สภาวิศวกร

COUNCIL OF ENGINEERS

มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ
เรื่อง แนวทางการปฏิบัติด้านประสิทธิผลทางพลังงาน ของโคมไฟถนน

(Code of Practice for Energy Efficacy of Installation Performance of Road Lighting Luminaires)

มาตรฐาน สภว xx-xx-xx-xx **พิมพ์ครั้งที่ 1**

COE STANDARD xx-xx-xx-xx **กุมภาพันธ์ 2554**

ISBN xxx-xxxx-xx-x

มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพเรื่อง
แนวทางการปฏิบัติด้านประสิทธิผลทางพลังงาน
ของโคมไฟถนน

(Code of Practice for Energy Efficacy of Installation Performance of Road Lighting Luminaires)

สงวนลิขสิทธิ์

มาตรฐาน สภว xx-xx-xx-xx

COE STANDARD xx-xx-xx-xx

ISBN xxx-xxxx-xx-x

พิมพ์ครั้งที่ 1

กุมภาพันธ์ 2554

บทนำ

สภาวิศวกรเป็นองค์กรวิชาชีพ.....

xxxx

คำนำ

มาตรฐาน.....

(นายชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)
ประธานอนุกรรมการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ

คณะทำงานประจำมาตรฐาน

1. นายอุทิศ จันทร์เจนจบ	ประธานคณะทำงาน
2. นายชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์	คณะทำงาน
3. นายสุเมธ อักษรกิตติ์	คณะทำงาน
4. นายพงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์	คณะทำงาน
5. ดร. อัจฉราวรรณ จุฑารัตน์	คณะทำงาน
6. นายจตุพงษ์ จาตุรวงศ์	คณะทำงาน
7. หัวหน้าฝ่ายพัฒนาและส่งเสริมวิชาชีพวิศวกรรม	เลขานุการ
8. เจ้าหน้าที่ฝ่ายพัฒนาและส่งเสริมวิชาชีพวิศวกรรม	ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะทำงานร่างมาตรฐาน

1. ศาสตราจารย์ ดร. ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ	ประธานคณะทำงาน
2. รศ. ไชยะ แช่มช้อย	นักวิจัย
3. ผศ. ดร. ธวัชชัย เตชัสอนันต์	นักวิจัย
4. นายยอดศักดิ์ อุณห์ไวทยะ	นักวิจัย
5. นายตรีธาร อมราลิขิต	นักวิจัย
6. นายวิทวัส งามประดิษฐ์	นักวิจัย

สารบัญ

บทที่ 1	ทั่วไป	1-1
	1.1 วัตถุประสงค์	1-1
	1.2 ขอบเขต	1-1
	1.3 นิยามศัพท์	1-2
บทที่ 2	มาตรฐานอ้างอิง	2-1
บทที่ 3	เกณฑ์การส่องสว่างถนนในการออกแบบไฟถนน	3-1
	3.1 ประเภทถนน ทางหลวง ในประเทศไทย	3-1
	3.2 มาตรฐานการส่องสว่างของระบบติดตั้งไฟถนน	3-1
	3.3 การจัดประเภทผิวถนน	3-8
บทที่ 4	การเลือกใช้หลอดไฟและโคมไฟถนน	4-1
	4.1 หลอดไฟฟ้าที่ควรเลือกใช้	4-1
	4.2 บัลลาสต์ที่ควรเลือกใช้	4-3
	4.3 โคมไฟถนนที่ควรเลือกใช้	4-4
	4.4 การจัดประเภทและสมรรถนะจำเพาะของโคมไฟถนน	4-5
บทที่ 5	การจำลองระบบติดตั้งไฟถนน การคำนวณและวิเคราะห์ ด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์	5-1
	5.1 ข้อมูลป้อนเข้าต่าง ๆ (Input data)	5-1
	5.2 ขั้นตอนการออกแบบการส่องสว่างถนน	5-4
บทที่ 6	การคำนวณและวิเคราะห์ระบบติดตั้ง	6-1
	6.1 การใช้โปรแกรมคำนวณค่าการติดตั้งที่เหมาะสมในการออกแบบไฟถนน	6-1
	6.2 การคำนวณความสว่างและความส่องสว่างของการติดตั้งโคมไฟถนนในระบบ	6-1
บทที่ 7	ประสิทธิผลทางพลังงานของการส่องสว่าง	7-1
	7.1 ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง	7-3
	7.2 สมรรถนะด้านประสิทธิผลพลังงานของโคมไฟถนน	7-3
	7.3 ทางเลือกในการปรับปรุงสมรรถนะระบบส่องสว่างถนนเพื่อเพิ่มศักยภาพในการประหยัดพลังงาน	7-5

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก: เกณฑ์การส่องสว่างไฟถนน

ภาคผนวก ข: ตัวอย่างดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างของไฟถนน

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ค: คำนิยาม : ประเภทของถนนและทางเดิน และประเภทของพื้นที่
ภาคผนวก ง: คำแนะนำเชิงอธิบายภาวะถนนเปียก
ภาคผนวก จ: ตัวอย่างการเปรียบเทียบประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนน

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 4.1 การหาค่ามุม γ_T เพื่อใช้ระบุค่า Throw 4-6

รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของ Throw (Imax) บนพื้นถนน 4-7

รูปที่ 4.3 การหาค่ามุม γ_s เพื่อใช้ระบุค่า Spread 4-8

รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของ Spread บนพื้นถนน 4-8

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างประเภทโคมไฟถนนชนิดการกระจาย (Type) III และพิกัดการกระจายปานกลาง (M) 4-11

รูปที่ 4.6 การหันโคมไฟถนนสำหรับ C, γ ในการวัดแสงด้วยโกนิโอโฟโตมิเตอร์ 4-13

รูปที่ 5.1 Flow Chart การวิเคราะห์การออกแบบไฟถนน 5-2

รูปที่ 5.2 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนถนน 5-3

รูปที่ 5.3 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 1 5-5

รูปที่ 5.4 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 2 5-5

รูปที่ 5.5 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 3 5-6

รูปที่ 5.6 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 4, 5 5-9

รูปที่ 5.7 แผนภาพหลักของการวิเคราะห์การออกแบบไฟถนนทั้ง 5 ขั้นตอน 5-10

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	เกณฑ์สมรรถนะการส่องสว่างถนนของประเทศไทย	3-5
ตารางที่ 3.2	การแบ่งประเภทของผิวถนน	3-9
ตารางที่ 4.1	การจัดประเภทโคมไฟถนนของ CIE	4-6
ตารางที่ 4.2	การจัดชนิดโคมไฟถนนของ IESNA	4-10
ตารางที่ 7.1	ขีดจำกัดของค่า LPI_1 ในการออกแบบไฟถนนของระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M	7-3

บทที่ 1
ทั่วไป

1.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของการส่องสว่างถนนเวลากลางคืน คือการช่วยให้ผู้ใช้ถนนทุกประเภท (คนขับรถ คนเดินเท้า ฯลฯ) มีความสามารถในการมองเห็นที่รวดเร็ว ถูกต้องแน่นอนและสะดวกสบาย ผู้ออกแบบต้องออกแบบให้ระบบส่องสว่างของโคมไฟถนนมีคุณภาพที่ต้องการของผู้ใช้รถใช้ถนน โดยคำนึงถึงประโยชน์ของการส่องสว่างถนนทางเศรษฐกิจและสังคมตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

- เพื่อให้คนใช้รถใช้ถนน เช่น คนขับรถยนต์ คนขี่รถจักรยานยนต์ ได้อย่างปลอดภัย
- เพื่อช่วยป้องกันและลดอาชญากรรมให้กับประชาชน และคนเดินเท้าให้เกิดความปลอดภัย
- เพื่อช่วยให้การจราจรเกิดการคล่องตัว
- เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่ปรากฏแก่ตาในเวลากลางคืนให้ดีขึ้น

ส่วนวัตถุประสงค์ของมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ ด้านประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนนนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบติดตั้งโคมไฟถนนสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย สามารถใช้รถใช้ถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน

การกำหนดค่าประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนนในมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพนี้ ได้คำนึงถึงการเลือกใช้โคมไฟถนน ที่ใช้กับหลอดและบัลลาสต์ชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ออกแบบเลือกใช้สำหรับประเภทถนนในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น พื้นที่กลางเมือง พื้นที่ในเมือง และพื้นที่ชนบท เพื่อให้มีการผลิตและใช้โคมไฟถนน ที่จำแนกประเภทตามคุณสมบัติการกระจายแสงที่เหมาะกับการใช้งาน มีประสิทธิภาพทางแสงและประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนนสูง

เพื่อใช้ค่าประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนนในมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพนี้ เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบติดตั้งโคมไฟถนนทางหลวงและทางสาธารณะอื่น ให้มีสมรรถนะทางแสงและการประหยัดพลังงานตามที่กำหนด

1.2 ขอบเขต

มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพด้านประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนนนี้ ใช้กับถนนที่มีการจราจรด้วยรถยนต์ผ่านได้ตลอดรวดเร็ว อ้างอิงการส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE 115, EN

13201, ANSI/ IESNA RP-8-00 และมาตรฐานการส่องสว่างของกรมทางหลวงแผ่นดิน (หรือที่จะกำหนดขึ้น) โคมไฟถนนที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดไอปรอทความดันสูง และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ประเภทต่าง ๆ ที่มีการกระจายแสงแยกชนิดตามมาตรฐาน CIE 34-1977 ด้วยตัวแปร 3 ตัว คือ Throw , Spread และ Control หรือการแยกแบบการกระจายแสงตามมาตรฐาน IESNA TM-15-07 และ TM-3-95

ค่าประสิทธิผลทางพลังงานของระบบไฟถนนนี้ ใช้ในการออกแบบ ตรวจสอบและเลือกโคมไฟถนนที่มีคุณภาพและคุณสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ทั้งนี้เพื่อให้ระบบส่องสว่างถนนมีคุณภาพและสมรรถนะทางแสงและทางประสิทธิผลทางพลังงานตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพนี้

1.3 นิยามศัพท์

ฟลักซ์ส่องสว่าง ϕ (Luminous flux) ปริมาณฟลักซ์แผ่รังสีที่ส่องสว่าง สำหรับการเห็นในที่สว่าง (Photopic vision) มีหน่วยเป็น lm (ลูเมน)

ความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity) $I = d\phi / d\omega$ ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างที่แผ่ไปในส่วนมูลฐาน (Element) มุมตันที่มีทิศทางที่กำหนดให้ มีหน่วยเป็น cd (แคนเดลา)

ความส่องสว่าง (Luminance) $L = d\phi(d\omega dA\cos\theta)$ ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างที่แผ่ไปในส่วนมูลฐานมุมตันที่มีทิศทางที่กำหนดให้ จากพื้นที่เล็ก ๆ ที่กำหนดให้ มีหน่วยเป็น cd/m^2 (แคนเดลาต่อตารางเมตร)

ความสว่าง (Illuminance) $E = d\phi / dA$ ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่าง ซึ่งตกกระทบบนส่วนมูลฐานของพื้นผิวรับแสงที่จุดนั้น หารด้วยพื้นที่ของส่วนมูลฐานนั้น มีหน่วยเป็น lux (ลักซ์)

การกระจายความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity distribution) การแสดงผลของค่าความเข้มส่องสว่างของต้นกำเนิดแสงในทิศทางต่าง ๆ

ความผิดแผก (Contrast) ความแตกต่างของความส่องสว่างในการแลเห็นของส่วนตั้งแต่ 2 ส่วนขึ้นไปของวัตถุที่มองและบริเวณแวดล้อมอย่างพร้อมกัน

ความจ้าตา (Glare) ภาวะการเห็นที่มีความไม่สบายตา (Discomfort) หรือมีความสามารถในการเห็นรายละเอียดหรือวัตถุที่ต้องเห็นลดลง เนื่องจากการกระจายหรือพิสัยของความส่องสว่างไม่เหมาะสม หรือผิดธรรมดาอย่างสุด ๆ

ความจ้าตาแบบไม่สบาย (Discomfort glare) ความจ้าตาที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา โดยไม่จำเป็นต้องทำให้การเห็นวัตถุที่ต้องเห็นเสียไป

ความจ้าตาแบบเสียความสามารถ (Disability glare) ความจ้าตาที่ทำให้การเห็นวัตถุที่ต้องเห็นเสียไป โดยไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดความไม่สบายตา

หลอดไฟฟ้า (Lamp) ต้นกำเนิดการแผ่รังสี โดยปกติประกอบด้วยรังสีทั้งชนิดที่ทำให้มองเห็นได้และมองเห็นไม่ได้

บัลลาสต์ (Ballast) อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างซึ่งทำหน้าที่ควบคุม หลอดไฟฟ้าชนิดถ่ายประจุให้ทำงานเสถียร บัลลาสต์อาจเป็นชนิดความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ ความจุ หรือการรวมชนิดเหล่านี้ บัลลาสต์อาจทำงานควบคุมหลอดไฟฟ้าโดยบัลลาสต์อย่างเดียว หรือทำงานคู่กับอุปกรณ์จุดหลอด (Ignitor) ด้วยก็ได้

โคมไฟฟ้า (Luminaire) อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างซึ่งทำหน้าที่กระจาย กรอง หรือควบคุมแสงสว่างที่ส่งผ่านจากหลอดไฟฟ้า และรวมถึงส่วนต่าง ๆ ทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการยึดติดหรือการป้องกันหลอดไฟฟ้า (แต่ไม่รวมหลอดไฟฟ้า) และ อุปกรณ์ควบคุมหลอดไฟฟ้าในวงจร พร้อมกับขั้วต่อสายของวงจรหลอดไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วย

แฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง (Utilization factor; UF) ของโคมไฟถนน คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกลงบนพื้นถนนต่อฟลักซ์ส่องสว่างจากหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งในโคมไฟถนน

ประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า (Lamp luminous efficacy) η คือ อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า มีหน่วยเป็น 1m/W (ลูเมนต่อวัตต์)

ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) คือ ดัชนีที่ใช้บ่งบอกถึงสมรรถนะการส่องสว่างของระบบการให้แสงสว่างถนน ซึ่งแสดงได้ 5 แบบ ประกอบด้วย

LPI_1 คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างถนนตามมาตรฐานการส่องสว่างต่อความยาวถนน มีหน่วยวัดเป็น W/m (วัตต์ต่อเมตร)

LPI_2 คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างถนนตามมาตรฐานการส่องสว่างต่อพื้นที่ของถนน (หรืออาจเรียกว่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในการส่องสว่างถนน) มีหน่วยวัดเป็น W/m^2 (วัตต์ต่อตารางเมตร)

