนะนำของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แล้วแต่กรณี

2) ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบทั้งหมดในการรวบรวม ตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของถนน การใช้งานและระดับชั้นการให้แสงสว่างของถนน การออกแบบการให้แสงสว่างบนถนน โดยเลือกโคมไฟถนนแอลอีดี เสาไฟ ตลอดจนรูปแบบและรายละเอียดของการติดตั้ง ซึ่งสามารถคำนวณและวิเคราะห์ค่าการส่องสว่างได้อย่างละเอียดเหมาะสม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3) ผู้รับจ้างต้องตรวจสอบความเหมาะสมของพื้นที่และตำแหน่งติดตั้งเสาไฟส่องสว่างถนน และควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งในพื้นที่ใกล้เคียงกับเสาไฟฟ้าแรงสูง โดยพิจารณาตามมาตรฐานระยะห่างของการไฟฟ้าฯ ความปลอดภัยระหว่างการติดตั้งและการใช้งาน กรณีที่จำเป็นต้องติดตั้งใกล้กับเสาไฟฟ้าแรงสูงและมีระยะห่างไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ผู้รับจ้างต้องติดต่อการไฟฟ้าฯ ที่รับผิดชอบเพื่อแก้ไขปัญหาร่วมกัน โดยผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด ถ้ามีการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง ระยะช่วงห่างเสาไฟ หรือความสูงของโคมไฟ และการดำเนินทุกอย่างต้องนำเสนอคณะกรรมการตรวจการจ้างพิจารณาอนุมัติ

4) ผู้รับจ้างต้องส่งแบบและรายละเอียดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้ผู้รับผิดชอบในการจัดซื้อจัดจ้าง และ/หรือ ผู้ออกแบบหรือผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติก่อนการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ เช่น โคมไฟ เสาไฟ กิ่งจับยึด ฐานเสาไฟ สายไฟฟ้า บ่อพัก ตู้ควบคุมและแบบการเดินสายไฟฟ้า เป็นต้น โดยต้องมีวิศวกรไฟฟ้าระดับสามัญ (สฟก.) ลงนามรับรอง

5) ผู้รับจ้างต้องจัดทำแบบรายละเอียดของตู้ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างถนน แสดงขนาด รวมทั้งฐานคอนกรีต (สำหรับตู้ที่ติดตั้งบนพื้นดิน) เนื่องจากขนาดตู้ขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายใน ตามความต้องการเฉพาะของแต่ละโครงการ พร้อมกับแบบ

แผนภาพเส้นเดียว (One line diagram) ส่งให้ผู้ออกแบบหรือผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติก่อนดำเนินการติดตั้ง โดยต้องมีวิศวกรไฟฟ้าระดับสามัญ (สฟก.) ลงนามรับรอง

6) ผู้รับจ้างต้องจัดทำและส่งแบบสำหรับก่อสร้าง (Shop drawing) ส่งให้ผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุมัติก่อนดำเนินการติดตั้ง

7) ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบการติดตั้งตู้ และอุปกรณ์ร่วมอื่น ๆ และต้องเผื่ออุปกรณ์ที่อาจจะมีเพิ่มในอนาคต ตามระบุไว้ในแบบก่อสร้างระบบไฟฟ้า

8) ผู้รับจ้างต้องจัดหาวัสดุอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำเป็นพร้อมทั้งติดตั้ง ถึงแม้จะไม่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในแบบก็ตาม ทั้งนี้ เพื่อให้งานติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าเสร็จสมบูรณ์ใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด

9) ผู้รับจ้างต้องศึกษาแบบไฟฟ้าซึ่งแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ รูปแบบวงจร แนวทางและวิธีการเดินสายในระบบก่อนการติดตั้ง และแบบก่อสร้างงานอื่น ๆ ในโครงการ รวมทั้งสำรวจสภาพพื้นที่บริเวณโครงการโดยละเอียด เพื่อให้งานติดตั้งระบบไฟฟ้าเป็นไปอย่างถูกต้อง หากมีข้อบกพร่องใด ๆ ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อค่าใช้จ่ายในการแก้ไขให้ถูกต้อง

10) ผู้รับจ้างจะต้องทำการสำรวจจำนวนและตำแหน่งเสาไฟถนนที่มีอยู่เดิมตามแนวถนนในโครงการซึ่งจะต้องทำการรื้อถอน โดยการรื้อถอนต้องกระทำอย่างระมัดระวัง ไม่ทำให้เสาไฟ โคมไฟ และอุปกรณ์ภายในเสาไฟได้รับความเสียหาย ผู้รับจ้างต้องนำส่งเสาไฟ โคมไฟ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ไปยังสถานที่ที่ผู้ควบคุมงานกำหนด

11) ในกรณีที่รายละเอียดที่แสดงอยู่ในแบบขัดแย้งกับแบบมาตรฐาน กฟ และข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ ที่รับผิดชอบในเขตพื้นที่โครงการ ให้ใช้มาตรฐาน กฟ และข้อกำหนดการไฟฟ้าฯ เป็นหลัก และผู้รับจ้างจะต้องแก้ไขรายละเอียดดังกล่าวให้ ถูกต้อง และนำเสนอคณะกรรมการตรวจการจ้างพิจารณาอนุมัติ

7.1.2 ความรับผิดชอบในการตรวจสอบวัสดุและอุปกรณ์

ผู้รับจ้างต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่ใช้นั้นเหมาะสมกับการใช้งานและผลิตได้ขนาดพอดี การใช้งานต้องอยู่ในข้อกำหนดของผู้ผลิตหรือที่ได้ตกลงเป็นลายลักษณ์อักษรกับผู้ผลิต ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบในการตรวจสอบอุปกรณ์และชิ้นส่วนทุกชิ้นก่อนที่จะนำมาประกอบการใช้งานและให้แน่ใจว่าถูกต้องตามสัญญา ไม่มีการชำรุดและเสียหายใด ๆ ถ้าพบว่ามีการชำรุดและเสียหาย หรือไม่ถูกต้องตามสัญญา ในขณะตรวจสอบหรือก่อนสิ้นสุดช่วงรับประกันผลงานและการซ่อมบำรุง ผู้รับจ้างจะต้องแก้ไขหรือเปลี่ยนให้ถูกต้องโดยไม่คิดมูลค่างานเพิ่ม

7.1.3 ความรับผิดชอบในการบรรจบกระแสไฟฟ้า

1) ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้ดำเนินการขออนุญาตกับการไฟฟ้าฯ ในนามของกรมทางหลวง เพื่อบรรจบกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบแสงสว่างที่ติดตั้ง โดยให้รวมค่าใช้จ่ายนี้ในสัญญา ผู้รับจ้างต้องแน่ใจว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถใช้งานได้กับแรงดันไฟฟ้าของระบบ มีความ

ทนทานต่อสภาพแรงดันไฟฟ้าแปรปรวนในระดับปกติ รวมทั้งการเพิ่มหรือลดของแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว และแรงดันไฟฟ้าเกินเสิร์จที่เกิดขึ้นได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2) ผู้รับจ้างต้องดำเนินการติดต่อกับการไฟฟ้าฯ ที่รับผิดชอบในเขตที่ตั้งโครงการดังนี้
   - จัดหาแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply) เพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าตู้ควบคุมระบบแต่ละตู้
   - ผู้รับจ้างต้องจัดหาวัสดุอุปกรณ์และติดตั้งสายเมนไฟฟ้าจากเสาไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฯ กำหนดให้เป็นจุดรับไฟฟ้ามายังตู้ควบคุมระบบ โดยติดตั้งเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ
   - ผู้รับจ้างต้องเผื่อสายเมนให้ยาวเพียงพอสำหรับให้การไฟฟ้าฯ มาต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าในภายหลัง โดยผู้รับจ้างเป็นผู้รับผิดชอบในค่าใช้จ่ายทั้งหมด
   - เมื่อผู้รับจ้างได้รับการยืนยันจากการไฟฟ้าฯ ในรายละเอียดและรูปแบบการจ่ายไฟฟ้าให้ระบบแล้ว ผู้รับจ้างต้องแก้ไขปรับปรุงแผนภาพการต่อวงจรไฟฟ้า (Wiring diagram) ให้สอดคล้องกับสภาพจริง โดยแผนภาพการต่อวงจรไฟฟ้าที่แก้ไขต้องส่งให้ผู้ว่าจ้างพิจารณาอนุมัติก่อน
   - การไฟฟ้าฯ เป็นผู้รับผิดชอบในการรื้อถอน ย้าย หรือขยายระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างถนนและสะพาน โดยผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