LPI_3 คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในการส่องสว่างถนน ต่อความส่องสว่าง มีหน่วยวัดเป็น $(W/m^2)/(cd/m^2)$ (วัตต์ต่อตารางเมตรต่อแคนเดลาต่อตารางเมตร)

LPI_4 คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในการส่องสว่างถนนต่อความสว่าง มีหน่วยวัดเป็น $(W/m^2)/lux$ (วัตต์ต่อตารางเมตรต่อลักซ์)

LPI_5 คือ ประสิทธิผลการส่องสว่างของระบบไฟถนน เป็นอัตราส่วนของความสว่างต่อความ หนาแน่นกำลังไฟฟ้าในการส่องสว่างถนน มีหน่วยวัดเป็น $lux/(W/m^2)$ (ลักซ์ต่อวัตต์ต่อตารางเมตร) หรือ lm/W ในที่นี้ LPI_5 คือส่วนกลับของ LPI_4

บทที่ 2

มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานการส่องสว่างของโคมไฟถนนที่นิยมใช้อ้างอิง ได้แก่ มาตรฐาน CIE; EN; IESNA และ BS ตัวอย่าง เช่น

2.1 CIE-Recommendations:

2.1.1 Publ. 23.1-1996 Rev. 1 Recommendations for Motorway Lighting

2.1.2 Publ. 34-1977 Road Lighting Lanterns and Installation Data

2.1.3 Publ. 47-1979 Road Lighting for Wet Condition

2.1.4 Publ. 115-2007 Recommendations for the Lighting of Motorized Traffic

2.1.5 Publ. 132-1999 Design Methods for Lighting of Roads

2.1.6 Publ. 136-2000 Guide to the Lighting of Urban Areas

2.1.7 Publ. 140-2000 Road Lighting Calculations

2.1.8 Publ. 144-2001 Road Surface and Road Marking Reflection Characteristics

2.2 EN – Standards:

2.2.1 CEN/TR 13201-1 Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes

2.2.2 EN 13201-2 Road lighting - Part 2: Performance requirements

2.2.3 EN 13201-3 Road lighting - Part 3: Calculation of performance

2.2.4 EN 13201-4 Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance

2.3 BS 5489: 2003: Part 1 Code of Practice for the Design of Road Lighting

2.4 AS/NZS 1158-2007: Lighting for Road and Public Spaces

2.5 ANSI / IESNA:

2.5.1 ANSI / IESNA RP-8-00 American National Standard Practice for Roadway Lighting, 2000 (Reaffirmed 2005)

2.5.2 IESNA TM-15-07 Luminaire Classification System for Outdoor Luminaires

2.5.3 IESNA TM-3-95 A Discussion of ANSI-IESNA RP-8-83 Roadway Lighting – Appendix E: Classification of Luminaire Light Distribution

2.6 Minimum Energy Performance Standards: Design Energy Limits for Main Road Lighting, Report No. 2005/18

2.7 มาตรฐานการบริหาร/การบริการสาธารณะ ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
มาตรฐานไฟฟ้าสาธารณะ (PUBLIC LIGHTING STANDARD) พ.ศ. 2548

2.8 เกณฑ์การส่องสว่างไฟถนนของกรมทางหลวง

บทที่ 3
เกณฑ์การส่องสว่างถนนในการออกแบบไฟถนน

3.1 ประเภทถนน ทางหลวง ในประเทศไทย

ถนน ทางหลวงในประเทศไทยมีหลาย ประเภท ได้แก่ ทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดิน ทางหลวงชนบท ทางหลวงท้องถิ่น และทางหลวงสัมปทาน

3.1.1 ทางหลวงพิเศษ คือ ทางหลวงที่ได้ออกแบบเพื่อให้การจราจรผ่านได้ตลอดรวดเร็วเป็นพิเศษ เช่น มอเตอร์เวย์ และทางด่วน มีโครงสร้างตามเส้นทางต่างกัน ทางแยกต่างระดับ (Intersection) ที่มีความซับซ้อนของทางแยก ทางเข้าและทางออกเป็นบริเวณขนาดใหญ่ ทางตรงที่รถยนต์สามารถใช้ความเร็วได้สูง และส่วนที่รถยนต์ต้องลดความเร็วและหยุด

3.1.2 ทางหลวงแผ่นดิน คือ โครงข่ายเชื่อมต่อระหว่างภาค จังหวัดและอำเภอ ได้ออกแบบให้การจราจรผ่านได้ด้วยความเร็วจำกัด ตามเส้นทางมีช่วงทางตรงและทางแยก

3.1.3 ทางหลวงชนบท คือทางหลวงนอกเขตเทศบาล ที่กรมทางหลวงชนบท เป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ขยาย บูรณะและบำรุงรักษา

3.1.4 ทางหลวงท้องถิ่น คือ ทางหลวงที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ขยาย และบำรุงรักษา ติดไฟถนนทั้งในช่วงทางตรง ทางแยกเข้าและออกจากเมือง

3.1.5 ทางหลวงสัมปทาน คือ ทางหลวงที่รัฐบาลได้ให้สัมปทานแก่ หน่วยงานและเอกชน เป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ขยาย บูรณะและบำรุงรักษา

3.2 มาตรฐานการส่องสว่างของระบบติดตั้งไฟถนน

มาตรฐานการส่องสว่างถนน ยังไม่มีการกำหนดของประเทศ มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบและติดตั้งงานไฟฟ้าแสงสว่างบนถนน ของหลายหน่วยงาน มีรายละเอียดแสดงใน ภาคผนวก ก เช่น ข้อกำหนดการส่องสว่างไฟถนนของกรมทางหลวงและ กรมทางหลวงชนบท ตารางที่ ก. 1 ข้อกำหนดการบริหาร/การบริการสาธารณะ ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ตารางที่ ก. 2

มาตรฐานการส่องสว่างของไฟถนน ที่นิยมใช้อ้างอิงของนานาชาติ ได้แก่

1) มาตรฐาน CIE ตารางที่ ก. 3 – ก.5
2) มาตรฐาน EN ตารางที่ ก. 6 – ก. 7
3) มาตรฐาน IESNA ตารางที่ ก.8
4) มาตรฐานAS/NZS ตารางที่ ก. 9

มาตรฐานและมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพอ้างอิงในข้อ 2. เกี่ยวข้องกับสมรรถนะทางแสงโดยตรงในการพิจารณากำหนด ระดับชั้นการส่องสว่างของถนน (Lighting classes) การจำแนกโคมไฟถนนตามสมรรถนะทางแสง และวิธีการคำนวณค่าสมรรถนะด้านความสว่าง ค่าความส่องสว่างและค่าที่เกี่ยวข้อง

เกณฑ์สมรรถนะการส่องสว่างไฟถนน เป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงาน ในการออกแบบไฟถนน ผู้ออกแบบได้คำนึงถึงสมรรถนะด้านความสว่าง ใช้ค่าความสว่าง (Illuminance) และความสม่ำเสมอของความสว่างเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ต่อมาได้ปรับเปลี่ยนไปใช้ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่าง และความสม่ำเสมอในแต่ละช่องทางวิ่งของความส่องสว่าง ตลอดจนปัจจัยที่ก่อให้เกิดความจ้าตา (Glare) เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ การใช้ค่าความส่องสว่างนี้ได้รวมปัจจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนนชนิดต่าง ๆ เข้าไปด้วย

การออกแบบไฟถนนในยุคปัจจุบัน นอกจากจะต้องคำนึงถึงสมรรถนะด้านความส่องสว่างแล้ว ยังต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงาน (Energy efficiency) ของระบบด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพด้านประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนนนี้ ใช้มาตรฐานอ้างอิง CIE Publ. 115 ซึ่งเป็นมาตรฐานนานาชาติที่มีข้อแนะนำให้ใช้ ไม่เป็นข้อบังคับ มาตรฐาน EN – 13201 ของยุโรป เป็นมาตรฐานที่มีข้อบังคับให้ใช้กับการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบการส่องสว่างของโคมไฟถนนที่ใหม่กว่า และ ANSI / IESNA RP-8-00 ในการออกแบบและติดตั้งต้องจำแนกประเภทของพื้นที่ถนน ดูภาคผนวก ค เพื่อกำหนดระดับชั้นของการส่องสว่างก่อน และ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 การกำหนด ระดับชั้นการส่องสว่างของถนนแต่ละประเภท

ในการออกแบบการส่องสว่างของโคมไฟถนน ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญทั้งในด้านสมรรถนะการส่องสว่าง และประสิทธิภาพพลังงานของระบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งระบบที่เหมาะสมกับสภาพของถนนและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น

- ปัจจัยทางด้านกายภาพของถนน และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ
- ปัจจัยทางด้านกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นบนท้องถนน เช่น ปริมาณการจราจร ความเร็วของยานพาหนะ
- การใช้งานร่วมกันของผู้ใช้ถนนประเภทต่าง ๆ

- ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ

มาตรฐานดังกล่าวประกอบด้วย มาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องหลายฉบับ ที่ใช้งานในการออกแบบไฟแสงสว่างถนน เช่น

1. CIE Publ. 115-2007 Recommendations for the Lighting of Motorized Traffic
2. CIE Publ. 132-1999 Design Methods for Lighting of Roads
3. CEN/TR 13201-1 Road Lighting-Part 1: Selection of lighting classes
4. EN 13201-2 Road Lighting – Part 2: Performance requirements
5. ANSI / IESNA RP-8-00 American National Standard Practice for Roadway Lighting, 2000 (Reaffirmed 2005)

มาตรฐานเหล่านี้ มีการแบ่งพื้นที่ของถนนออกไปตามกิจกรรมหลัก เช่น เพื่อยานพาหนะความเร็วสูงเป็นหลัก (Motorized traffic) พื้นที่ที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ขัดแย้งกัน (Conflict area) เช่น ทางแยก วงเวียน ทางแยกออกจากถนนหลัก เป็นถนนและพื้นที่สำหรับคนเดินเท้า และยานพาหนะความเร็วต่ำ เช่น รถจักรยาน เป็นต้น เมื่อได้กำหนดเป็นพื้นที่ประเภทต่าง ๆ แล้ว ลำดับถัดไปก็จะกำหนด ระดับชั้นการส่องสว่างตามปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดย ระดับชั้นการส่องสว่างแต่ละระดับชั้นจะมีเกณฑ์กำหนดด้านการส่องสว่างที่แตกต่างกันไป เช่น ระดับความสว่างหรือความส่องสว่าง ความสม่ำเสมอของการให้ความสว่าง เป็นต้น

3.2.2 การกำหนดระดับชั้นการส่องสว่างของ CIE

ก) CIE ได้ระบุประเภทของพื้นที่ออกเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย
   - ประเภท M: การจราจรด้วยรถยนต์ (Motorized traffic)
   - ประเภท C: พื้นที่ขัดแย้งกัน (Conflict areas)
   - ประเภท P: การจราจรของคนเดินเท้า (Pedestrian traffic)

ข) พื้นที่ประเภท M แบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ

   M1, M2, M3, M4 และ M5 โดยเรียกว่า ระดับชั้นการส่องสว่าง M ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์ (Motor traffic) ดังต่อไปนี้
   - ความเร็ว (Speed) ของรถยนต์ในพื้นที่ : สูง หรือ ปานกลาง
   - ปริมาณจราจร: สูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ หรือ ต่ำมาก
   - สัดส่วนจราจร: ผสม (ยานยนต์มีเปอร์เซนต์ต่ำ) ผสม หรือ มีแต่ยานยนต์อย่างเดียว
   - การแยกส่วนช่องทางเดินรถ : ไม่มี หรือ มี

- ความหนาแน่นของทางแยก : สูง หรือ ปานกลาง
- รถจอดริมถนน : มี หรือ ไม่มี
- ความส่องสว่างโดยรอบ : สูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ หรือ ต่ำมาก
- การนำทางการมองเห็น, การควบคุมจราจร : เลว ดี หรือ ดีมาก

โดยมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก. 3 สำหรับตัวอย่างวิธีเลือกระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M แสดงในตารางที่ ก. 5

ค) เมื่อกำหนด ระดับชั้นการส่องสว่างประเภท M แล้ว ใช้เกณฑ์ที่เกี่ยวข้องตามที่ระบุในตารางที่ ก. 4 โดยมีเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับ
   - ระดับและความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของถนน (Luminance , luminance uniformity of road)
   - การส่องสว่างของพื้นที่โดยรอบ (Lighting of the surrounds of the road)
   - การจำกัดของความจ้าตา (Limitation of glare)
   - การนำทางการมองเห็น (Direct visual guidance)

ง) พื้นที่ประเภท C และ P ไม่รวมในประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพนี้

3.2.3 การกำหนด ระดับชั้นการส่องสว่าง ของ EN

ก) มาตรฐานของยุโรป (European Norm: EN) ได้ระบุประเภทของพื้นที่ถนนในลักษณะเดียวกับ CIE กล่าวคือ แบ่งออกเป็น
   - ประเภท ME: มอเตอร์เวย์และเส้นทางการจราจร (Motorways and traffic routes)
   - ประเภท CE: พื้นที่ขัดแย้งกัน (Conflict areas)
   - ประเภท S: ถนนสาขา (Subsidiary roads)

ข) การระบุ ระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท ME ดูรายละเอียดในตารางที่ ก.6

ค) เกณฑ์ด้านการส่องสว่างของระดับชั้นการส่องสว่าง ME มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ ก.7

ง) พื้นที่ประเภท CE และ S ไม่รวมในประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพนี้

3.2.4 การเลือกระดับชั้นการส่องสว่าง สำหรับถนนในประเทศไทย

เนื่องจากมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพนี้จะมุ่งเน้นในส่วนของพื้นที่ประเภท M หรือ ME จากการเปรียบเทียบเกณฑ์ของ CIE และ EN พบว่ามีลักษณะเหมือนกัน ต่างกันที่ค่าตัวเลขของเกณฑ์เพียงบางตัวเท่านั้น

ประเภท M1 เหมือนกับ ประเภท ME1

ประเภท M2 เหมือนกับ ประเภท ME2

ประเภท M3 มีค่า TI ต่ำกว่า ประเภท ME3c

ประเภท M4 ไม่ต้องการค่า UI และ SR เมื่อเทียบกับ ประเภท ME4

ประเภท M5 มีค่า U_O สูงกว่า และไม่ต้องการค่า UI และ SR เมื่อเทียบกับ ประเภท ME5

การใช้เกณฑ์การส่องสว่าง จึงสามารถใช้ได้ทั้งเกณฑ์ของ CIE และ EN ทั้งนี้ในการวิเคราะห์การออกแบบ สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งมีความสามารถในการตรวจสอบกับเกณฑ์ที่กำหนดดังกล่าวได้

การส่องสว่างถนนของประเทศไทย ต้องมีสมรรถนะด้านการส่องสว่างตามเกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์สมรรถนะ การส่องสว่างถนนของประเทศไทย

ชนิดของถนน	***ระดับชั้นการส่องสว่าง***	ความส่องสว่าง (ข้อกำหนด)					ความสว่าง (ข้อแนะนำ)			ชนิดของโคมไฟถนน (ข้อแนะนำ)
		Lav cd/m^2	U_O	U_I	TI (%)	SR	แบบ R	Eav lx	U1	
ทางด่วน มอเตอร์เวย์ ถนนที่มีการสัญจรความเร็วสูง	M1	2	0.4	0.7	10	0.5	R1 R2 R3	20 28 28	0.4 0.4 0.4	Intermediate, Narrow, Limited; Type II, Cut – off

ชนิดของถนน	ระดับชั้นการส่องสว่าง	ความส่องสว่าง (ข้อกำหนด)					ความสว่าง (ข้อแนะนำ)			ชนิดของโคมไฟถนน (ข้อแนะนำ)
		Lav cd/m^2	U_O	U_l	TI (%)	SR	แบบ R	Eav lx	U_1	
ถนนสายประ-ธาน/ถนนสายหลัก มีรถมาก	M1	2	0.4	0.7	10	0.5	R1 R2 R3	20 28 28	0.4 0.4 0.4	Intermediate, Narrow, Limited; Type II, Cut – off
ถนนสายหลักมีรถปานกลาง	M2	1.5	0.4	0.7	10	0.5	R1 R2 R3	15 21 21	0.4 0.4 0.4	
ถนนสายรอง/ทางสายรอง	M3	1	0.4	0.5	15	0.5	R1 R2 R3	10 14 14	0.4 0.4 0.4	Intermediate, Narrow, Limited; Type II, Cut – off
ถนนเชื่อมกับถนนใหญ่	M4	0.75	0.4	0.5	15	0.5	R1 R2 R3	8 11 11	0.4 0.4 0.4	Intermediate, Narrow, Limited; Type II, Cut – off
ถนนตามที่อยู่อาศัย	M5	0.5	0.4	0.5	15	0.5	R1 R2 R3	5 7 7	0.4 0.4 0.4	Intermediate, Narrow, Limited; Type II,Semi-cut-off

1) ความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน (Average luminance of road surface, Lav)

- ความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน (Lav) หมายถึง ค่าต่ำสุดที่มีความสูญเสีย (ต้องบำรุงรักษา ตลอดอายุการติดตั้งใช้งาน) ซึ่งขึ้นอยู่กับการกระจายแสงของโคมไฟฟ้า ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า ค่าทางเรขาคณิตของตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟถนน และคุณสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวถนน โดยระดับค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าก็สามารถยอมรับได้ถ้าพิสูจน์ได้ว่าคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

- การคำนวณและการวัดค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของพื้นผิวถนนให้เป็นไปตาม CIE Publ. 140

2) ค่าความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน (Overall uniformity of road luminance, Uo)

ค่าความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน (U_O) หมายถึง อัตราส่วนของค่าความส่องสว่างต่ำสุด ณ จุดหนึ่ง เทียบกับ ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน ค่าความสม่ำเสมอรวมของความส่อง สว่างถนนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเดียวกันกับองค์ประกอบของค่า Lav

3) ค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน (Longitudinal uniformity of road surface luminance, Ul)

- ค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน (Ul) หมายถึง อัตราส่วนของความส่องสว่างต่ำสุด เทียบกับ ความส่องสว่างสูงสุดตามแนวเส้นขนานหนึ่งหรือหลายเส้นที่ขนานกับทางวิ่งของถนน ให้คำนวณและวัดตาม CIE Publ. 140 และค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเดียวกันกับองค์ประกอบของค่า Lav

4) ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold increment, TI)

- ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (TI) หมายถึง ขนาดของความสูญเสียทัศนวิสัยเนื่องจากความจ้าตาแบบเสียความสามารถจากโคมไฟถนน คำนวณได้จากสมการ ซึ่งคิดเป็นร้อยละจากค่าที่เพิ่มขึ้นของความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างที่จำเป็นสำหรับทำให้เห็นวัตถุที่ต้องเห็นในขณะที่มีความจ้าตา กับ เมื่อเพิ่งเห็นวัตถุนั้นในขณะที่ไม่มีความจ้าตา (นั่นคือ เมื่อบัง (Screen) ไม่ให้ผู้สังเกตมองเห็นโคมไฟถนน) วิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์มีแสดงใน CIE 31-1976 : Glare and Uniformity in Road Lighting Installations และเป็นการคำนวณสำหรับโคมไฟถนนสะอาดที่ใส่หลอดไฟฟ้าเปล่งฟลักซ์ส่องสว่างเริ่มต้น
- ให้คำนวณ TI ในภาวะเลวที่สุด กล่าวคือ ด้วยโคมไฟฟ้าสะอาดและฟลักซ์ส่องสว่างเริ่มต้นของหลอดไฟฟ้า

5) อัตราส่วนบริเวณแวดล้อม (Surround ratio, SR)

- อัตราส่วนบริเวณแวดล้อม (SR) หมายถึง ความสว่างเฉลี่ยบนทางยาว (Strips) กว้าง 5 เมตร หรือแคบกว่าถ้าที่ว่างไม่อำนวย ซึ่งอยู่ชิดขอบทั้งสองของช่องทางเดินรถ เทียบกับ ความสว่างเฉลี่ยบนทางยาวประชิด (Adjacent strips) กว้าง 5 เมตร หรือครึ่งหนึ่งของความกว้างช่อง

ทางเดินรถ แล้วแต่ความกว้างใดแคบกว่าในช่องทางเดินรถนั้น ส่วนช่องทางเดินรถคู่ ให้ถือเสมือนว่า ช่องทางเดินรถทั้งสองเป็นช่องทางเดินรถเดี่ยว ยกเว้นช่องทางเดินรถทั้งสองนั้นอยู่ห่างกันเกิน 10 เมตร

- ประโยชน์ของอัตราส่วนบริเวณแวดล้อม คือ เพื่อทำให้แน่ใจว่าแสงที่ส่องโดยตรงให้แก่บริเวณ แวดล้อมมีเพียงพอที่ทำให้เห็นวัตถุที่ต้องเห็น แสงนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อคนเดินเท้าในพื้นที่ที่มีทางเท้าด้วย

- ในสถานการณ์ที่มีการส่องสว่างบริเวณแวดล้อมแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้อัตราส่วนบริเวณแวดล้อม

6) ค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนน (Average illuminance on road surface, Eav)
หมายถึง ค่าต่ำสุดที่มี

- ความสูญเสีย (ต้องบำรุงรักษา) ตลอดอายุการติดตั้งใช้งานของความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนน ซึ่งขึ้นอยู่กับการกระจายแสงของโคมไฟฟ้า ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า ค่าเรขาคณิตของตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟถนน
- การคำนวณและการวัดค่าความสว่างโดยเฉลี่ยบนพื้นผิวถนนให้เป็นไปตาม CIE Publ. 140

7) ความสม่ำเสมอของความสว่างบนพื้นผิวถนน (Illuminance uniformity on road surface, U1)
หมายถึง อัตราส่วนของความสว่างตามแนวราบ ต่ำสุด เทียบกับ ความสว่างเฉลี่ยตามแนวราบ

- เพื่อให้แน่ใจว่ามีการใช้รถใช้ถนนเป็นไปอย่างปลอดภัย ความสว่างเฉลี่ยตามแนวราบ (Eav) และความสม่ำเสมอของความสว่างบนพื้นผิวถนน ต้องเพียงพอ

3.3 การจัดประเภทผิวถนน

การคำนวนค่าความส่องสว่าง บนผิวถนนต้องใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงในทิศทางต่าง ๆ ของผิวถนน ตามมาตรฐานก่อสร้างทาง พ.ศ. 2537 ของกรมทางหลวง ผิวถนนที่ก่อสร้างทั่วไป คือ ผิวคอนกรีตและ แอสฟัลส์ สมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนนทั้งสองนี้ CIE แบ่งเป็น 4 แบบ โดยปริมาณของค่า Q_o เป็นตัวบอกประเภทของผิวถนนอย่างหยาบ ๆ ผลการจัดประเภทของผิวถนนตามลักษณะของ Q_o มีดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การแบ่งประเภทของผิวถนน

ประเภท	ค่า Q_O	แบบการสะท้อนแสง
R1	0.1	ด้านมาก
R2	0.07	ด้านและเงาผสมกัน
R3	0.07	เงาน้อย
R4	0.08	เงามาก

R1 แทน ผิวถนนคอนกรีต (Portland cement concrete) หรือ ผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดและมีหินบดสีขาวสะท้อนแสงได้ดีไม่น้อยกว่า 12 % ของจำนวนหินบด

R2 แทน ผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดที่สะท้อนแสงไม่ดีไม่น้อยกว่า 60 % ของจำนวนหินบด

R3 แทน ผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดสีทึบแสง

R4 แทน ผิวถนนดาดด้วยแอสฟัลท์ที่มีผิวเรียบมาก

สมบัติของผิวถนนซึ่งแทนด้วย R1, R2, R3 และ R4 มีการกำหนดค่าในรูปของ r -Table โดย CIE ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย Q_o เป็นตัวบอกถึงระดับความสามารถในการสะท้อนแสงทั้งหมดของผิวถนน

บทที่ 4
การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าและโคมไฟถนน

4.1 หลอดไฟฟ้าที่ควรเลือกใช้

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

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

4.1.1 หลอดเอชไอดี (HID)

1) หลอดไอปรอทความดันสูง

หลอดไอปรอทความดันสูง หรือหลอดแสงจันทร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เก่าแก่ และใช้กันมากในไฟถนน ทำงานด้วยไอปรอทที่ความดันสูง มีให้เลือกใช้หลายขนาด

จุดเด่น คือ อายุใช้งานยาว ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากใช้บัลลาสต์แต่เพียงอย่างเดียว

จุดด้อย คือ ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำ ฟลักซ์ส่องสว่างจะลดลงค่อนข้างเร็วตามอายุใช้งานเมื่อเทียบกับหลอดโซเดียมความดันไอสูง และเมื่อไฟฟ้าดับช่วงสั้น ๆ หลอดจุดติดใหม่จะใช้เวลานาน

รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูงดู มอก 673 เล่ม 2-255X, มาตรฐาน IEC 60188 (2001-05)

2) หลอดเมทัลฮาไลด์

หลอดเมทัลฮาไลด์ มีให้เลือกใช้หลายขนาด ทำงานด้วยไอปรอทที่ความดันสูง ภายในหลอดถ่ายประจุมีการเติมสารประกอบจำพวกฮาไลด์ เพื่อทำให้สีของแสงดีขึ้น มีอุณหภูมิสีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสารประกอบฮาไลด์ที่เติมเข้าไป

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

จุดด้อย คือ อายุใช้งานสั้นกว่าหลอดถ่ายประจุชนิดอื่น (8,000 ชั่วโมง)

ในการทำงานของหลอดต้องใช้บัลลาสต์และอิกนิเตอร์ แรงดันจุดหลอด ประมาณ 2.8 – 5 kV รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดเมทัลฮาไลด์ ดูมาตรฐาน IEC 61167 (1992-09)

3) หลอดโซเดียมความดันไอสูง

หลอดโซเดียมความดันไอสูงใช้กันมากในไฟถนน มีให้เลือกใช้หลายขนาด ทำงานด้วยไอโซเดียมความดันสูง

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

จุดด้อย คือ มีอุณหภูมิสีต่ำประมาณ 2000 K สีของแสงเป็นสีเหลืองทอง ซึ่งมีดัชนีการให้สีค่อนข้างต่ำ (Ra = 25) มีหลอดโซเดียมซึ่งให้แสงสีขาวเหลือง มีอุณหภูมิสี 2500 K ดัชนีการให้สีดีขึ้น Ra = 85 แต่ประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำกว่าแบบธรรมดา

ในการทำงานของหลอด ต้องใช้บัลลาสต์และอิกนิเตอร์ แรงดันจุดหลอด ประมาณ 2.8 – 5 kV รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดโซเดียมความดันไอสูง ดูมาตรฐาน IEC 60662

4) หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ มีให้เลือกใช้หลายขนาด ทำงานด้วยไอโซเดียมความดันต่ำ ใช้ก๊าซนีออนและอาร์กอน เพื่อทำหน้าที่ช่วยเมื่อเริ่มจุดหลอด หลอดใช้เวลาตั้งแต่เริ่มจุดจนให้แสงเต็มที่ประมาณ 12 – 15 นาที

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

จุดด้อย คือ ให้แสงคลื่นความถี่เดียว สีเหลือง อุณหภูมิสี 1700 K มีค่าดัชนีให้สีแสงต่ำ หลอดมีอายุใช้งานสั้นกว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูง ตัวหลอดที่ส่องสว่างมีขนาดยาว ทำให้การควบคุมการกระจายแสงทำได้ยากและตัวโคมไฟมีขนาดใหญ่

รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ ดูมาตรฐาน IEC 60192

4.1.2 หลอดไฟฟ้าชนิดอื่น

หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกระทัดรัด และหลอดแอลอีดี (LED) เป็นหลอดไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ มีให้เลือกใช้หลายขนาด สามารถใช้พัฒนาโคมไฟถนนได้

1) หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกระทัดรัด มีขนาดกระทัดรัด มีให้เลือกใช้หลายขนาด มีกำลังไฟฟ้าและฟลักซ์ส่องสว่างไม่สูง แต่มีประสิทธิผลการส่องสว่างค่อนข้างสูง จึงเหมาะกับการใช้งานบนถนนที่ไม่ต้องการความส่องสว่างสูง โคมไฟที่ใช้หลอดชนิดนี้จะมีขนาดเล็กและราคาย่อมเยา

   รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกระทัดรัด ดูมาตรฐาน มอก 1713- 2548 และ IEC 60901