7.1.4 ความรับผิดชอบต่อสาธารณูปโภค

เพื่อให้การก่อสร้างแล้วเสร็จสมบูรณ์และมิให้เกิดความเสียหายต่อทางราชการ ผู้รับจ้างต้องสำรวจพื้นที่ที่ต้องการก่อสร้าง หาข้อมูลเกี่ยวกับสาธารณูปโภคต่าง ๆ และต้องรับผิดชอบในความเสียหายใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นแก่สิ่งสาธารณูปโภคเหล่านั้น และหากปรากฏว่ามีสิ่งสาธารณูปโภคต่าง ๆ กีดขวางการก่อสร้าง ให้เป็นหน้าที่ของผู้รับจ้างที่จะดำเนินการติดต่อกับหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อการรื้อถอน เคลื่อนย้าย และซ่อมแซม หรือก่อสร้างให้กลับสู่สภาพเดิม ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมดเป็นของผู้รับจ้างแต่เพียงผู้เดียว

7.2 การวัดปริมาณงาน

7.2.1 ในกรณีที่งานไม่มีใบแสดงรายการปริมาณงาน (Bill of quantities) การเบิกจ่ายเงินจะกระทำโดยวิธีเหมาจ่าย (Lump sum)

7.2.2 ในกรณีที่งานมีใบแสดงรายการปริมาณงาน ปริมาณงานจะวัดตามรายการปริมาณงานของงานที่แสดงไว้ในใบแสดงรายการปริมาณงาน

7.3 การเบิกจ่ายเงิน

7.3.1 การเหมาจ่ายสำหรับงานไฟฟ้าแสงสว่างจะจ่ายสำหรับค่างานทั้งหมดอันได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือ ค่าดำเนินการ ค่าตรวจสอบ และรวมไปถึงค่าดำเนินการในการซ่อมบริเวณที่ติดตั้งให้คงเดิม ในกรณีที่การติดตั้งทำความเสียหายต่อทางหลวงและทรัพย์สินอื่น ๆ นอกจากนี้ การเหมาจ่ายจะครอบคลุมไปถึงค่าชดเชยอันเนื่องจากงานใด ๆ ที่มีความจำเป็นต้องดำเนินการเพื่อให้การติดตั้งบรรลุผลสำเร็จแม้ว่าจะไม่ระบุในแบบ

7.3.2 ค่างานจะเบิกจ่ายได้ตามราคาต่อหน่วยของแต่ละรายการ ซึ่งกำหนดไว้ในสัญญา ราคาของค่างานนี้จะรวมถึงค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักร ค่าเครื่องมือ และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่

จำเป็นในการทำงานให้แล้วเสร็จ สำหรับค่าวัสดุและค่างานอื่น ๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในใบแสดงรายการปริมาณงาน ให้ถือว่าได้รวมอยู่ในรายการอื่น ๆ ไว้แล้ว

7.4 ข้อมูลทางเทคนิคใช้ในการประกอบสัญญา หรือประกอบการควบคุมงาน

7.4.1 แค็ตตาล็อกแสดงรายละเอียดและคุณลักษณะเฉพาะของโคมไฟถนนแอลอีดี และอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ตัวโคมไฟ มอดูลแอลอีดี เลนส์ควบคุมแสง อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ ขั้วต่อสาย และสายไฟ เป็นต้น

7.4.2 เอกสารรับรองและรายงานรับรองผลการทดสอบเพื่อแสดงว่าโคมไฟถนนแอลอีดีมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนด

7.4.3 เอกสารแสดงรายละเอียดชนิดและรุ่นของชิ้นส่วนที่สำคัญจากผู้ผลิต รวมทั้งคู่มือแสดงวิธีการติดตั้ง การถอดเปลี่ยน และคำแนะนำในการซ่อมบำรุงโคมไฟถนนและชิ้นส่วนที่สำคัญ

7.4.4 เอกสารรับประกันสินค้า และเอกสารยืนยันการสำรองชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโคมไฟตลอดระยะเวลาอายุการใช้งานจากผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่าย

7.4.5 รายละเอียดแบบเสาไฟ กิ่งโคม แผ่นรอง และฐานรากคอนกรีต

7.4.6 แบบการติดตั้งเสาไฟ และโคมไฟ

7.4.7 แบบและแผนผังการต่อวงจรไฟฟ้าและการต่อสายดิน

7.4.8 รายงานรับรองผลการทดสอบสมรรถนะของโคมไฟถนนแอลอีดี ซึ่งแสดงข้อมูลทางไฟฟ้า ข้อมูลทางแสงและสีของโคมไฟ และรายงานรับรองผลการคำนวณแสงสว่างบนถนนและผลการประเมินสมรรถนะการส่องสว่างของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ติดตั้งจริงตามแบบการติดตั้งจากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลางที่ได้รับการรับรองความสามารถตามมาตรฐาน มอก. 17025

7.4.9 ไฟล์ข้อมูลทางแสง (Photometric file) ของโคมไฟถนน

ภาคผนวก ก

ข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะและมาตรฐานของโคมไฟถนนแอลอีดีสำหรับทางหลวง

1. วัตถุประสงค์และขอบเขต

ข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะและมาตรฐานของโคมไฟถนนแอลอีดีเป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ขั้นต่ำด้านเทคนิคและรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของโคมไฟถนนแอลอีดี และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ครอบคลุมการใช้งานบนถนนทางหลวงที่มีการจราจรด้วยยานยนต์ (Motor traffic; M) ถนนทางหลวงแผ่นดินวิ่งผ่านเข้าไปยังพื้นที่เขตเมือง หรือเขตชุมชน และบริเวณทางเชื่อมต่อและทางแยก ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ขัดแย้งกัน (Conflict area; C) รวมถึงทางเดินเท้า ทางจักรยาน หรือถนนที่มีการจราจรด้วยความเร็วต่ำ (Pedestrian traffic; P) ภายใต้ความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ตามที่กำหนดไว้ในลำดับชั้นทาง (Road hierarchy) ของกรมทางหลวง และระดับชั้นการให้แสงสว่างตามมาตรฐาน มอก. 2954 หรือ BS EN 13201-2 โดยอ้างอิงข้อกำหนดและมาตรฐานต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่มีผลบังคับใช้ในประเทศ และมาตรฐานสากล มีการกำหนดเกณฑ์ค่าฟลักซ์ส่องสว่างเริ่มต้น คุณสมบัติทางแสงและสี และพิกัดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟถนนแอลอีดี พร้อมกับกำหนดเกณฑ์ควบคุมสมรรถนะด้านพลังงานของโคมไฟ ทางด้านประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานและค่าพลังงานไฟฟ้า ให้เหมาะสมกับรูปแบบถนนและการติดตั้งโคมไฟ ตามระดับชั้นการให้แสงสว่างและสภาพแวดล้อมข้างทางที่แตกต่างกัน

2. นิยามและคำศัพท์

1) โคมไฟแอลอีดี (LED Luminaire) หมายถึง โคมไฟถนนแอลอีดีที่ประกอบด้วย ตัวโคมไฟ (Housing) ฝาครอบโคมไฟ (Cover) มอดูลแอลอีดี (LED module) เลนส์ควบคุมแสง (Optical lens) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า (Driver) อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge protective device; SPD) ขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ (Receptacle) สายไฟฟ้าและขั้วต่อสายไฟ (Wire and connector)
2) แพ็กเกจแอลอีดี (LED package) หมายถึง ส่วนประกอบทางไฟฟ้าชิ้นเดี่ยว ซึ่งส่วนใหญ่ห่อหุ้มดายแอลอีดี (LED die) จำนวน 1 ดาย หรือมากกว่าไว้ อาจรวมองค์ประกอบทางแสง และส่วนต่อเชื่อมทางความร้อน ทางกล และทางไฟฟ้า
3) มอดูลแอลอีดี (LED module) หมายถึง แหล่งกำเนิดแสงชนิดแอลอีดีซึ่งไม่มีขั้วหลอด ประกอบด้วยแพ็กเกจแอลอีดีจำนวน 1 แพ็กเกจ หรือมากกว่า ประกอบอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ และอาจรวมส่วนประกอบอื่นหนึ่งหรือหลายส่วน ได้แก่ ส่วนประกอบทางไฟฟ้า ทางแสง ทางกล ทางความร้อน ส่วนต่อเชื่อม และอุปกรณ์ควบคุม
4) อุปกรณ์ควบคุมสำหรับมอดูลแอลอีดี (Controlgear for LED module) หรืออุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า (Driver) หมายถึง หน่วยที่แทรกอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับมอดูลแอลอีดี หนึ่งหรือหลายชุด ซึ่งมีหน้าที่ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด หรือกระแสไฟฟ้าที่กำหนดให้กับมอดูลแอลอีดีนั้น ๆ อาจประกอบด้วยส่วนประกอบหนึ่ง หรือหลายส่วนแยกจากกัน และอาจรวมเอาส่วนการหรี่ไฟ การปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การลดทอนสัญญาณรบกวนคลื่นวิทยุ และหน้าที่การควบคุมอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้
5) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous intensity; I) หมายถึง ความหนาแน่นของฟลักซ์การส่องสว่างไปยังทิศทางหนึ่ง หน่วยของความเข้มการส่องสว่าง คือ แคนเดลา (Candela, cd)

6) ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux; ϕ) หมายถึง กำลังแสงสว่างที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงโดยไม่คำนึงถึงทิศทางที่กระจัดกระจายออกไป หน่วยที่ใช้วัด คือ ลูเมน (Lumen, lm)
7) ประสิทธิศักย์ของการส่องสว่างของโคมไฟ (Luminaire luminous efficacy) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์การส่องสว่างของโคมไฟและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลักซ์การส่องสว่างของโคมไฟ หน่วยวัดเป็น Lumen/watt (lm/W)
8) แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (Rated voltage) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย หรือแรงดันไฟฟ้าที่ผู้ทำระบุไว้ที่โคมไฟแอลอีดี
9) อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศหรือตัวกลางอื่น ๆ ที่อยู่โดยรอบโคมไฟแอลอีดี มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (^{o}C)
10) อายุการส่องสว่างของแพ็กเกจแอลอีดี (Luminous life time of LED package) หมายถึง คาบระยะเวลาที่อุณหภูมิรอยต่อ (Junction temperature; T_j) และกระแสไฟฟ้าที่กำหนด ซึ่งกำหนดโดยระดับต่ำสุดที่ฟลักซ์การส่องสว่างเป็น x% ของค่าเริ่มต้นที่วัดได้

3. มาตรฐานอ้างอิง

3.1 มาตรฐานทั่วไป

- Made in Thailand (MiT), สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- มอก. 2778-2561, แสงสว่างทั่วไป - ผลิตภัณฑ์ไดโอดเปล่งแสง (แอลอีดี) และบริภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง: บทนิยาม
- ANSI C78.377-2024, Electric lamps - specifications for the chromaticity of solid-State lighting (SSL) products

3.2 มาตรฐานของโคมไฟถนนแอลอีดี

- มอก. 1995-2551, บริภัณฑ์ส่องสว่างและบริภัณฑ์ที่คล้ายกัน: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ
- มอก. 902 เล่ม 1-2563, ดวงโคมไฟฟ้า เล่ม 1 - คุณลักษณะที่ต้องการทั่วไปและการทดสอบ
- มอก. 902 เล่ม 2(3)-2557, ดวงโคมไฟฟ้าสำหรับให้แสงสว่างบนถนน
- มอก. 61000 เล่ม 3(2)-2565, ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เล่ม 3(2) ขีดจำกัด - ขีดจำกัดสำหรับสัญญาณปล่อยซึ่งเป็นกระแสฮาร์มอนิก (กระแสไฟฟ้าเข้าของบริภัณฑ์ ≤16 แอมแปร์ต่อเฟส)
- มอก. 61000 เล่ม 3(3)-2566, ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เล่ม 3(3) ขีดจำกัด - ขีดจำกัดสำหรับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า การกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าและการกะพริบในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันต่ำสาธารณะสำหรับบริภัณฑ์ที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนด ≤16 แอมแปร์ต่อเฟส และไม่ขึ้นอยู่กับการต่อแบบมีเงื่อนไข

3.3 มาตรฐานแพ็กเกจแอลอีดี และมอดูลแอลอีดี

- IEC 62471:2006, Photobiological safety of lamps and lamp systems
- มอก. 2782-2564, มอดูลแอลอีดีสำหรับการให้แสงสว่างทั่วไป - คุณลักษณะที่ต้องการด้านความปลอดภัย
- IEC 62031:2018 RLV, LED modules for general lighting - safety specifications

3.4 มาตรฐานอุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า

- มอก. 3002-2562, อุปกรณ์ควบคุมหลอด - คุณลักษณะที่ต้องการเฉพาะสำหรับอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับมอดูลแอลอีดี
- IEC 61347-2-13:2024, Controlgear for electric light sources - safety - part 2-13: particular requirements - electronic controlgear for LED light sources
- มอก. 3499-2565, อุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับมอดูลแอลอีดี - คุณลักษณะที่ต้องการด้านสมรรถนะ
- IEC 62384:2020 RLV, DC or AC supplied electronic controlgear for LED modules - Performance requirements

3.5 มาตรฐานขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ

- ANSI C136.41-2021, Roadway and area lighting equipment-dimming control between an external locking type photocontrol and ballast or driver
- IEC PAS 63421:2022, Zhaga interface specification book 18 including book 1 - outdoor luminaire extension interface

3.6 มาตรฐานอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ

- IEC 61643-11:2011, Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods

3.7 มาตรฐานการวัดและการทดสอบ

- มอก. 513-2553, ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า (รหัส IP)
- มอก. 1455-2562, ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เล่ม 4 เทคนิคการทดสอบและการวัด ส่วนที่ 5 การทดสอบภูมิคุ้มกันเสิร์จ
- มอก. 62262-2566, ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มสำหรับบริภัณฑ์ไฟฟ้าจากการกระแทกเชิงกลภายนอก (รหัส IK)
- ANSI/IES LM-79-24, Approved method: optical and electrical measurements of solid-state lighting products
- CIE S 025/E:2015, Test method for LED lamps, LED luminaires and led modules
- ANSI/IES LM-63-19, Approved method: IES standard file format for the electronic transfer of photometric data and related information
- EULUMDAT format, Stockmar A.W. EULUMDAT/2 - Extended version of a well established luminaire data format / A.W. Stockmar // CIBSE National Lighting Conference. - 1998. - pp. 353-362
- ANSI/IES LM-80-21, Approved method: measuring maintenance of light output characteristics of solid-state light sources
- ANSI/IES TM-21-21, Technical memorandum: projecting long-term luminous, photon, and radiant flux maintenance of LED light sources

- UL 1598 Ed.5-2021, Standard for safety - luminaires: in-situ temperature measurement test (ISTMT)
- Annex A of ANSI/IES LM-84-20, Recommendations for measurement of in-situ LED case temperature, T_s

3.8 มาตรฐานการออกแบบและการคำนวณการส่องสว่างไฟถนน

- แนวทางปฏิบัติสำหรับงานออกแบบและติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง ชนิดโคมไฟแอลอีดี (Guidelines for the design and installation of LED road lighting) ปี 2568
- มอก. 2954-2562, ข้อแนะนำการให้แสงสว่างบนถนน สำหรับการจราจรด้วยยานยนต์และคนเดินเท้า
- CIE 140:2019, Road lighting calculations
- BS EN 13201-2:2015, Road lighting - Part 2: performance requirements
- BS EN 13201-3:2015, Road lighting - Part 3: calculation of performance
- BS EN 13201-5:2015, Road lighting - Part 5: energy performance indicators
- CIE 144:2001, Road surface and road marking reflection characteristics

3.9 มาตรฐานของผู้ผลิตโคมไฟถนนแอลอีดี

- มอก. 9001-2559, ระบบการบริหารงานคุณภาพ - ข้อกำหนด
- ISO 9001:2015, Quality management systems – requirements

3.10 มาตรฐานห้องปฏิบัติการทดสอบ

- มอก. 17025-2561 ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและห้องปฏิบัติการสอบเทียบ
- ISO/IEC 17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- หลักการจำแนกประเภทหน่วยงานของรัฐในกำกับของฝ่ายบริหาร สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (ก.พ.ร.) ฉบับ กันยายน 2558

4. ข้อกำหนดของโคมไฟถนนแอลอีดี

4.1 ข้อกำหนดทั่วไป

4.1.1 การทำเครื่องหมาย

1) โคมไฟถนนแอลอีดีต้องแสดงเครื่องหมายตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มอก. 902 เล่ม 1 และเครื่องหมายคิวอาร์โค้ด (QR Code) ที่กำหนดโดย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ตามมาตรฐานบังคับ มอก. 1955
2) ต้องทำเครื่องหมายนอกตัวโคมไฟให้สามารถมองเห็นและอ่านได้ง่าย โดยแสดงค่าที่กำหนดของโคมไฟและการใช้งาน เช่น 120 W, 230 V, 50 Hz และ PF. 0.9 เป็นต้น
3) แจ้งชื่อรุ่น (Model) ของโคมไฟถนน และวันที่ผลิต

4.1.2 โคมไฟถนนแอลอีดี ในรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะนี้ มีตัวโคมไฟ และชิ้นส่วนต่าง ๆ ประกอบด้วย

1) ตัวโคมไฟ (Housing)
2) ฝาครอบ (Cover)
3) มอดูลแอลอีดี (LED module)
4) เลนส์ควบคุมแสง (Optical lens)
5) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า หรือไดร์เวอร์ (Driver)
6) อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge protective device; SPD)
7) ขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ (Receptacle)
8) สายไฟฟ้าและขั้วต่อสายไฟ (Wire and connector)

4.1.3 โคมไฟถนนต้องผลิตจากโรงงานที่ได้รับการรับรองระบบบริหารงานคุณภาพตาม มอก. 9001 หรือ ISO 9001 และต้องมีเครื่องมือทดสอบสมรรถนะของโคมไฟถนนแอลอีดี ได้แก่ คุณสมบัติการกระจายแสง ค่าฟลักซ์ส่องสว่างรวม สเปกตรัมแสงและคุณสมบัติทางสีของแสง และค่าทางไฟฟ้าสำหรับกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิต

4.1.4 โคมไฟถนนต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย และได้รับการรับรอง MiT จากสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่มีสถานะใบรับรองเป็น “ผ่านการรับรอง MiT” ในวันยื่นข้อเสนอ

4.1.5 โคมไฟถนนแอลอีดีควรมีอายุการใช้งานของตัวโคมไฟ มอดูลแอลอีดี อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า และชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญไม่น้อยกว่า 50,000 ชั่วโมง หรือ 10 ปี โดยผู้ผลิตควรมีชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโคมไฟถนนแอลอีดีสำรองให้กับกรมทางหลวง สำหรับการซ่อมบำรุงตลอดระยะเวลาอายุการใช้งาน

4.1.6 โคมไฟถนนแอลอีดีต้องมีระยะเวลาการรับประกันไม่น้อยกว่า 5 ปี พร้อมแนบเอกสารการรับประกันจากผู้ผลิตโคมไฟถนนแอลอีดีโดยตรง

4.2 ตัวโคมไฟและชิ้นส่วน

4.2.1 ตัวโคมไฟ (Housing)

1) ตัวโคมไฟต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงและคงทนการกัดกร่อน ทำจากอะลูมิเนียมหล่อขึ้นรูปด้วยความดันสูง (High pressure die-cast aluminum) มีความแข็งแรง ทนต่อแสงแดดและการกัดกร่อนได้ดี พ่นทับด้วยสีฝุ่น (Powder coating) สีเทา
2) ตัวโคมไฟมีการแยกส่วนของแหล่งกำเนิดแสงและส่วนของอุปกรณ์ควบคุมออกจากกัน เพื่อแยกส่วนในการระบายความร้อน และสามารถเปิด-ปิดฝาครอบได้สะดวก
3) ตัวโคมไฟมีขนาดพื้นผิวด้านนอกและมีรูปร่างที่เหมาะสมในการระบายความร้อน เหมาะสมกับการใช้งานภายใต้อุณหภูมิโดยรอบ (Ambient temperature) ในช่วง 0 ถึง 45 องศาเซลเซียส
4) ตัวโคมไฟใช้การระบายความร้อนตามธรรมชาติ (Passive cooling) ไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยระบายความร้อนเสริม เช่น การใช้พัดลมระบายความร้อน (Active cooling) เป็นต้น

5) ระหว่างหน้าสัมผัสของฝาครอบหรือฝาปิดทุกส่วนและตัวโคมไฟต้องใช้วัสดุปะเก็นสำหรับกันน้ำเข้าเป็นซิลิโคนคุณภาพสูง
6) มีฝาเปิด-ปิดเพื่อซ่อมแซมและบำรุงรักษา (Service) ในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมจากด้านบนเพื่อบำรุงรักษาชิ้นส่วนภายใน เช่น อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ เคเบิลแกลนด์ และขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟถนน เป็นต้น
7) ตัวโคมไฟต้องออกแบบให้มีโครงสร้างและมีพื้นที่สำหรับติดตั้งขั้วรับ (Receptacle) สำหรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟถนน (Node controller) หรือมีจุดเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกโดยเฉพาะ

4.2.2 ฝาครอบ (Cover)

1) ฝาครอบด้านหน้าประกอบด้วย กรอบอะลูมิเนียม และกระจกใสแผ่นเรียบ (Flat glass) ชนิดกระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered glass) ทนความร้อน ที่มีประสิทธิภาพในการส่องผ่านของแสงสูง และมีความแข็งแรง
2) การจับยึดฝาครอบกระจกแผ่นเรียบเข้ากับตัวโคมไฟด้วยปะเก็นยางซิลิโคนต้องแนบสนิทกับกระจกและกรอบอะลูมิเนียมของตัวโคมไฟและมีความแข็งแรง เพื่อป้องกันฝุ่นและน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ยึด (Fastener) และสกรู (Screw) คุณภาพสูงไม่เป็นสนิมชนิดสแตนเลส

4.2.3 มอดูลแอลอีดี (LED module)

1) มอดูลแอลอีดีต้องสามารถถอดเปลี่ยนได้ เพื่อง่ายต่อการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม รวมทั้งการยกระดับมอดูลแอลอีดีที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต มีการระบุชนิดและรุ่นของมอดูลแอลอีดีจากผู้ผลิต พร้อมแนบเอกสารแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของมอดูลแอลอีดี ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับมอดูลแอลอีดีที่เต็มพิกัดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟ พร้อมกับระบุช่วงของค่าแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กัน รวมทั้งวิธีการถอดและติดตั้งมอดูลแอลอีดีเข้ากับตัวโคมไฟถนน
2) มอดูลแอลอีดีต้องเป็นไปตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัย ตามมาตรฐาน มอก. 2782 หรือ IEC 62031
3) มอดูลแอลอีดีต้องใช้แพ็กเกจแอลอีดี (LED package) ชนิด SMD (Surface mounted device) รุ่นกำลังไฟฟ้าสูง (High power) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงจากผู้ผลิตที่มีความน่าเชื่อถือ โดยมีหนังสือรับรองการใช้งานจากผู้ผลิต ระบุชนิดและรุ่นของแพ็กเกจแอลอีดี
4) แพ็กเกจแอลอีดีต้องมีรายงานรับรองผลการทดสอบการดำรงลูเมน (Lumen maintenance) ตามมาตรฐาน IES LM-80 ไม่น้อยกว่า 9,000 ชั่วโมง และแสดงผลการคำนวณอายุการใช้งาน (Lifetime) ของแพ็กเกจแอลอีดี ที่ระดับการดำรงลูเมน 90% (L90) ไม่น้อยกว่า 50,000 ชั่วโมง ด้วยการคำนวณตามมาตรฐาน IES TM-21 จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง โดยใช้ค่าอุณหภูมิของแพ็กเกจแอลอีดี (T_S) สูงสุด และค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ

แพ็กเกจแอลอีดี (I_F) ตามผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ (In-situ temperature measurement test, ISTMT) ในข้อที่ 4.6.2 10)

5) แพ็กเกจแอลอีดีต้องมีอุณหภูมิสี (CCT) 4,000 K ตามมาตรฐาน ANSI C78.377 หรือมีอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง 3,985±275K และมีค่า D_{uv} อยู่ในช่วง 0.0010±0.0060 *(สำหรับอุณหภูมิสีอื่น ๆ ให้พิจารณาภาคผนวก ค)*
6) แพ็กเกจแอลอีดีต้องความคงเส้นคงวาของสี (Color consistency) โดยมีการเบี่ยงเบนมาตรฐานของการจับคู่สี (Standard deviation of color matching) ไม่เกิน 5 SDCM
7) แพ็กเกจแอลอีดีต้องมีค่าดัชนีความถูกต้องของสีทั่วไป (General color rendering index; CRI หรือ Ra) ไม่น้อยกว่า 70 *(กรณีที่ให้ความสำคัญกับการรับรู้ใบหน้า หรือความถูกต้องของสีวัตถุ ควรกำหนดให้ CRI มีค่าไม่น้อยกว่า 80)*
8) แพ็กเกจแอลอีดีมีผลการทดสอบความปลอดภัยด้านชีวภาพทางแสง (Photobiological safety) ตามมาตรฐาน IEC 62471 อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง (Medium risk, RG2) หรือดีกว่า ครอบคลุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแพ็กเกจแอลอีดี (LED forward current; I_F)

4.2.4 เลนส์ควบคุมแสง (Optical lens)