2) หลอดแอลอีดี เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ มีขนาดเล็ก มีกำลังไฟฟ้าและฟลักซ์ส่องสว่างไม่สูง ประสิทธิผลการส่องสว่างมีค่าสูงกว่าหลอดไอปรอทความดันสูงและมีแนวโน้มที่จะพัฒนาได้สูงขึ้นอีก หลอดแอลอีดีมีการกระจายความเข้มส่องสว่างในทิศทางด้านหน้า จึงเหมาะที่จะพัฒนาใช้กับโคมไฟถนนต่อไป เพราะให้ประสิทธิผลการส่องสว่างของโคมไฟถนนสูงกว่าโคมไฟถนนที่ใช้หลอดชนิดอื่น ๆ

   รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของหลอดแอลอีดี ดูมาตรฐาน IEC 62031 และ IEC/PAS 62612

4.2 บัลลาสต์ที่ควรเลือกใช้

มีการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นในอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งจ่ายกำลังงานให้หลอดไฟฟ้า บัลลาสต์ทำหน้าที่หลักในการควบคุมกระแส แรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าให้ถูกต้อง บัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดเอชไอดีจะใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนหนึ่งซึ่งเป็นการสูญเสียและปล่อยออกเป็นความร้อน

ประสิทธิภาพของบัลลาสต์มีค่าที่แตกต่างกัน และมีผลมากต่อประสิทธิผลทั้งหมดของระบบ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดเอชไอดีที่ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดเอชไอดี ที่ใช้กับบัลลาสต์แกนเหล็ก

4.2.1 บัลลาสต์แกนเหล็ก

บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไปมีลักษณะเป็นโชค (Choke) มีค่าความเหนี่ยวนำตามที่กำหนดตามมาตรฐานของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดในการทำงานของหลอด มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในตัวบัลลาสต์ ซึ่งทำให้ประสิทธิผลของระบบ (หลอดไฟฟ้ารวมบัลลาสต์) ต่ำกว่าประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้า สำหรับหลอดไฟฟ้าที่มีขนาดวัตต์ต่ำ ๆ สามารถเพิ่มประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้ารวมบัลลาสต์ของโคมไฟถนน ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้เกือบ 10 % โดยการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กประหยัดพลังงาน (Low loss) รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของบัลลาสต์แกนเหล็ก ดู IEC 60922 และ IEC 60923

4.2.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า มีแบบที่ใช้หรี่ไฟเพื่อประหยัดพลังงาน และแบบที่ใช้กับระบบอัจฉริยะในการทำงาน เช่น การควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าและการแสดงผลสภาพการทำงานของหลอดไฟฟ้า เป็นต้น

ปัจจุบัน มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดเอชไอดีอยู่บ้าง แต่ยังมีราคาแพง และผู้ใช้ยังกังวลเรื่องอายุใช้งานและคุณภาพที่กำหนดตามมาตรฐานข้อบังคับ

รายละเอียดและสมรรถนะในการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ดู มอก 673, IEC 61347-2-9 และ IEC 62384

4.3 โคมไฟถนนที่ควรเลือกใช้

หลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์ประหยัดพลังงาน เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง แต่แสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าที่กระจายไปในทิศทางต่าง ๆ จะต้องถูกควบคุมให้กระจายไปในทิศทางที่ต้องการส่องสว่าง เพื่อทำให้ทั้งระบบมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงขึ้น
ระบบออปติกส์ควบคุมแสงของโคมไฟถนน ประกอบด้วยชิ้นส่วน

1) แผ่นสะท้อนแสง (Reflectors) ทำด้วยแผ่นอะลูมิเนียมที่มีสัมประสิทธิการสะท้อนแสงสูง ถึง 85 %
2) ฝาครอบที่หักเหแสงหรือกระจายแสง (Refractors)

สมบัติการกระจายแสงของแต่ละระบบออปติกส์สามารถปรับเปลี่ยนได้อีกโดยการปรับตำแหน่งของขั้วหลอดในระบบออปติกส์

การควบคุมให้แสงกระจายไปในทิศทางที่ต้องการ โดยการสะท้อนและหักเหแสง จะทำให้ประสิทธิภาพของโคมไฟถนนลดลง แต่ในการใช้งาน โคมไฟถนนที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีการกระจายแสงไม่เหมาะสมในการส่องสว่างผิวถนน จะทำให้ประสิทธิผลทางพลังงานหรือการประหยัดพลังงานน้อยกว่าโคมไฟถนนที่มีประสิทธิภาพทางแสงต่ำกว่า แต่มีการกระจายแสงเหมาะสมกับถนนที่ติดตั้ง

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

4.4 การจัดประเภทและสมรรถนะจำเพาะของโคมไฟถนน

4.4.1 การจัดประเภทตาม CIE

การจำแนกโคมไฟถนนตามวิธี CIE ใช้ตัวแปร 3 ตัว คือ Throw, Spread และ Control โดย Throw จะแสดงถึงความสามารถของโคมไฟถนนในการสาดแสงออกห่างจากจุดใต้โคมได้มากน้อยเพียงใด Spread จะแสดงถึงความสามารถของโคมไฟถนนในการกระจายแสงข้ามถนนไปอีกฝั่งหนึ่ง และ Control จะแสดงถึงความสามารถในการควบคุมความจ้าตา

Throw, Spread และ Control แบ่งออกเป็น 3 แบบ แต่ละแบบกำหนดได้ด้วยมุม γ_T, มุม γ_S และค่า SLI ตามลำดับ ทั้งนี้ CIE ได้กำหนดเกณฑ์ในการจัดประเภทโคมไฟถนนไว้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 รายละเอียดดู CIE Publ. 34-1977 Road Lighting Lantern and Installation Data-Photometrics, Classification and Performance

ตารางที่ 4.1 การจัดประเภทโคมไฟถนนของ CIE

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

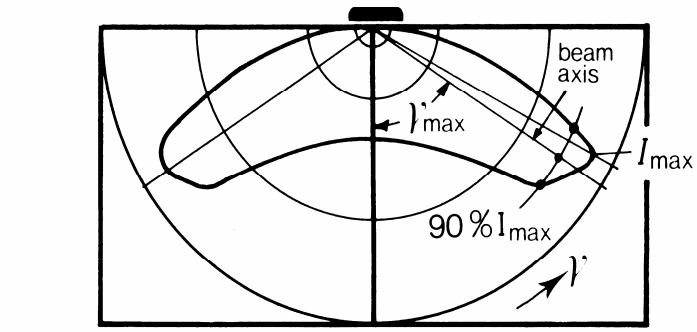
หมายเหตุ

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

รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้หาค่า SLI ดูในมาตรฐาน CIE 115

1) Throw

มุม γ_T (Throw angle) หาได้จากกราฟโพลาร์ของการกระจายแสงในระบบ C- γ ที่ผ่านแนวความเข้มส่องสว่าง สูงสุด (Imax) โดยการเฉลี่ยค่ามุม γ ของความเข้มส่องสว่าง 90 % ดังรูปที่ 4.1

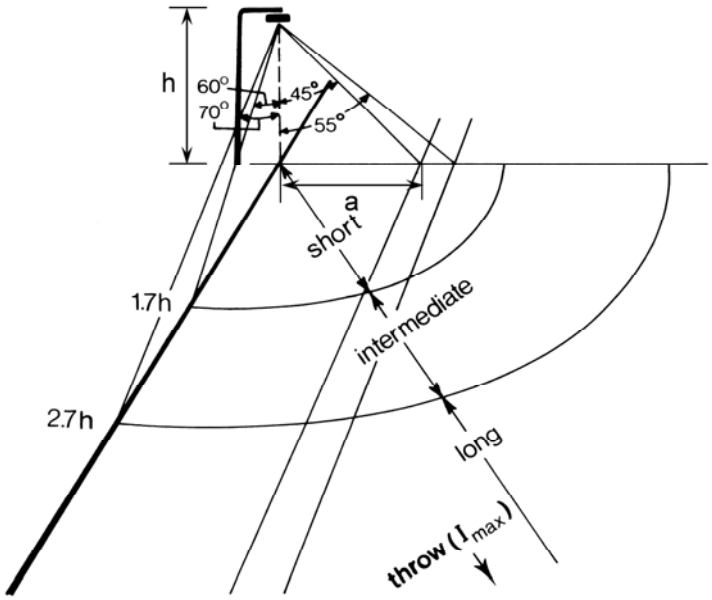


รูปที่ 4.1 การหาค่ามุม γ_T เพื่อใช้ระบุค่า Throw

เมื่อทราบค่ามุม γ_T ก็สามารถระบุชนิดของ Throw ได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.1 สำหรับรูปที่ 4.2 แสดงการแปลงค่ามุม γ_T ซึ่งตรงกันกับอัตราส่วนของระยะบนพื้นถนน เทียบกับ

ความสูงของดวงโคม (a/h) เพื่อใช้แสดงว่า Throw แต่ละชนิดจะปรากฏอยู่บนพื้นถนนส่วนใด รอบ ๆ จุดตกของโคมไฟถนน

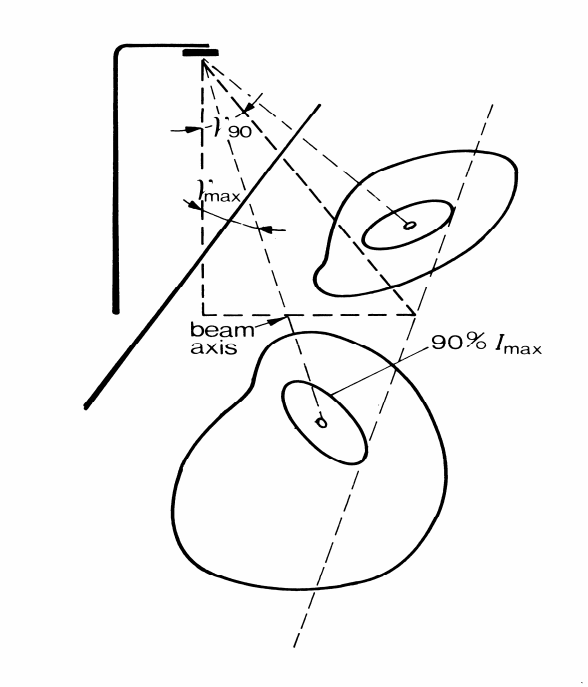
γ_T	a/h
60°	1.73
70°	2.75



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของ Throw (Imax)บนพื้นถนน

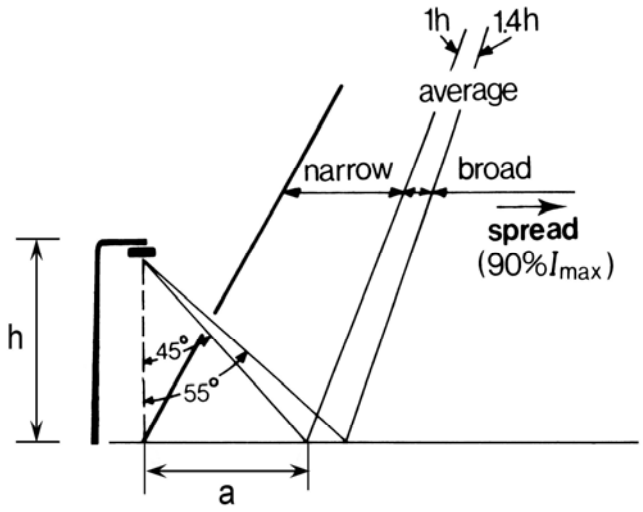
2) Spread

มุม γ_S(Spread angle) หาได้จากมุมบนระนาบดิ่งที่ผ่านโคมไฟถนนและขวางถนนที่เป็นมุมจากแนวดิ่งถึงมุมที่แสดงขอบของเส้นความเข้มส่องสว่างเท่ากัน (Isocandela line) ที่ 90 % ของค่าสูงสุดที่ด้านที่อยู่ห่างจากโคมไฟถนนมากกว่าอีกด้านหนึ่ง ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การหาค่ามุม γ_S เพื่อใช้ระบุค่า Spread

เมื่อทราบค่ามุม γ_S ก็สามารถระบุชนิดของ Spread ได้ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.1 สำหรับรูปที่ 4.4 แสดงการแปลงค่ามุม γ_S ซึ่งตรงกันกับอัตราส่วนของระยะบนพื้นถนนเทียบกับความสูงของโคมไฟถนน (a/h) เพื่อใช้แสดงว่า Spread แต่ละชนิดจะปรากฏอยู่บนพื้นถนนส่วนใดบ้าง



γ_s	45°	55°
a/h	1.00	1.40

รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของ Spread บนพื้นถนน

4.4.2 การจัดประเภทของ IESNA

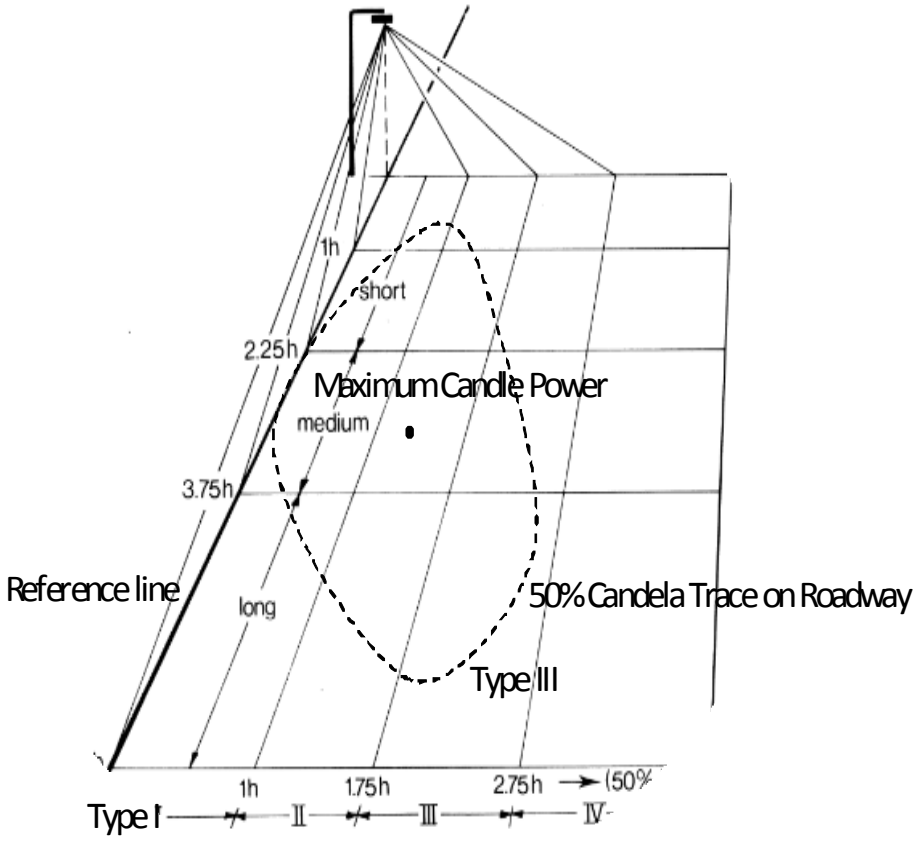
IESNA กำหนดวิธีจำแนกโคมไฟถนนสำหรับส่วนของพื้นที่ประเภท M จากการกระจายความเข้มส่องสว่างบนผิวถนน เป็นแบบที่ส่องไปทางด้านหน้า (Lateral Light Distributions ในที่นี้เรียกว่าชนิดการกระจาย หรือ Type) และด้านข้างแต่ละด้านของตำแหน่งโคมไฟถนน (Vertical Light Distributions ในที่นี้เรียกว่า พิสัยการกระจาย หรือ Distribution range) โดยแบ่งเป็นชนิดการกระจาย (Type) II, III และ IV ซึ่งบอกลักษณะการกระจายแสงไปทางด้านหน้า ข้ามไปยังถนนฝั่งตรงข้าม ในขณะที่ให้พิกัดการกระจายแบบสั้น (S; Short) ปานกลาง (M; Medium) และยาว (L; Long) เป็นตัวชี้บอกแบบที่จุดความเข้มส่องสว่างค่าสูงสุด อยู่บนกริดในบริเวณที่กำหนดโดยระยะบนพื้นถนน เทียบกับความสูงของโคมไฟถนน IESNA กำหนดเกณฑ์ในการจัดประเภทโคมไฟถนนไว้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การจัดประเภทของโคมไฟถนนของ IESNA