1) เลนส์ควบคุมแสงต้องผลิตจากวัสดุประเภท Polymethyl methacrylate (PMMA) acrylic ชนิดใส หรือ Polycarbonate (PC) ชนิดใส ที่มีประสิทธิภาพในการส่องผ่านของแสงสูงและทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากรังสียูวี (UV)
2) เลนส์ควบคุมแสงต้องมีคุณสมบัติทางแสงตรงกับผลการทดสอบทางแสงของโคมไฟเมื่อใช้กับมอดูลแอลอีดีของผู้ผลิต พร้อมแนบเอกสารแสดงรายละเอียดของเลนส์ ซึ่งต้องสอดคล้องกับชนิดและรุ่นของแพ็กเกจแอลอีดีและมอดูลแอลอีดีที่ต้องใช้งานร่วมกัน และมีหนังสือรับรองระบุชนิดและรุ่นของเลนส์ที่ใช้จากผู้ผลิต เพื่อรักษาคุณสมบัติการกระจายแสงในกรณีการซ่อมบำรุง รวมทั้งมีเอกสารแสดงวิธีการถอดและติดตั้งเลนส์เข้ากับมอดูลแอลอีดี

4.2.5 อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า (Driver)

1) เป็นผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตที่มีคุณภาพสูงและนิยมใช้อย่างแพร่หลาย และเป็นรุ่นมาตรฐานที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป
2) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าเป็นชนิดควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant current) ติดตั้งอยู่ภายในตัวโคมไฟแยกจากชุดมอดูลแอลอีดี และมีการระบายความร้อนที่เหมาะสม
3) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัย ตามมาตรฐานความปลอดภัย มอก. 3002 หรือ IEC 61347-2-13
4) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องผ่านการรับรองขีดจำกัดสัญญาณวิทยุ ตามมาตรฐาน มอก. 1955
5) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดด้านสมรรถนะ ตามมาตรฐาน มอก. 3499 หรือ IEC 62384

6) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิตัวเรือน (Case temperature; T_C) ไม่น้อยกว่า 70 องศาเซลเซียส
7) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องมีวงจรป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit protection) กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าสูงเกินกำหนด (Over voltage protection) และอุณหภูมิสูงเกินกำหนด (Over temperature protection)
8) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องมีวงจรหรืออุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge protection) ภายในระหว่างสาย L-N ไม่ต่ำกว่า 4 kV และระหว่างสาย L-G และ N-G ไม่ต่ำกว่า 6 kV
9) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องสามารถปรับค่ากระแสขาออกเพื่อปรับความสว่างของโคมไฟถนนได้ (Dimming) โดยใช้สัญญาณควบคุมชนิด 0(1)-10VDC หรือ DALI กรณีที่ใช้สัญญาณควบคุม DALI อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ควบคุม (Node controller) อย่างเหมาะสม
10) อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าต้องมีรายงานรับรองอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 50,000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิตัวเรือน (Case temperature; T_C) สูงสุด โดยอ้างอิงจากผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ (In-situ temperature measurement test, ISTMT) ในข้อที่ 4.6.2 10)
11) ต้องระบุชนิดและรุ่นของอุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าจากผู้ผลิต พร้อมแนบเอกสารแสดงรายละเอียดของคุณสมบัติของอุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า รูปแสดงวงจรการต่อทางไฟฟ้า วิธีการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอดูลแอลอีดีที่เต็มพิกัดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟ รวมทั้งแสดงวิธีการถอดและติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับตัวโคมไฟ

4.2.6 อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge protection device)

ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (SPD) ติดตั้งเพิ่มเติมอยู่ภายในโคมไฟถนน มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน IEC 61643-11 ทำให้โคมไฟสามารถทนแรงดันไฟฟ้าเกินเสิร์จที่ระดับแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำ 6 kV ระหว่างสายไฟฟ้า L-N (Differential mode) และที่แรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำ 10 kV ระหว่างสายไฟฟ้า L-G และ N-G (Common mode) โดยต้องมีการระบุชนิดและรุ่นของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จจากผู้ผลิต พร้อมเอกสารแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์

4.2.7 ขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ

ต้องมีขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟถนน ชนิด ZHAGA พร้อมฝาปิด (Cover) ตามมาตรฐาน ZHAGA book-18 (IEC PAS 63421) หรือชนิด NEMA (ANSI C136.41) Socket แบบ 5-pins หรือ 7-pins พร้อมฝาปิดลัดวงจร (Shorting Caps) และต้องเดินสายไฟฟ้าภายในสำหรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟถนน (Node controller) ให้เรียบร้อย

4.2.8 เคเบิลแกลนด์ (Cable gland)

ต้องมีช่องใส่สายไฟฟ้าเข้าโคมไฟพร้อมอุปกรณ์ป้องกันการบาดสายไฟด้วยเคเบิลแกลนด์สำหรับสายแต่ละเส้น

4.3 ข้อกำหนดด้านคุณสมบัติทางกล

4.3.1 โคมไฟทั้งชุดต้องผ่านการรับรองระดับการป้องกันฝุ่นและน้ำ (Ingress protection; IP) ไม่น้อยกว่า IP65 ตามมาตรฐาน มอก. 513 จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.3.2 โคมไฟต้องผ่านการรับรองระดับการป้องกันการกระแทก (Impact protection; IK) ไม่น้อยกว่า IK08 ตามมาตรฐาน มอก. 62262 จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.3.3 โคมไฟต้องผ่านการทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration test) ตามมาตรฐาน มอก. 902 เล่ม 1 จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.3.4 โคมไฟต้องมีน้ำหนักรวมไม่เกิน 15 กิโลกรัม

4.3.5 โคมไฟต้องมีส่วนจับยึดกิ่งที่แข็งแรง รับน้ำหนักโคมไฟถนนได้อย่างมั่นคง ทั้งในรูปแบบ Side-entry และ Post-top โดยสวมกับกิ่งโคม หรือส่วนปลายของเสาไฟแบบตรง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (OD) 60 mm. หรือ 76 mm. ตามประเภทและความสูงของเสาไฟ ได้ความลึกไม่น้อยกว่า 100 mm. ให้การติดตั้งมั่นคงแข็งแรง ส่วนจับยึดกิ่งต้องสามารถปรับมุมเอียงได้อย่างน้อย ±15 องศา เพื่อสามารถปรับมุมเอียง (Tilt angle) ของหน้าโคมไฟให้เงยไม่เกิน 5 องศา เทียบกับแนวราบ และให้ผลการคำนวณแสงสว่างบนถนนผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

4.4 ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของโคมไฟถนน

4.4.1 โคมไฟถนนต้องมีระดับการป้องกันทางไฟฟ้า Class I หรือมีการต่อลงดินเพื่อความปลอดภัย

4.4.2 โคมไฟถนนต้องผ่านการรับรองข้อกำหนดด้านความปลอดภัยตามมาตรฐาน มอก. 902 เล่ม 2(3) จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.5 ข้อกำหนดด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

4.5.1 โคมไฟต้องผ่านการรับรองขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ ตามมาตรฐาน มอก. 1955 จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.5.2 โคมไฟต้องเป็นไปตามขีดจำกัดสำหรับการปล่อยกระแสฮาร์มอนิก ตามมาตรฐาน มอก. 61000 เล่ม 3(2) จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.5.3 โคมไฟต้องเป็นไปตามขีดจำกัดของการกระเพื่อมและเปลี่ยนแปลงไปมาของแรงดันไฟฟ้า ตามมาตรฐาน มอก. 61000 เล่ม 3(3) จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.5.4 โคมไฟมีอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (SPD) ที่ระบุในข้อ 4.2.6 สามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าเกินเสิร์จที่ระดับแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำ 6 kV ระหว่างสายไฟฟ้า L-N (Differential mode) และที่แรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำ 10 kV ระหว่างสายไฟฟ้า L-G และ N-G (Common mode) ตามมาตรฐานการทดสอบ มอก. 1455 ให้ผลทดสอบขั้นต่ำในระดับเกณฑ์สมรรถนะ B หรือดีกว่า จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.6 ข้อกำหนดด้านสมรรถนะของโคมไฟถนน

4.6.1 ข้อกำหนดด้านสมรรถนะทางไฟฟ้า

1) มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 230V AC ความถี่ 50Hz และสามารถใช้งานได้อย่างปกติในช่วงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า 230V AC ± 10% (207-253V AC)
2) มีค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดของโคมไฟไม่เกิน.....วัตต์ (W) *(ตามที่กำหนดในภาคผนวก ข)*
3) มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor) ของโคมไฟไม่ต่ำกว่า 0.90
4) มีค่าฮาร์มอนิกรวมของกระแสไฟฟ้าด้านเข้า (Total harmonic current distortion; THD_i) สูงสุดไม่เกิน 20% ที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดและกำลังไฟฟ้าที่กำหนดของโคมไฟ

4.6.2 ข้อกำหนดด้านสมรรถนะทางแสงและสีของแสง

1) มีค่าฟลักซ์การส่องสว่างรวม (Total luminous flux) ไม่น้อยกว่า.....ลูเมน (lm) *(ตามที่กำหนดในภาคผนวก ข)*
2) โคมไฟถนนแอลอีดีต้องมีคุณสมบัติการกระจายความเข้มการส่องสว่างในระบบมุม (C- γ) ที่วัดตามมาตรฐาน CIE 140 โดยมีช่วงความละเอียดของมุมระนาบ C ไม่เกิน 5 องศา และมุม γ ไม่เกิน 2.5 องศา
3) มีค่าประสิทธิศักย์การส่องสว่างของโคมไฟทั้งชุดไม่น้อยกว่า 140 lm/W
4) มีอุณหภูมิสีของแสง (Correlated color temperature; CCT) 4,000K ตามมาตรฐาน ANSI C78.377 หรือมีอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง 3,985±275K และมีค่า D_{uv} อยู่ในช่วง 0.0010±0.0060 *(สำหรับอุณหภูมิสีอื่น ๆ ให้พิจารณาในภาคผนวก ค)*
5) มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีทั่วไป (General color rendering index; CRI หรือ Ra) ไม่น้อยกว่า 70 *(กรณีที่ให้ความสำคัญกับการรับรู้ใบหน้า หรือความถูกต้องของสีวัตถุ ควรกำหนดให้ CRI มีค่าไม่น้อยกว่า 80)*
6) โคมไฟต้องมีคุณสมบัติการกระจายแสงเหมาะสมในการให้แสงสว่างบนถนนทางหลวง ตามมาตรฐานระดับชั้นการให้แสงสว่างบนถนนทางหลวง หรือมาตรฐาน BS EN 13201-2
7) โคมไฟต้องมีสัดส่วนของแสงที่ส่องขึ้นด้านบน (Upward light output ratio; ULOR) ไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์
8) โคมไฟถนนที่ติดตั้งบนพื้นที่ขัดแย้งกัน (Conflict area; C) หรือทางเดินเท้า ทางจักรยาน และถนนที่มีการจราจรด้วยความเร็วต่ำ (Pedestrian traffic; P) ซึ่งไม่สามารถประเมินค่าส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold increment; TI) ได้ ต้องมีระดับชั้นความเข้มการส่องสว่าง (CIE Intensity class G) ไม่ต่ำกว่าระดับชั้น G3 หรือตั้งแต่ G3 ถึง G6 ที่มุมเอียงของโคมไฟขณะติดตั้งใช้งาน
9) ต้องมีรายงานรับรองผลการทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้า แสงและสีของโคมไฟ ตามมาตรฐาน IES LM-79 หรือ มาตรฐาน CIE S 025 จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

10) ต้องมีรายงานรับรองผลการทดสอบวัดอุณหภูมิของแพ็กเกจแอลอีดีและอุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า (In-situ Temperature Measurement Test; ISTMT) โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน UL 1598 หรือ ภาคผนวก A ในมาตรฐาน ANSI/IES LM-84 ที่อุณหภูมิแวดล้อม 35 องศาเซลเซียส จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง

4.7 ข้อกำหนดด้านสมรรถนะการให้แสงสว่างของโคมไฟถนน

4.7.1 โคมไฟถนนแอลอีดีต้องมีสมรรถนะการให้แสงสว่างผ่านเกณฑ์ความส่องสว่าง หรือความสว่างที่กำหนดไว้ในมาตรฐานระดับชั้นการให้แสงสว่างบนถนนทางหลวง หรือมาตรฐาน BS EN 13201-2 และควรมีค่าตัวบ่งชี้สมรรถนะด้านการใช้พลังงาน D_P และ D_E ไม่เกินเกณฑ์สูงสุด *(ตามที่กำหนดไว้ในภาคผนวก ข)*

4.7.2 ต้องมีรายงานรับรองผลการคำนวณสมรรถนะการให้แสงสว่างบนถนน จากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง ตามรูปแบบการติดตั้งใช้งานของโคมไฟบนพื้นที่ที่จะติดตั้ง ซึ่งต้องผ่านเกณฑ์ความส่องสว่าง หรือความสว่างที่กำหนดไว้ในระดับชั้นการให้แสงสว่างของมาตรฐานการกรมทางหลวง หรือมาตรฐาน BS EN 13201-2 สำหรับถนนระดับชั้น M ต้องแสดงผลการคำนวณทั้งค่าความส่องสว่างของพื้นผิวถนนและค่าความสว่างแนวนอนบนถนน ทั้งค่าโดยสรุปในภาพรวมและค่าแต่ละจุดคำนวณแสง (Calculation grid)

4.7.3 ในการคำนวณค่าสมรรถนะการให้แสงสว่างบนถนน ให้อ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 13201-3 หรือ CIE 140 และใช้ไฟล์ข้อมูลการกระจายความเข้มการส่องสว่างในรูปแบบ IES (IESNA) หรือ LDT (EULUMDAT) และค่าฟลักซ์การส่องสว่างรวมของโคมไฟถนนที่ได้จากการทดสอบในข้อที่ 4.6.2 ข้อ 9)

4.7.4 การคำนวณค่าแสงสว่างบนถนนกำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์และปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1) ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance factor; MF) เท่ากับ 0.75
2) การกำหนดคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนนให้ใช้ข้อมูลตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (r-table) ของผิวถนนระดับชั้น R (R-class) ตามมาตรฐาน CIE 144 ดังนี้
   - R1 สำหรับ ผิวถนนคอนกรีต (Portland cement concrete)
   - R3 สำหรับ ผิวถนนแอสฟัลต์ (Asphalt)

   กรณีที่มีการกำหนดข้อมูลตารางสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (r-table) ไว้เป็นการเฉพาะสำหรับถนนที่ออกแบบ ให้ใช้ข้อมูลที่กำหนดไว้ในการคำนวณ
3) การติดตั้งโคมไฟถนน เสาไฟ และกิ่งจับโคมไฟถนน ให้เป็นไปตามแนวทางปฏิบัติสำหรับงานออกแบบและติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง ชนิดโคมไฟแอลอีดี หรือแบบของสถานที่ติดตั้งจริง
4) การปรับแต่งในการติดตั้งจริงจากที่ออกแบบ หรือที่กำหนดไว้ในแนวทางปฏิบัติสำหรับงานออกแบบและติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง ชนิดโคมไฟแอลอีดี สามารถทำได้ เช่น มุม

เงยของโคมไฟถนนกับแนวราบ มุมระนาบแนวตั้งของโคมไฟกับแนวถนน เป็นต้น โดยรายละเอียดที่มีการเปลี่ยนแปลงต้องบันทึกไว้ในรายงานผลการคำนวณ

4.8 ข้อกำหนดในการเสนอรายละเอียดและเอกสารอ้างอิงของโคมไฟ

4.8.1 ตารางเปรียบเทียบรายละเอียดของข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของโคมไฟถนนแอลอีดีและรายละเอียดของโคมไฟที่เสนอ

4.8.2 เอกสาร ข้อมูล และสารสนเทศอื่น ๆ ที่ต้องส่งมอบ

1) แค็ตตาล็อกแสดงรายละเอียดและคุณลักษณะเฉพาะของโคมไฟถนนแอลอีดี และอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ตัวโคมไฟ มอดูลแอลอีดี เลนส์ควบคุมแสง อุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ขั้วรับอุปกรณ์ควบคุมโคมไฟ ขั้วต่อสาย และสายไฟ เป็นต้น
2) เอกสารแสดงรายละเอียดชนิดและรุ่นของชิ้นส่วนที่สำคัญจากผู้ผลิต รวมทั้งคู่มือแสดงวิธีการติดตั้ง การปรับตั้งค่า การถอดเปลี่ยนและคำแนะนำในการซ่อมบำรุงโคมไฟถนนและชิ้นส่วนที่สำคัญ
3) เอกสารรับรองและรายงานรับรองผลการทดสอบเพื่อแสดงว่าโคมไฟถนนแอลอีดีมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด
4) ไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟถนนในรูปแบบ IES (IESNA) หรือ LDT (EULUMDAT)

4.9 ข้อกำหนดของรายงานรับรองผลการทดสอบ

4.9.1 รายงานรับรองผลการทดสอบคุณลักษณะเฉพาะด้านต่าง ๆ ของโคมไฟถนนให้ดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการทดสอบภายใต้หน่วยงานของรัฐในกำกับของฝ่ายบริหาร ตามหนังสือของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (ก.พ.ร.) มีความเป็นกลางและอิสระ (Third party laboratory) และกรมทางหลวงให้การรับรอง