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

ชนิด II , III และ IV เป็นชนิดที่มีการกระจายแสงรอบตัวไม่สมมาตร (Asymmetrical) ในระนาบที่ผ่านแกนในแนวดิ่ง และกระจายออกเป็นมุมกว้างไปทางด้านหน้า เมื่อเส้น 50 % ของความเข้มส่องสว่างค่าสูงสุด อยู่ภายใน เส้น 1.75 MH เส้น 2.75 MH และอยู่เลย เส้น 2.75 MH ด้านถนนของเส้นอ้างอิงตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.5)

พิกัดการกระจายแสง สั้น ปานกลางและยาว เป็นตัวบอกแบบของพิกัดที่จุดความเข้มส่องสว่างค่าสูงสุด บนกริดบนพื้นถนน ตามแนวเส้นอ้างอิงในระยะ 1.0 - 2.25 MH, 2.25 – 3.75 MH และ 3.75 – 6.0 MH ตามลำดับจากเส้นกึ่งกลางของโคมไฟถนน (ดูรูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างประเภทโคมไฟถนนชนิดการกระจาย (Type) III และพิกัดการกระจาย ปานกลาง (M)

นอกจากชนิดการกระจาย และพิกัดการกระจายแสงแล้ว สมบัติการกระจายความเข้มส่องสว่างในทิศทางของมุมที่สูงกว่ามุม 80^0 จากแนวดิ่งลง มีผลต่อการเกิด ความจ้าตา มลภาวะทางแสง และประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำ

คำจำกัดความของ Cutoff ขึ้นอยู่กับสมบัติการกระจายแสงในทิศทางมุม 80^0 และมุม 90^0 จากแนวดิ่งลง

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

Cutoff เป็นสมบัติการกระจายแสงเมื่อ ค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางมุม 90^0 และมุม 80^0 น้อยกว่า 2.5 % และน้อยกว่า 10 % ของลูเมนที่กำหนดตามลำดับ;

ส่วน Semicutoff เป็นสมบัติการกระจายแสงเมื่อ ค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางมุม 90^0 และมุม 80^0 น้อยกว่า 5 % และน้อยกว่า 20 % ของลูเมนที่กำหนด ตามลำดับ

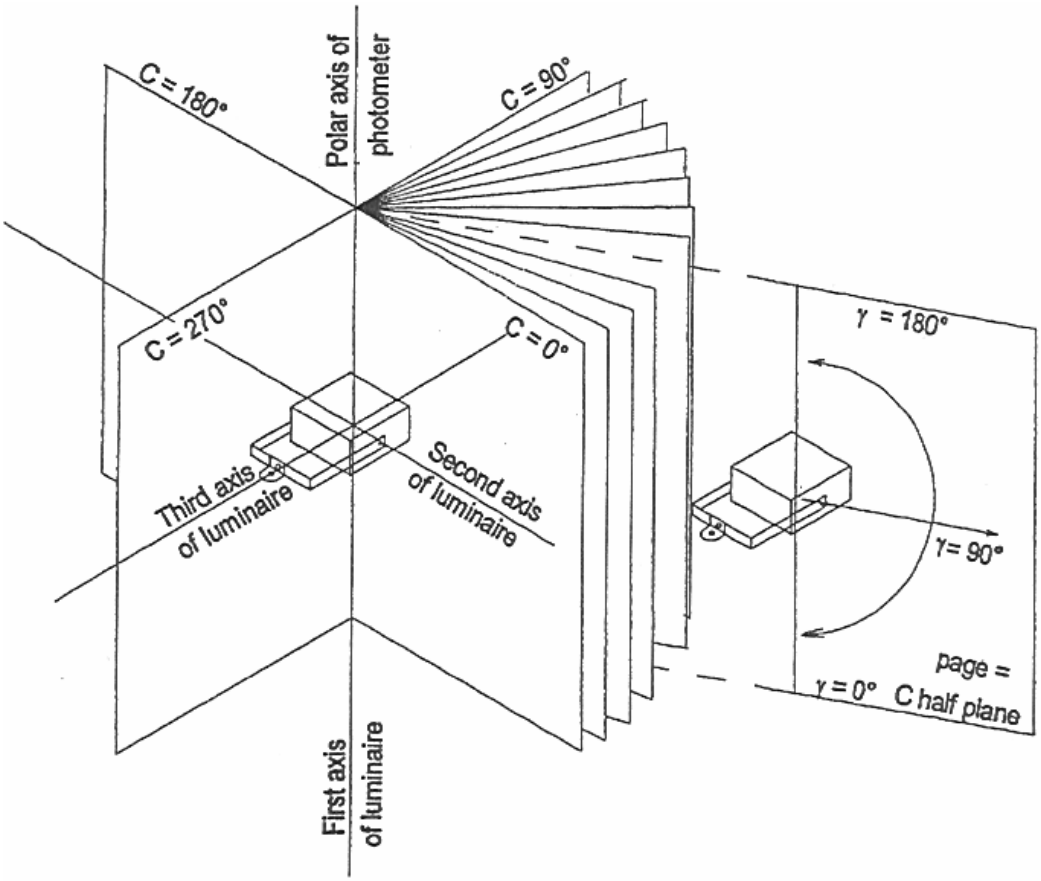
4.4.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของโคมไฟถนน

การวิเคราะห์และจัดกลุ่มของโคมไฟถนนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ต้องมีข้อมูลในรูปของไฟล์ข้อมูลการวัดแสง (Photometic Data File) ซึ่งได้จากการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน

มาตรฐาน CIE 121-1996: The Photometry and Goniophotometry of Luminaires ได้กำหนดระบบการวัดข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่าง ของแหล่งกำเนิดแสง เช่น หลอดไฟฟ้า โคมไฟฟ้า ออกเป็น 3 ระบบ คือ

- ระบบ A-α
- ระบบ B-β
- ระบบ C-γ

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



รูปที่ 4.6 การหันโคมไฟถนน สำหรับ C, γ ในการวัดแสงด้วยโกนิโอโฟโตมิเตอร์

โกนิโอโฟโตมิเตอร์ (Goniophotometer) เป็นเครื่องมือในห้องปฏิบัติการแสงสว่างสำหรับวัดข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน แบบที่นิยมใช้กันมากเป็นแบบกระจกหมุนหรือแบบหมุนโคมไฟถนน

4.4.4 ระดับข้อมูลทางแสงของโคมไฟถนน

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

1. ข้อมูลพื้นฐานจากการวัดแสงของโคมไฟถนน
   - ตารางการกระจายความเข้มการส่องสว่าง (Intensity Distribution Tables)
   - แผนภาพความเข้มส่องสว่างเท่ากัน (Iso candela Diagrams)
   - แผนภาพโพลา (Polar Diagrams)
   - พื้นที่ส่องแสง (Flashed Area)
2. สมรรถนะทางแสงหาได้จากข้อมูลการวัดแสง

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

3. ข้อมูลสมรรถนะของระบบส่องสว่างถนน
   - ตารางสมรรถนะ (Performance Tables)
   - กราฟสมรรถนะ (Performance Graphs)

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

บทที่ 5
การจำลองระบบติดตั้งไฟถนน คำนวณและวิเคราะห์ ด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์

การออกแบบไฟถนนในยุคปัจจุบัน ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ด้านสมรรถนะการส่องสว่างเพื่อการมองเห็นที่ดี ด้านสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพพลังงาน เพื่อให้ได้มาซึ่งระบบที่มีประสิทธิภาพสูงตลอดจนด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เรื่อง แสงสาดเข้า (Obtrusive Light) ที่เกิดการรบกวน ผู้อาศัยในพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อให้การทำงานของบุคลากรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับไฟถนนไม่ได้รับผลกระทบ

จากการปรับเปลี่ยนแนวคิด วิธีการออกแบบจากรูปแบบเดิม ที่ใช้เกณฑ์ความสว่าง (lux) กันมานานแล้ว มาเป็นวิธีการใหม่ใช้เกณฑ์ความส่องสว่าง (cd/m^2) ที่อาจยังไม่คุ้นเคย มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพนี้จึงพิจารณาด้านสมรรถนะที่สำคัญ คือ ด้านสมรรถนะการส่องสว่างและด้านสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพพลังงาน

แนวทางการวิเคราะห์ทำตามขั้นตอนรายละเอียดในรูปที่ 5.1

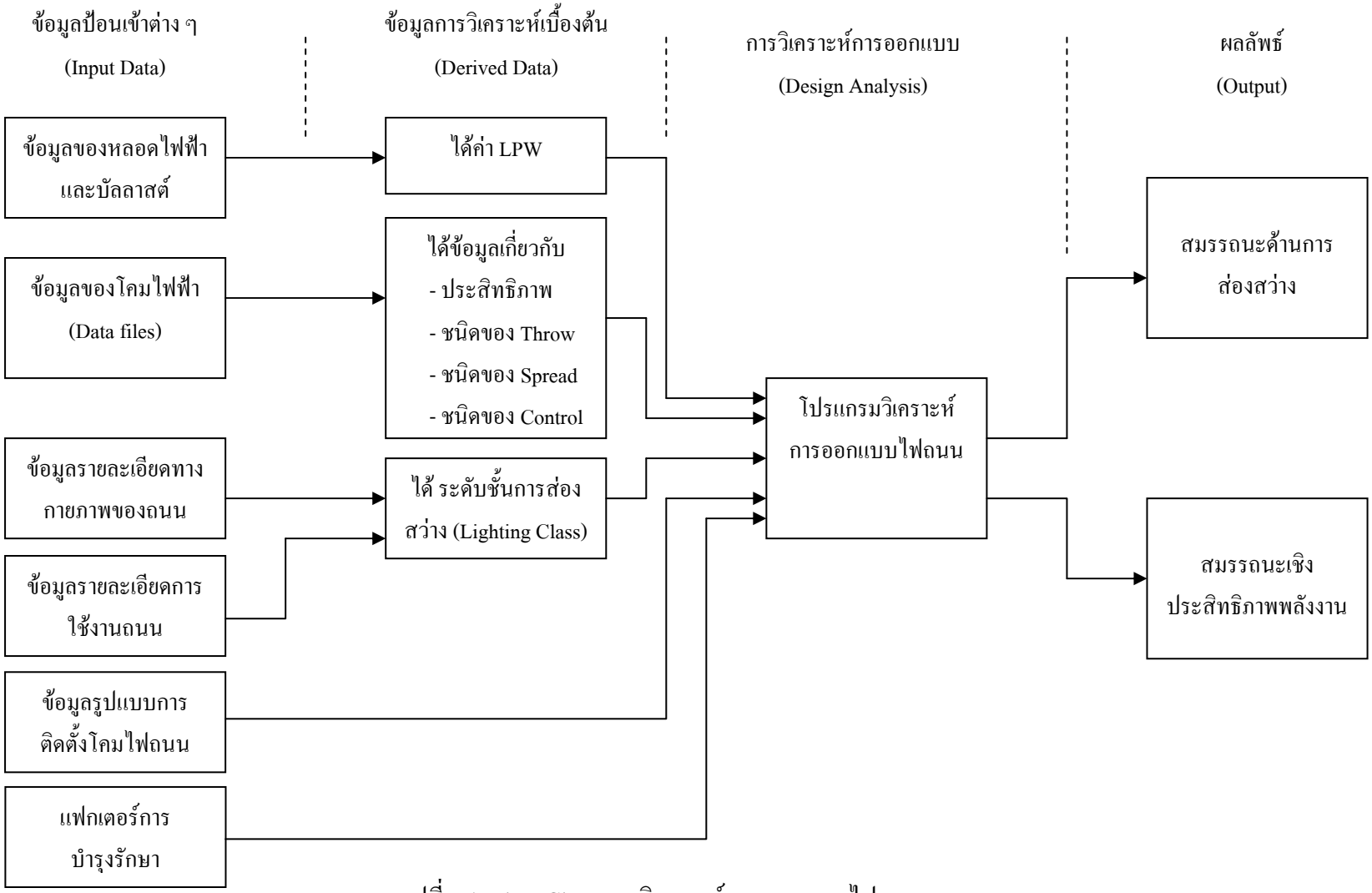
5.1 ข้อมูลป้อนเข้าต่าง ๆ (Input Data)

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ การออกแบบไฟถนน ประกอบด้วย

- ข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของถนน
- ข้อมูลรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน
- ข้อมูลรายละเอียดการใช้งานถนน
- ข้อมูลของหลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์
- ข้อมูลของโคมไฟถนน ใช้ข้อมูลในรูปของ Data files
- ข้อมูลค่าแฟกเตอร์การบำรุงรักษา
- ข้อมูลประเภทของผิวถนน

5.1.1 การออกแบบ การส่องสว่างของโคมไฟถนนในช่วงทางตรง ตามมาตรฐานการก่อสร้างทางของกรมทางหลวง ปี พ.ศ. 2537 มีลักษณะของถนนที่แตกต่างกัน คือ

1) ถนนกว้าง 7 เมตร ขนาด 2 เลน
2) ถนนกว้าง 14 เมตร ขนาด 4 เลน
3) ถนนกว้าง 21 เมตร ขนาด 6 เลน
4) ถนนกว้าง 21 เมตร ขนาด 6 เลน แบบมีเกาะกลาง
5) ถนนกว้าง 28 เมตร ขนาด 8 เลน แบบมีเกาะกลาง



รูปที่ 5.1 Flow Chart การวิเคราะห์การออกแบบไฟถนน

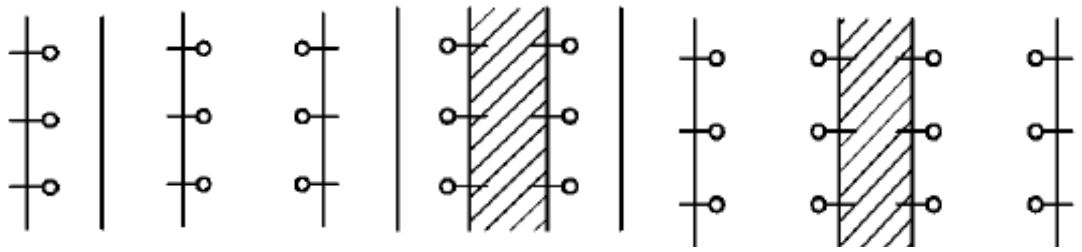
เลือกใช้ พื้นผิวถนนที่ก่อสร้างทั่วไป 3 แบบ คือ ชั้น R1, R2, และ R3:

ชั้น R1 แทน ผิวถนนคอนกรีต (Portland cement concrete)

ชั้น R2 แทน ผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดสีขาวสะท้อนแสงได้ดี

ชั้น R3 แทน ผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดสีทึบแสง

5.1.2 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนถนนที่ก่อสร้างทั่วไป ที่ให้เลือกทั้งหมด 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 คือ



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 5.2 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนถนน

1) ถนนกว้าง 7 เมตร ขนาด 2 เลน ติดตั้งโคม แบบ Single Side รูปที่ 5.2 (ก)
2) ถนนกว้าง 14 เมตร ขนาด 4 เลน ติดตั้งโคม แบบ Opposite รูปที่ 5.2 (ข)
3) ถนนกว้าง 21 เมตร ขนาด 6 เลน ติดตั้งโคม แบบ Opposite รูปที่ 5.2 (ข)
4) ถนนกว้าง 21 เมตร ขนาด 6 เลน ติดตั้งโคม แบบ Central Twin รูปที่ 5.2 (ค)
5) ถนนกว้าง 28 เมตร ขนาด 8 เลน ติดตั้งโคม แบบ Central Twin และโคมแบบ Opposite รูปที่ 5.2 (ง)

5.1.3 การเลือกระดับชั้นการส่องสว่าง ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่า Lav, U0, Ul, TI [%], SR ที่ใช้ตามมาตรฐานนานาชาติฉบับล่าสุด คือ CIE 115 โดยเลือกพิจารณาระดับชั้นการส่องสว่าง 5 แบบ คือ M1, M2, M3, M4 และ M5 และแต่ละระดับชั้นการส่องสว่าง ใช้กับผิวถนนทั้ง 3 แบบ

5.1.4 เมื่อทราบข้อมูลระบบติดตั้ง สามารถเลือกหลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์ ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ หลอดโซเดียมความดันไอสูง 70 - 400 W หลอดเมทัลฮาไลด์ 70 - 400 W หลอดไอปรอทความดันสูง 80 – 400 W และหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W

5.1.5 โคมไฟถนนชนิดต่าง ๆ ที่จะใช้ในการจำลองระบบติดตั้ง คำนวณและวิเคราะห์ เลือกจากคุณสมบัติการกระจายความเข้มการส่องสว่าง $I(C,\gamma)$ ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพ รูปกราฟ แถบแสดงความสว่าง คุณสมบัติที่สำคัญที่ใช้เลือก ประกอบด้วย

- ประสิทธิภาพของโคมไฟฟ้า
- ชนิดของ Throw
- ชนิดของ Spread
- ชนิดของ Control

ข้อมูลเหล่านี้สามารถคำนวณและวิเคราะห์ได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือจากข้อมูลของผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย ตามชนิดของโคมไฟถนนที่นิยมใช้ในการติดตั้งบนถนนประเภทต่าง ๆ แยกตามประเภทและกำลังไฟฟ้าของหลอดและบัลลาสต์

5.2 ขั้นตอนการออกแบบการส่องสว่างถนน

การออกแบบการส่องสว่างถนนมีหลายขั้นตอน เนื้อหาของขั้นตอนในมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพนี้ เหมาะสมสำหรับการออกแบบใหม่ โดยผู้ออกแบบที่มีพื้นฐานทางเทคนิคการส่องสว่างเพียงพอ และยังไม่ชำนาญในการออกแบบ

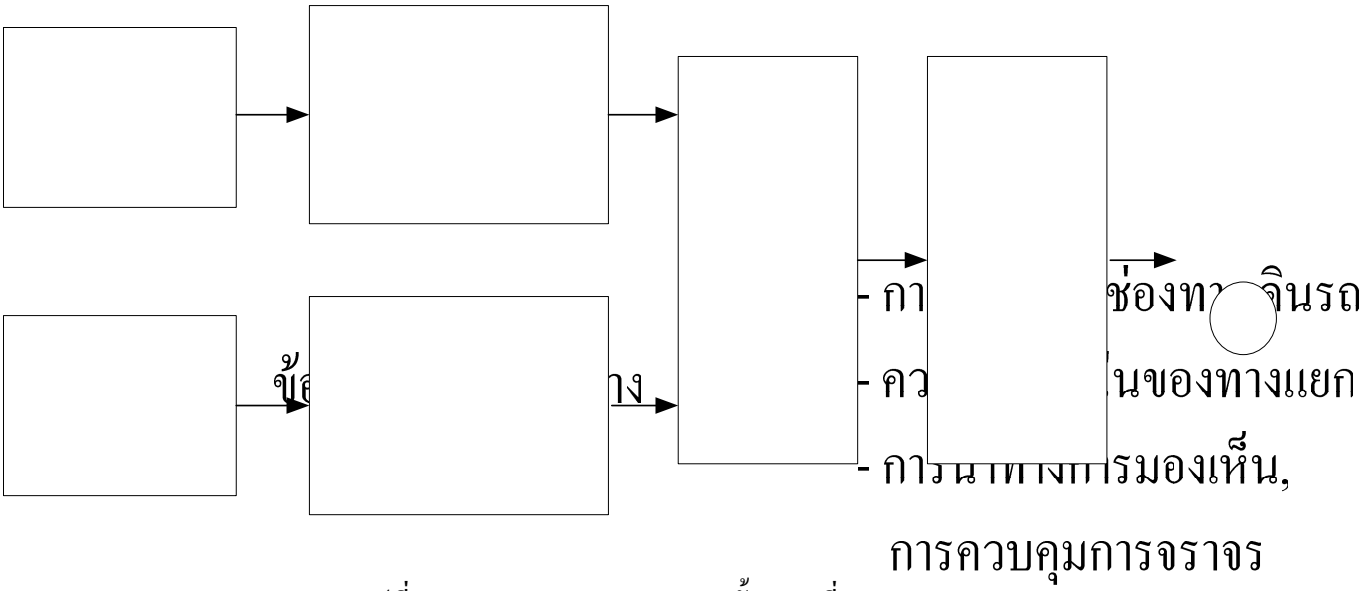
ขั้นตอนที่ 1

ก) การรวบรวมข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของถนน และการใช้งานถนน

ข) ประเมินประเภทของถนนจากข้อมูลที่รวบรวมได้จากข้อ ก)

ค) หาระดับชั้นการส่องสว่างของถนน

เลือกเกณฑ์ของการส่องสว่าง ตามตารางที่ 4.3 เลือกค่า L_{av} , U_O, U_l, TI และ SR ในกรณีที่เลือกใช้เกณฑ์ความส่องสว่าง หรือเลือกค่า E_{av} , U_l จากประเภทของผิวถนน R ในกรณีที่เลือกใช้เกณฑ์ความสว่าง



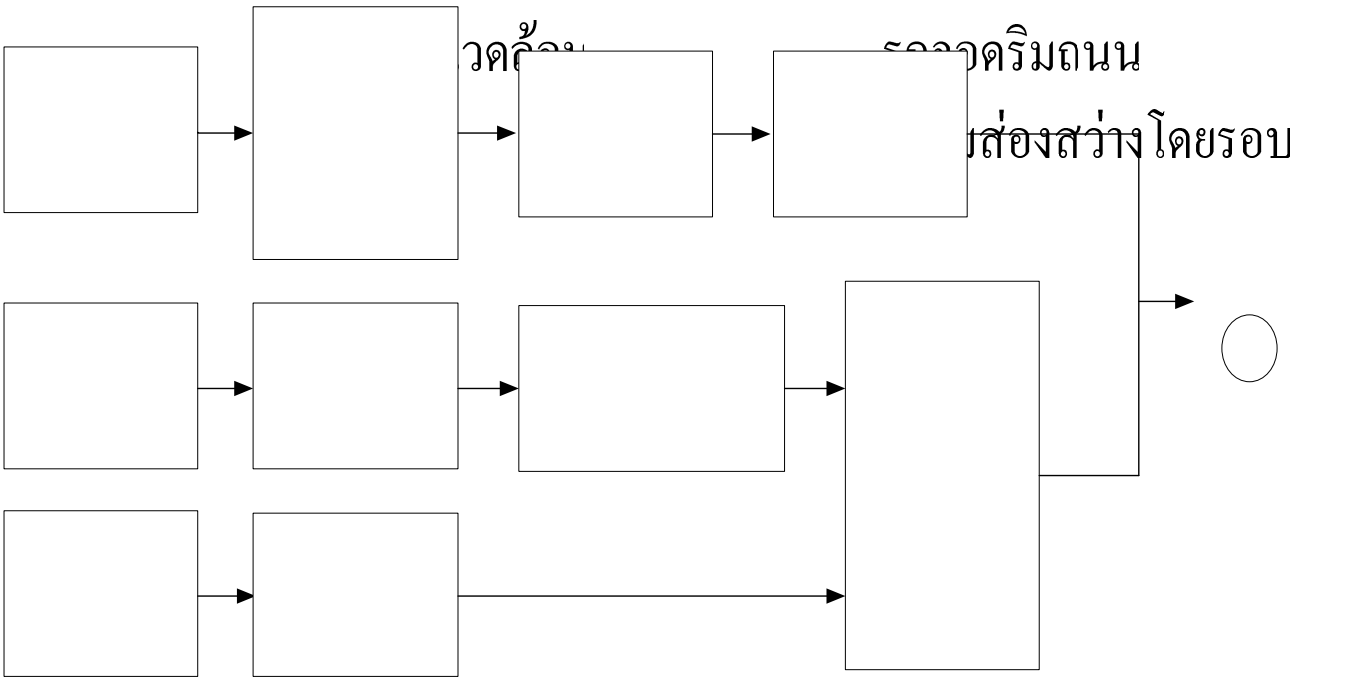
รูปที่ 5.3 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 2

ก) เลือกชนิดของหลอดไฟ (กำลังไฟฟ้า ฟลักซ์ส่องสว่าง ประสิทธิผล อายุใช้งาน สีของแสง) และชนิดของบัลลาสต์

ข) เลือกโคมไฟถนน

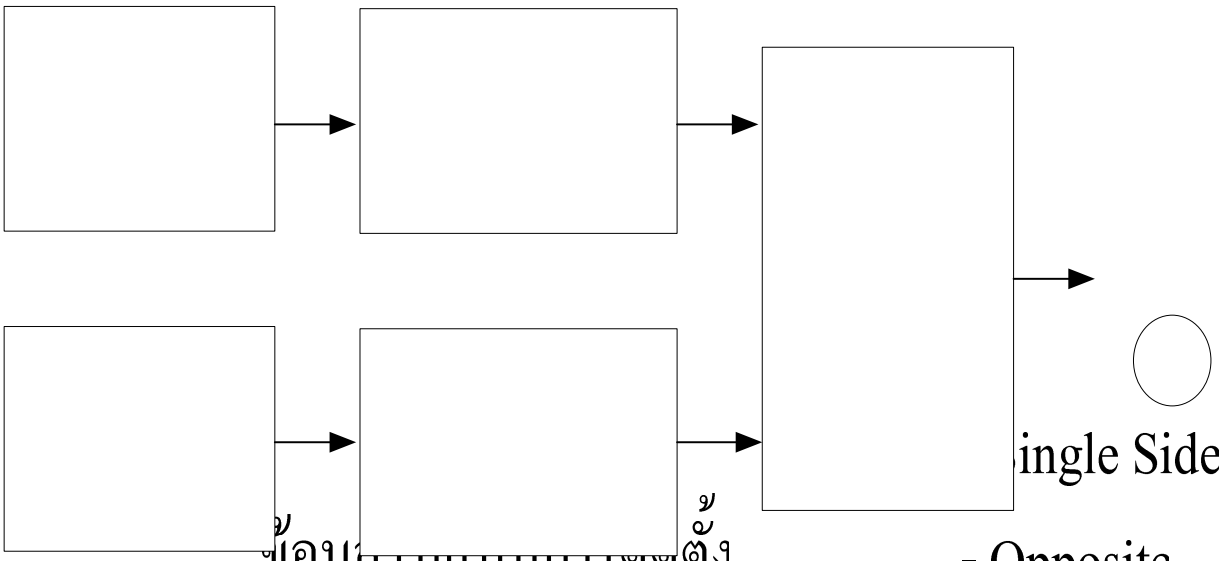
ค) หาข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะทางแสงและทางพลังงานของโคมไฟถนน