4.9.2 การทดสอบขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุในข้อที่ 4.5.1 และการทดสอบสมรรถนะของโคมไฟในข้อที่ 4.6.2 ข้อ 9) ต้องทดสอบและรับรองจากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลางที่ได้รับการรับรองความสามารถตามมาตรฐาน มอก. 17025 ครอบคลุมรายการทดสอบและวิธีทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด

4.9.3 รายงานรับรองผลการคำนวณสมรรถนะการให้แสงสว่างบนถนนของโคมไฟในข้อที่ 4.7.2 ต้องดำเนินการโดยห้องปฏิบัติทดสอบเดียวกันกับการทดสอบสมรรถนะของโคมไฟข้อที่ 4.6.2 ข้อ 9)

4.9.4 รายงานรับรองผลการคำนวณอายุการใช้งาน (Lifetime) ของแพ็กเกจแอลอีดีในข้อ 4.2.3 ข้อ 4) และอายุการใช้งานของอุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าในข้อ 4.2.5 10) ต้องดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการทดสอบเดียวกันกับการทดสอบวัดอุณหภูมิแพ็กเกจแอลอีดีและอุปกรณ์ขับกระแสไฟฟ้าในข้อที่ 4.6.2 ข้อ 10)

4.9.5 รายงานรับรองผลการทดสอบของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ไม่ได้กำหนดให้ทดสอบจากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลาง สามารถยื่นเอกสารรับรองผลการทดสอบจากผู้ผลิตชิ้นส่วนซึ่งดำเนินการทดสอบโดยห้องปฏิบัติการทดสอบในประเทศ หรือต่างประเทศที่ได้รับการรับรองความสามารถตามมาตรฐาน มอก. 17025 หรือ ISO/IEC 17025 ได้

4.9.6 รายงานรับรองผลการทดสอบคุณลักษณะเฉพาะด้านต่าง ๆ ของโคมไฟถนนจากห้องปฏิบัติการทดสอบของหน่วยงานกลางต้องมีวันที่รับรองไม่เกิน 3 ปี นับจากกรมทางหลวงประกาศ

ภาคผนวก ข

ข้อแนะนำในการเลือกใช้งานโคมไฟถนนแอลอีดีบนทางหลวง

ในการเลือกใช้งานโคมไฟถนนแอลอีดีบนทางหลวงให้พิจารณาจากตารางที่ ข-1, ข-2 และ ข-3 ประกอบกัน

ข-1 การเลือกกำลังไฟฟ้าที่กำหนดและฟลักซ์ส่องสว่างรวมของโคมไฟถนนแอลอีดีบนทางหลวง

กำลังไฟฟ้าที่กำหนด (วัตต์) [ไม่เกินกว่า]	ฟลักซ์ส่องสว่างรวม (ลูเมน) [ไม่น้อยกว่า]	ค่าประสิทธิศักย์ (ลูเมน/วัตต์) [ไม่น้อยกว่า]	ลำดับชั้นถนน	จำนวนช่องจราจร (เลน)	ความสูงโคมไฟ (เมตร)
80	11,200	140	Link3, Link4	2-4	9
120	16,800	140	Link1-Link4 และ Motorway	2-8	9 และ 12
150	21,000	140	Link1-Link3 และ Motorway	4-12	9 และ 12
200	28,000	140	Link1-Link3 และ Motorway	6-12	12
260	36,400	140	Link1, Link2	6	12

เพื่อควบคุมการใช้พลังงานของไฟถนน จึงกำหนดเกณฑ์สมรรถนะการใช้พลังงานจากค่าตัวบ่งชี้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (D_P) สูงสุด และตัวบ่งชี้การใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (D_E) สูงสุด สำหรับถนนทางตรงในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งแบ่งตามจำนวนช่องจราจรหรือความกว้างถนน รูปแบบการติดตั้งและความสูงของโคมไฟ ระดับชั้นการให้แสงสว่าง และพิกัดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟ โดยมีเงื่อนไขอื่น ๆ ประกอบการพิจารณา ดังนี้

- ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาเท่ากับ 0.75 สำหรับโคมไฟถนนทุกประเภท
- วัสดุผิวถนนเป็นแอสฟัลต์ และใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงระดับชั้น R3
- ความสูงในการติดตั้งโคมไฟถนน 9 เมตร และ 12 เมตร
- ระยะช่วงห่างของเสาไฟ 45 เมตร และ 48 เมตร สำหรับความสูงในการติดตั้งโคมไฟ 12 เมตร และระยะช่วงห่างของเสาไฟ 34 เมตร และ 36 เมตร สำหรับโคมไฟติดตั้งสูง 9 เมตร
- ระยะยื่นของโคมไฟถนน 0 ถึง 1.5 เมตร มุมเอียงของโคมไฟถนน 0-5 องศา
- จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปีเท่ากับ 4,380 ชั่วโมง

หมายเหตุ: กรณีที่ติดตั้งเสาไฟและโคมไฟแตกต่างจากที่กำหนด ให้กำหนดเกณฑ์ D_P และ D_E ขึ้นใหม่ตามความเหมาะสม สำหรับถนนขนาดเล็ก ทางเดินเท้า หรือทางจักรยาน อาจกำหนดให้โคมไฟมีกำลังไฟฟ้าต่ำกว่านี้ได้

ข-2 การเลือกใช้งานโคมไฟถนนแอลอีดีบนทางหลวง สำหรับถนนทางตรง กรณีงานติดตั้งใหม่

จำนวนช่องจราจร (เลน)	รูปแบบการติดตั้ง	ความสูงโคมไฟ (เมตร)	ระยะช่วงห่างเสาไฟ (เมตร)	ระดับชั้นแสงสว่าง		พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	D_P ($mW.lx^{-1}.m^{-2}$) [ไม่เกินกว่า]	D_E ($kWh.m^{-2}.yr^{-1}$) [ไม่เกินกว่า]
				M	C			
12	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	12	45	M1	C1	200	16	1.9
				M2	C2	150	16	1.4
10	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดสลับ	12	45	M1	C1	200	16	2.3
				M2	C2	150	16	1.7
8	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดสลับ	12	45	M1	C1	150	16	2.1
				M2	C2	120	16	1.7
	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	9	34	M1	C1	120	16	2.3
				M2	C2	80	16	1.5
6	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง	12	45	M1	C1	260	18	2.5
				M2	C2	200	18	1.9
				M3	C3	150	18	1.4
	กิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	12	45	M1	C1	260	17	2.5
				M2	C2	200	17	1.9
				M3	C3	120	17	1.2
	กิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	9	34	M1	C1	200	17	2.5
				M2	C2	120	17	1.5
				M3	C3	80	17	1.0
4	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง	9	34	M1	C1	150	18	2.8
				M2	C2	120	18	2.3
				M3, M4	C3, C4	80	18	1.5
	กิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	9	34	M1	C1	120	17	2.3
				M2	C2	120	17	2.3
				M3, M4	C3, C4	80	17	1.5
2	กิ่งเดี่ยว ติดด้านเดียว	9	34	M2	C2	120	20	2.3
				M3, M4	C3, C4	80	20	1.5

หมายเหตุ: ถนนระดับชั้น M ที่เป็นผิวคอนกรีต (R1) สามารถปรับลดพิกัดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟลงได้หนึ่งระดับตามที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ ข-1 เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และควบคุมให้มีระดับความส่องสว่างที่เหมาะสม

ข-3 การเลือกใช้งานโคมไฟถนนแอลอีดีบนทางหลวง สำหรับถนนทางตรง กรณีงานเปลี่ยนทดแทนโคมไฟถนน ชนิดหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)

จำนวนช่องจราจร (เลน)	รูปแบบการติดตั้ง	ความสูงโคมไฟ (เมตร)	ระยะช่วงห่างเสาไฟ (เมตร)	ระดับชั้นแสงสว่าง		พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	D_P ($mW.lx^{-1}.m^{-2}$) [ไม่เกินกว่า]	D_E ($kWh.m^{-2}.yr^{-1}$) [ไม่เกินกว่า]
				M	C			
12	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	12	48	M1	C1	200	16	1.9
				M2	C2	150	16	1.4
10	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดสลับ	12	48	M1	C1	200	16	2.3
				M2	C2	150	16	1.7
8	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดสลับ	12	48	M1	C1	150	16	2.1
				M2	C2	120	16	1.7
	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง และกิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	9	36	M1	C1	120	16	2.2
				M2	C2	80	16	1.5
6	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง	12	48	M1	C1	260	18	2.5
				M2	C2	200	18	1.9
				M3	C3	150	18	1.4
	กิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	12	48	M1	C1	260	17	2.5
				M2	C2	200	17	1.9
				M3	C3	120	17	1.2
	กิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	9	36	M1	C1	200	17	2.4
				M2	C2	120	17	1.5
				M3	C3	80	17	1.0
4	กิ่งคู่ ติดเกาะกลาง	9	36	M1	C1	150	18	2.7
				M2	C2	120	18	2.2
				M3, M4	C3, C4	80	18	1.5
	กิ่งเดี่ยว ติดตรงข้าม	9	36	M1	C1	120	17	2.2
				M2	C2	120	17	2.2
				M3, M4	C3, C4	80	17	1.5
2	กิ่งเดี่ยว ติดด้านเดียว	9	36	M2	C2	120	20	2.2
				M3, M4	C3, C4	80	20	1.5