รูปที่ 5.4 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 3

ก) เลือกรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน

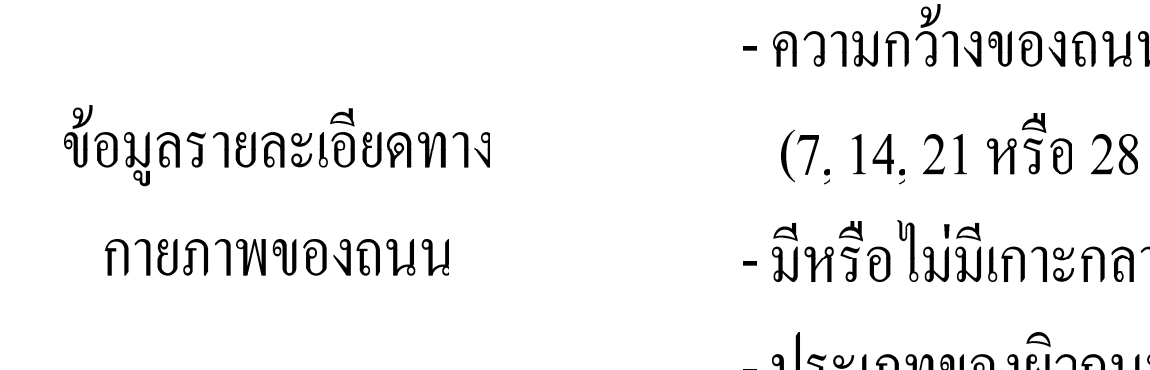


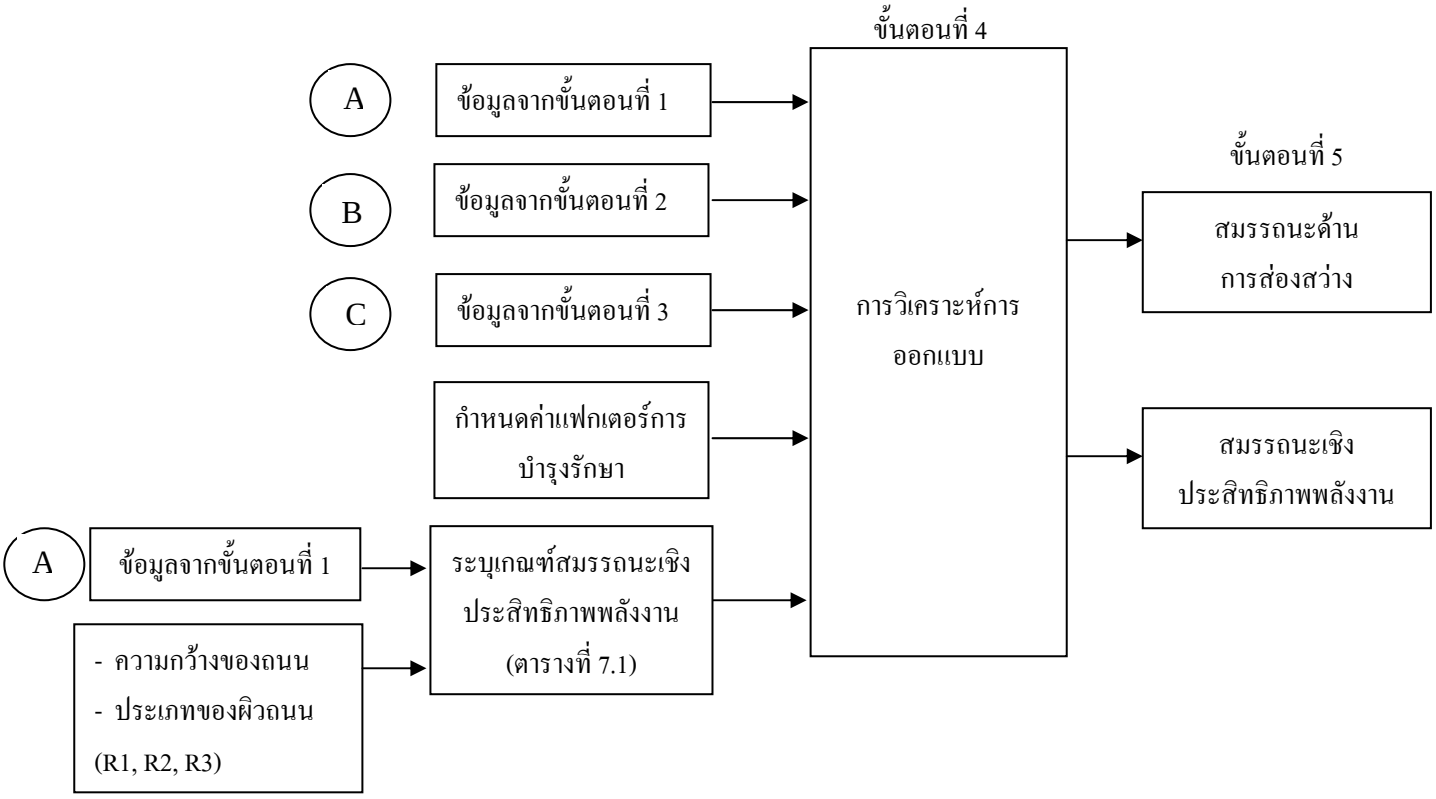
รูปที่ 5.5 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 4

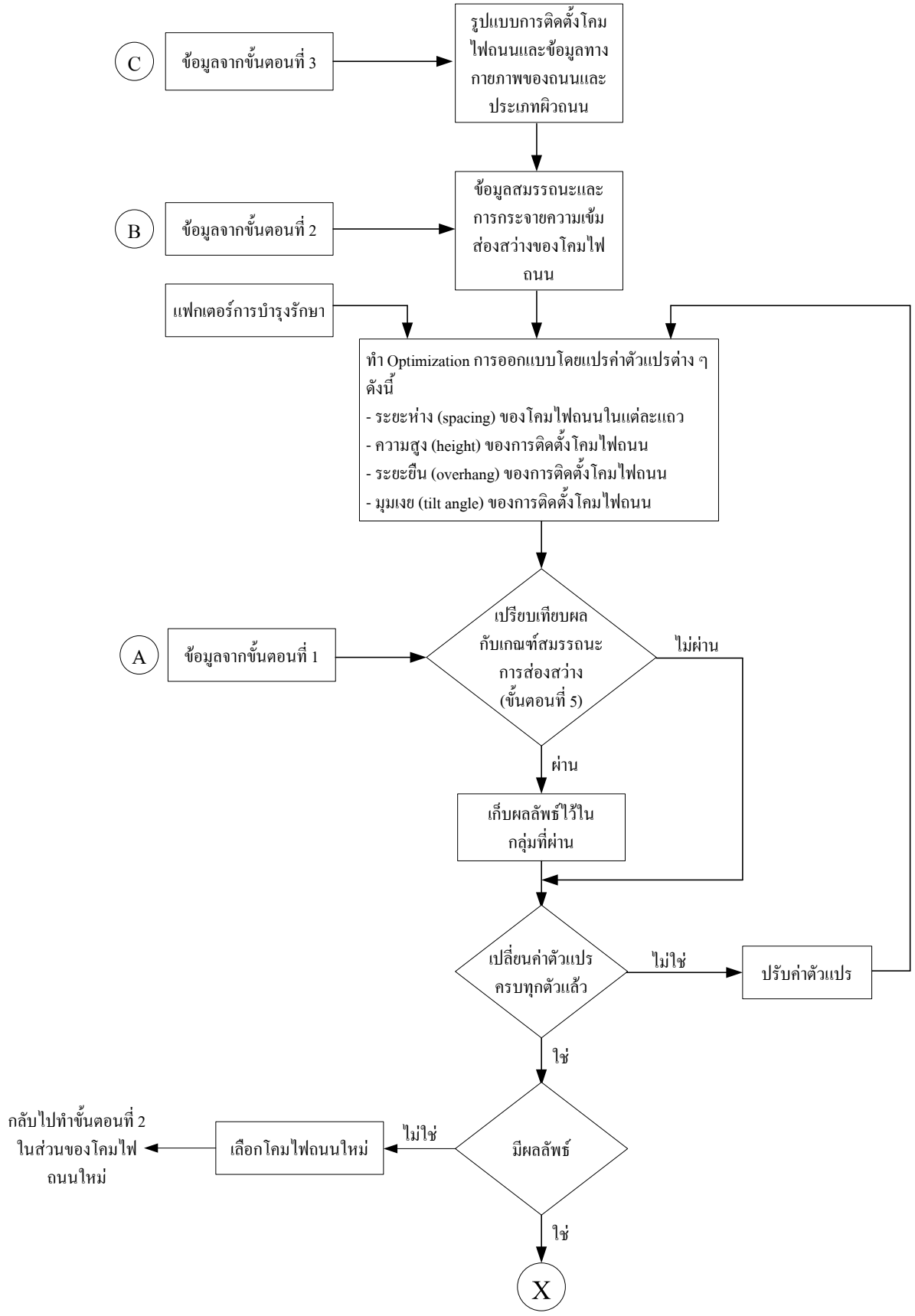
ก) หาความสูงของการติดตั้งโคมไฟถนนและระย ะห่างที่เหมาะสมระหว่างโคมไฟถนนในแต่ละแถว

ข) เป็นการหามิติของการติดตั้งโคมไฟถนนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณและออกแบบระบบการส่องสว่างถนนจากข้อมูลที่รวบรวมและหาได้จากขั้นตอนที่ 1 ถึง 3

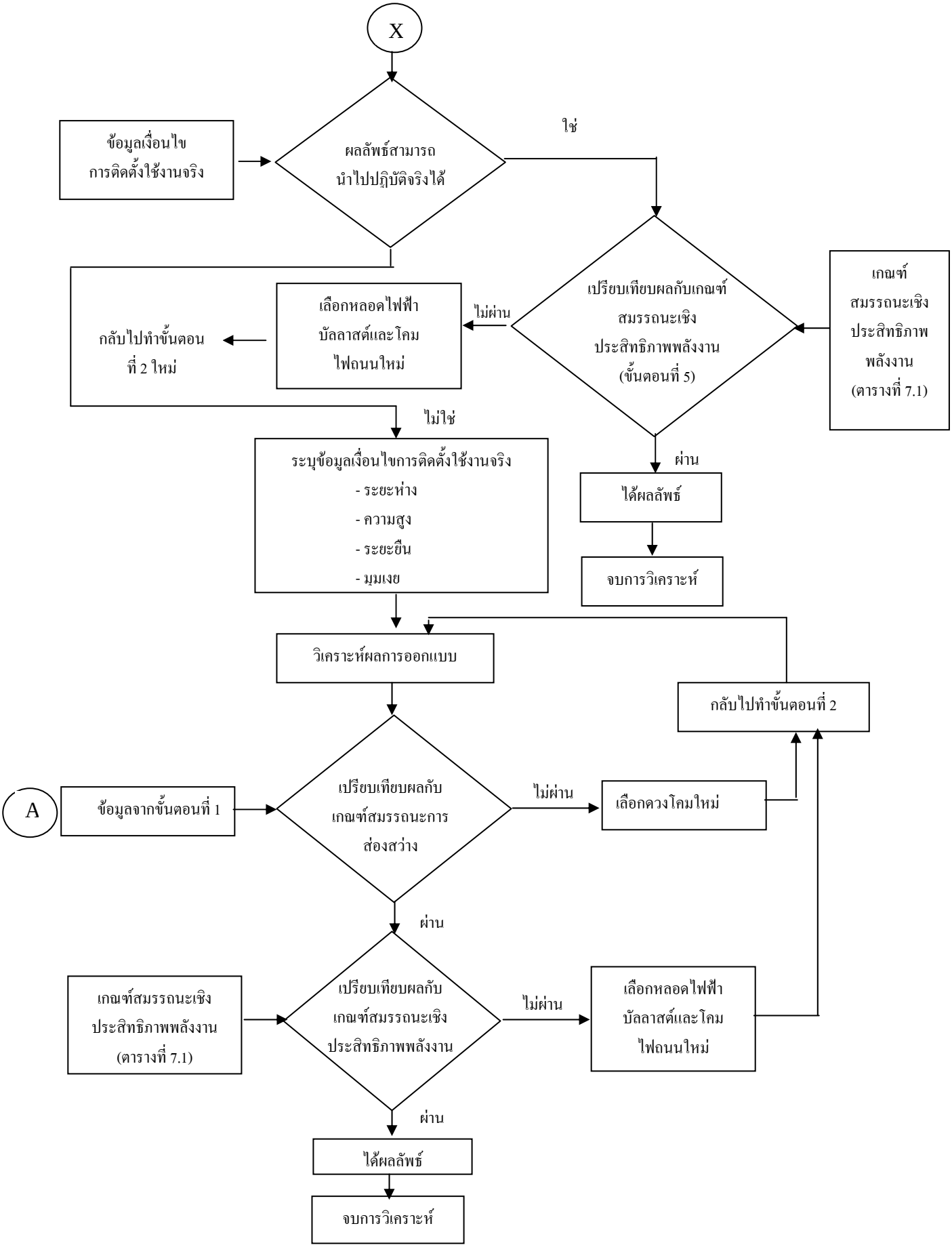




ก) แผนภาพอย่างง่ายของการทำงานตามขั้นตอนที่ 4 และ 5



ข) แผนภาพอย่างละเอียดของการทำงานตามขั้นตอนที่ 4 และ 5



ข) แผนภาพอย่างละเอียดของการทำงานตามขั้นตอนที่ 4 และ 5 (ต่อ)

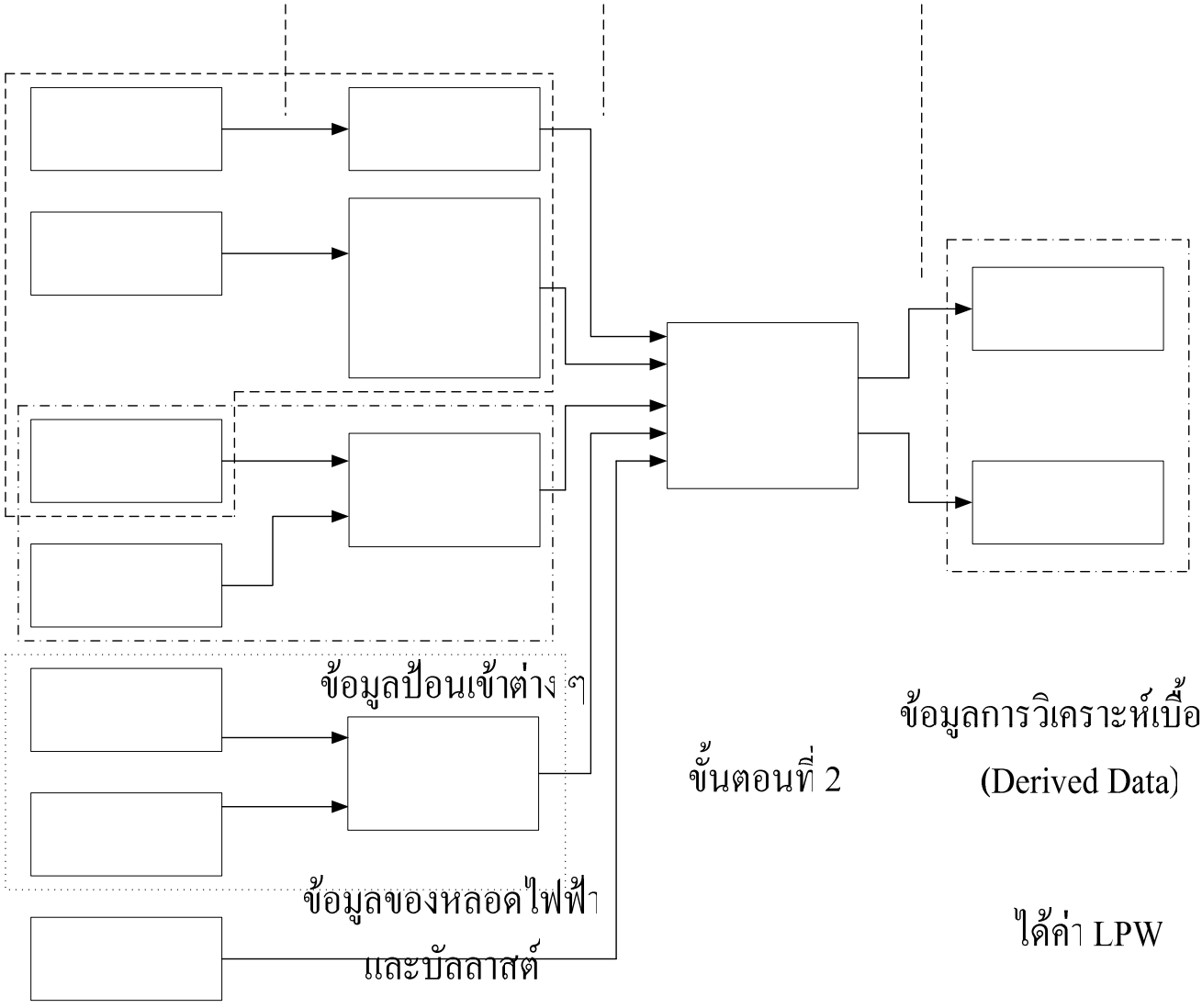
รูปที่ 5.6 แผนภาพการทำงานตามขั้นตอนที่ 4 และ 5