หมายเหตุ: ถนนระดับชั้น M ที่เป็นผิวคอนกรีต (R1) สามารถปรับลดพิกัดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟลงได้หนึ่งระดับตามที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ ข-1 เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และควบคุมให้มีระดับความส่องสว่างที่เหมาะสม

ภาคผนวก ค
การแบ่งกลุ่มค่าอุณหภูมิสีทั่วไปของแอลอีดีและเกณฑ์การยอมรับ

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มค่าอุณหภูมิสีทั่วไปของแอลอีดี อ้างอิงมาตรฐาน ANSI C78.377-2024

Nominal CCT Category (K)	Target CCT and Tolerance (K)	Target D_{uv}	D_{uv} Tolerance
1800	1830 ± 102	0.0000	T_x: CCT of the source For T_x < 2870K 0.000 ± 0.0060 For $T_x \geq$ 2870K $D_{uv}(T_x)^{3)}$ ± 0.0060
2000	2034 ± 102	0.0000	
2200	2238 ± 102	0.0000	
2500	2460 ± 120	0.0000	
2700	2725 ± 145	0.0000	
3000	3045 ± 175	0.0001	
3500	3465 ± 245	0.0005	
4000	3985 ± 275	0.0010	
4500	4503 ± 243	0.0015	
5000	5029 ± 283	0.0020	
5700	5667 ± 355	0.0025	
6500	6532 ± 510	0.0031	
Flexible CCT (1900 - 6400)	$T_F^{1)} \pm \Delta T^{2)}$	$D_{uv}(T_F)^{3)}$	

1) T_F is chosen to be at 100K steps (1900, 2100, ..., 6400K), excluding the 12 nominal CCTs listed in Table 1. For ≤ 2100K, T_F = (chosen CCT value) + 30K.

2) $\Delta T = 102$ for $T_F \leq 2400K$, $\Delta T = 1.1900 \times 10^{-8} \times T_F^3 - 1.5434 \times 10^{-4} \times T_F^2 + 0.7168 \times T_F - 902.55$ for $T_F \geq 2500K$.

3) $D_{uv}(T) = 0$ for $T < 2870K$, $D_{uv}(T) = 57700 \times (1/T)^2 - 44.6 \times (1/T) + 0.00854$ for $T \geq 2870K$.

ภาคผนวก ง
เกณฑ์ระดับชั้นความเข้มการส่องสว่างสำหรับความจ้าตาแบบสูญเสียความสามารถ

ตารางที่ 1 ระดับชั้นความเข้มการส่องสว่างสำหรับความจ้าตาแบบสูญเสียความสามารถ (Disability glare)

ระดับชั้น	ค่าความเข้มการส่องสว่างสูงสุด ในหน่วย cd/klm เทียบกับฟลักซ์ส่องสว่างรวมของโคมไฟถนน			ความต้องการอื่น ๆ
	$70^\circ \le \gamma < 80^\circ$	$80^\circ \le \gamma < 90^\circ$	$\gamma \ge 90^\circ$	
G1	-	200	50	ไม่มี
G2	-	150	30	ไม่มี
G3	-	100	20	ไม่มี
G4	500	100	10	ค่าความเข้มการส่องสว่างเท่ากับ 0 ที่มุม $\gamma \ge 95^\circ$
G5	350	100	10	ค่าความเข้มการส่องสว่างเท่ากับ 0 ที่มุม $\gamma \ge 95^\circ$
G6	350	100	< 1	ค่าความเข้มการส่องสว่างเท่ากับ 0 ที่มุม $\gamma \ge 90^\circ$

หมายเหตุ:

- ต้องพิจารณาค่าความเข้มการส่องสว่างสูงสุดที่เกิดขึ้นจากมุมเอียงของโคมไฟถนนตามที่ติดตั้งจริง
- ค่าความเข้มการส่องสว่างที่ให้มาในตารางที่ 1 เป็นค่าความเข้มการส่องสว่างในทิศทางใด ๆ ที่มุมที่ระบุจากแนวดิ่งลงจากโคมไฟที่ติดตั้งใช้งาน
- สำหรับโคมไฟที่ใช้หลอดไฟที่มีค่าฟลักซ์ส่องสว่างสูงกว่า อาจจำเป็นต้องจำกัดค่าความเข้มส่องสว่างสมบูรณ์ด้วย

ข้อแนะนำ:

ระดับชั้นความเข้มการส่องสว่าง G1, G2 และ G3 เทียบเคียงได้กับระดับชั้น Semi Cut-off และ Cut-off ตามแนวคิดในการพิจารณาแบบเดิม และระดับชั้น G4, G5 และ G6 เทียบเคียงได้กับ Full Cut-off ซึ่งระดับชั้น G3, G4, G5 และ G6 เป็นระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานกับถนนโดยทั่วไป หรือเทียบได้กับระดับชั้น Cut-off และ Full Cut-off

ภาคผนวก จ

เกณฑ์ระดับชั้นของเครื่องวัดความสว่างตามมาตรฐาน DIN 5032-7

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดระดับชั้นของเครื่องวัดความสว่าง (Class limits of illuminance meters)

Characteristic	Symbol[a]	Class L	Class A	Class B	Class C
Calibration uncertainty	U_{cal}	1 %	1,5 %	3 %	5 %
$V(\lambda)$ match	f_1'	1,5 %	3 %	6 %	9 %
UV response	u	0,2 %	1 %	2 %	4 %
IR response	r	0,2 %	1 %	2 %	4 %
Cosine response	f_2	–	1,5 %	3 %	6 %
Evaluation of E_0	$f_{2,0}$	–	10 %	15 %	20 %
Evaluation of E_{z}	$f_{2,\mathrm{z}}$	–	5 %	10 %	15 %
Evaluation of E_{zh}	$f_{2,\mathrm{zh}}$	–	5 %	10 %	15 %
Evaluation of $E_{2\pi}$	$f_{2,2\pi}$	–	10 %	15 %	25 %
Linearity	f_3	0,2 %	1 %	2 %	5 %
Display unit	f_4	0,2 %	3 %	4,5 %	7,5 %
Fatigue	f_5	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Temperature dependence	f_6[b]	0,2 %	2 %	10 %	20 %
Modulated light	f_7[c]	0,1 %	0,2 %	0,5 %	1 %
	$f_7\,(f_{\mathrm{u}})$[d]	5 %	5 %	5 %	5 %
	$f_7\,(f_0)$[d]	5 %	5 %	5 %	5 %
Spatial response	f_9	15 %	20 %	30 %	40 %
Range change	f_{11}	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Total characteristic	f_{total}	3 %	5 %	10 %	20 %
Calculation of the total characteristic	$f_{\mathrm{total}} = U_{\mathrm{cal}} + f_1' + u + r + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_{11}$				

a ค่าคุณลักษณะเฉพาะรวม (Total characteristic) ของเครื่องวัดความสว่างได้มาจากการคำนวณค่าคุณลักษณะเฉพาะ (Characteristics) ในช่องตารางที่แรเงาไว้

b ให้พิจารณาในตารางที่ 2

c วัดที่ความถี่ 100 Hz

d สำหรับขีดจำกัดของความถี่ให้พิจารณาในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดของคุณลักษณะเฉพาะด้านความขึ้นกับอุณหภูมิ (Temperature dependence)

Class		**L**	**A**	**B**	**C**
Photometer for indoor applications	T	25 °C			
Photometer for outdoor applications	T	0 °C			
Temperature difference	ΔT	2 °C	10 °C		

ตารางที่ 3 ขีดจำกัดของคุณลักษณะเฉพาะด้านแสงแบบมอดูเลต (Modulated light)

Symbol	**Class L**	**Class A**	**Class B**	**Class C**
f_7 (f_u)	40 Hz			
f_7 (f_0)	10^5 Hz		10^4 Hz	10^3 Hz