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของการออกแบบ

ก) คำนวณค่าความส่องสว่าง/ความสว่าง ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง/ความสว่าง และ ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (TI)

ข) เปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้กับเกณฑ์ที่กำหนด ปรับแต่งมิติของการติดตั้งโคมไฟถนนและคำนวณค่าความส่องสว่างจนได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑที่กำหนดด้านสมรรถนะการส่องสว่างและด้านสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพพลังงาน

ค) สร้างสมบัติทางแสงของโคมไฟถนนของระบบติดตั้งการส่องสว่าง เช่น ตาราง แผนภาพและกราฟ



รูปที่ 5.7 แผนภาพหลักของการวิเคราะห์การออกแบบไฟถนนทั้ง 5 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 6 หาแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7 การวางผังระบบติดตั้ง

ก) ตรวจสอบสิ่งกีดขวางในบริเวณติดตั้งเสาไฟและโคมไฟถนน และการฝังสายเคเบิลใต้ดิน

ข) ตำแหน่งติดตั้งของเสาต้องปรับแต่งในแบบติดตั้งด้วย

ค) วางผังการเดินสายและระบบท่อร้อยสาย

บทที่ 6
การคำนวณและวิเคราะห์ระบบติดตั้ง

6.1 การใช้โปรแกรมคำนวณค่าการติดตั้งที่เหมาะสมในการออกแบบไฟถนน

ขั้นตอนต่อไป คำนวณหาค่าที่เหมาะสมของการจำลองแบบส่องสว่างของโคมไฟถนน (Road lighting modeling) ได้แก่ ระยะห่างระหว่างเสา ความสูงของเสา และ ระยะยื่นของโคมไฟถนนจากขอบถนน การกำหนดค่าที่ใช้ในการคำนวณระยะห่างระหว่างเสา สำหรับถนนที่การจราจรมีความเร็วของรถสูง มีระยะห่างระหว่างเสาแตกต่างกันมาก คือ ประมาณ 25 เมตร ถึง 55 เมตร ซึ่งตรงกันกับอัตราส่วนของระยะบนพื้นถนนเทียบกับความสูงของโคมไฟถนน (a/h) ประมาณ 3 ถึง 5

ถนนในพื้นที่ประเภท M มีข้อจำกัดค่อนข้างมากเกี่ยวกับความจ้าตาที่เกิดจากโคมไฟถนน ในทางปฏิบัติโคมไฟถนนต้องไม่มีความเข้มการส่องสว่างที่มุมสูงเกินค่ามาตรฐานกำหนด และระยะห่างระหว่างเสาจะจำกัดที่ประมาณ 4 เท่าของความสูง

เมื่อ เลือกคำนวนค่าตั้งแต่ 25 เมตร ถึง 55 เมตร โดยเพิ่มค่าทีละ 1 เมตร การคำนวนค่าความสูงของเสา เลือกคำนวณค่าตั้งแต่ 8 เมตร ถึง 12 เมตร โดยเพิ่มค่าทีละ 1 เมตร และการคำนวณค่าระยะยื่นของโคมไฟถนนจากขอบถนน คำนวณค่าที่ตำแหน่ง 0, 0.5 และ 1 เมตร จากขอบถนน มุมเอียงเป็นมุม 0 องศา และจากนั้นเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดของการติดตั้ง ซึ่งให้ความส่องสว่าง (cd/m^2) ไม่ต่ำกว่าเกณฑ์สมรรถนะทางแสงตามข้อกำหนดของมาตรฐานอ้างอิง เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความสว่างและค่าประสิทธิผลทางพลังงานต่อไป

ในกรณีที่ถนนกว้างและโคมไฟถนนที่ต้องการใช้มีลักษณะการกระจายแสงออกเป็นมุมแคบไปทางด้านหน้า ต้องติดตั้งโคมไฟถนนที่ต้องการให้มีมุมเอียงมากขึ้น เป็นมุม 5 – 15 องศา เพื่อให้การกระจายความเข้มส่องสว่างส่วนใหญ่ตกบนกริดบนผิวถนน

6.2 การคำนวณความสว่างและความส่องสว่างของการติดตั้งโคมไฟถนนในระบบ

การคำนวณค่าสมรรถนะการส่องสว่างของโคมไฟ ดูมาตรฐานการส่องสว่างถนน CIE. 140-2000 Road Lighting Calculations; EN 13201-3 Road Lighting–Part 3 Calculation of performance; CIE 115-2007), EN 13201-1-2 และ AS/NZS 1158.1.1: 1997

ตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณาและเลือกใช้ในการคำนวณ คือ

1) รูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน (Lighting layout): SS-Single side, OP-Opposite, CT-Central Twin, CTO-Central-Opposite
2) ระดับชั้นการส่องสว่าง (Lighting class): M1, M2, M3, M4 และ M5
3) รายละเอียดของถนน ซึ่งได้แก่ ความกว้าง 7, 14, 21, 28 m และประเภทผิวหน้าของถนน R1, R2 และ R3

บทที่ 7
ประสิทธิผลทางพลังงานของการส่องสว่าง

7.1 ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง

จากนิยามของความสว่างและความส่องสว่างสามารถนำมาวิเคราะห์ เพื่อสร้างดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างที่ใช้งานกับการให้แสงสว่างถนนได้ ดังต่อไปนี้

$$E = \frac{\phi}{A}$$

$$E = \frac{\phi \times UF \times MF}{s \times w}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{E \times w}{\phi \times UF \times MF}$$

$$\frac{P}{s} = \frac{E \times w \times P}{\phi \times UF \times MF}$$

$$\frac{P}{s} = \frac{E \times w}{LPW \times UF \times MF}$$

$$LPI_1 = \frac{P}{s} = \frac{E \times w}{LPW \times UF \times MF} \quad (7.1)$$

$$LPI_2 = \frac{P}{s \times w} = \frac{E}{LPW \times UF \times MF} \quad (7.2)$$

$$LPI_4 = \frac{P}{E \times A} = \frac{1}{LPW \times UF \times MF} \quad (7.3)$$

$$LPI_5 = \frac{E}{P/A} = \frac{1}{LPI_4} = LPW \times UF \times MF \quad (7.4)$$

จาก $L = Q_0.E$

$$LPI_3 = \frac{P}{L \times A} = \frac{1}{LPW \times UF \times MF \times Q_O} \quad (7.5)$$

เมื่อ E คือ ความสว่าง มีหน่วยวัดเป็น lux

Φ คือ ฟลักซ์ส่องสว่าง มีหน่วยวัดเป็น lm

A คือ พื้นที่ มีหน่วยวัดเป็น m^2

UF คือ แฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง

MF คือ แฟกเตอร์การบำรุงรักษา

s คือ ระยะห่างของเสาไฟถนนที่อยู่บนถนนฝั่งเดียวกัน มีหน่วยวัดเป็น m

w คือ ความกว้างของผิวถนน มีหน่วยวัดเป็น m

P คือ กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า 1 ชุด (หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบวงจร) มีหน่วยวัดเป็น W

LPW คือ ประสิทธิผลการส่องสว่างของชุดหลอดไฟฟ้า มีหน่วยวัดเป็น lm/W

Q_O คือ ค่าสัมประสิทธิความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนน

L คือ ความส่องสว่างของผิวถนน มีหน่วยวัดเป็น cd/m^2

LPI_1 คือ ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างตัวที่ 1 มีหน่วยวัดเป็น W/m

LPI_2 คือ ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างตัวที่ 2 มีหน่วยวัดเป็น W/m^2

LPI_3 คือ ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างตัวที่ 3 มีหน่วยวัดเป็น $(W/m^2)/(cd/m^2)$

LPI_4 คือ ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างตัวที่ 4 มีหน่วยวัดเป็น $(W/m^2)/lux$

LPI_5 คือ ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างตัวที่ 5 มีหน่วยวัดเป็น lm/W

ในการออกแบบระบบส่องสว่างและพิจารณาถึงสมรรถนะทางประสิทธิภาพพลังงานของการติดตั้งโคมไฟถนน ค่าที่ผู้ออกแบบเข้าใจได้ง่ายที่สุดคือ LPI_1 หรือ การใช้กำลังไฟฟ้าต่อเมตร ซึ่งสามารถสรุปและวิเคราะห์ค่าสมรรถนะทางแสงได้ ตามสมการ ดังนี้

$$P/s = \frac{E \times w}{LPW \times UF \times MF}$$

ค่าสมรรถนะการใช้กำลังไฟฟ้าต่อความยาวของถนน 1 เมตร ของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักจำนวน 5 ตัว คือ

E : ความสว่าง ถ้าต้องการความสว่างสูง จะทำให้ค่า W/m สูงตามไปด้วย

w : ความกว้างของถนน ถ้าเป็นถนนกว้าง (หลายช่องวิ่ง) จะทำให้ค่า W/m สูงตามไปด้วย

LPW: ค่า ประสิทธิผลของวงจรหลอด 1 ชุด (lm/W) ถ้าใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิผลสูง จะทำให้ค่า W/m ลดลง

UF: แฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง ถ้าใช้โคมไฟถนนที่มีประสิทธิภาพสูงและมีลักษณะการกระจายแสงเหมาะสมกับถนนที่ใช้ (เช่น สัดส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างของโคมไฟถนนที่ตกบนพื้นถนน เทียบกับฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟมีค่าสูง) ทำให้มีค่า UF สูง จะทำให้ค่า W/m ลดลง

MF: แฟกเตอร์การบำรุงรักษา ถ้าใช้โคมไฟถนนชนิดชั้นป้องกันสูง เช่น IP65 และมีแผนงานบำรุงรักษาโคมไฟถนนที่ดี ทำให้ไม่ต้องออกแบบเผื่อไว้มาก (มีค่า MF สูง) ช่วยทำให้ค่า W/m ลดลง

7.2 สมรรถนะด้านประสิทธิผลพลังงานของโคมไฟถนน

ค่าประสิทธิผลด้านพลังงานของโคมไฟถนนที่กำหนดขึ้นนี้ ใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบส่องสว่างในการติดตั้งไฟถนนแบบต่าง ๆ โดยการเลือกใช้หลอดไฟฟ้า บัลลาสต์และโคมไฟถนนที่มีสมรรถนะการกระจายแสงและประสิทธิภาพสูง และใช้ค่าแฟกเตอร์การบำรุงรักษา MF เท่ากับ 0.8

ตัวอย่างโคมไฟถนนที่เลือกใช้หลอดไอปรอทความดันสูง มีการใช้กำลังงานต่อเมตรสูงมากอย่างเห็นได้ชัด สำหรับระดับชั้นการส่องสว่างแต่ละระดับชั้น ส่วนกลุ่มโคมไฟถนนของหลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูง เช่น โคมไฟถนนหลอดเซรามิกเมทัลฮาไลด์ หลอดโซเดียมความดันสูงชนิดมาตรฐานทั่วไป ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กซิลิกอน และหลอดแอลอีดีสีขาวที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ใช้กำลังงานต่อเมตร ต่ำกว่าโคมไฟถนนหลอดไอปรอทความดันสูง มาก สำหรับระดับชั้นการส่องสว่างเดียวกัน อย่างเห็นได้ชัดเจน

รูปที่ ข.1 (ก, ข และ ค) ถึง รูปที่ ข.5 (ก, ข และ ค) ในภาคผนวก ข แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิผลทางพลังงาน (ใช้กำลังงานต่อเมตร) ของระบบส่องสว่างถนน - LPI_1 [W/m] ซึ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่าง ต่อหน่วยความยาวของถนนที่มีความกว้าง (w) ต่าง ๆ และสมบัติผิวถนน (R) ชนิดต่าง ๆ มีรูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนถนนต่างกัน โดยใช้โคมไฟถนนที่ประกอบด้วยหลอดไฟฟ้าต่างชนิดกัน กับระดับชั้นการส่องสว่าง (M)

ค่าประสิทธิผลพลังงานของโคมไฟถนน ในประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพนี้ ถูกกำหนดด้วยค่า LPI_1 ที่มีขีดจำกัดในตารางที่ 7.1 สำหรับการออกแบบการส่องสว่างถนนที่มีความกว้าง (w) ต่าง ๆ และสมบัติผิวถนน (R) ชนิดต่าง ๆ ของระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M1-M5

ตารางที่ 7.1 ขีดจำกัดของค่า LPI_1 ในการออกแบบไฟถนนของระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ประเภทผิวถนน	ขีดจำกัดดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (W/m) สำหรับความกว้างถนน (m)			
		7	14	21	28
M1	R1	7.1	12.3	14.4	22.0
	R2	8.5	13.0	18.0	24.0
	R3	9.0	13.0	18.0	25.0

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ประเภทผิวถนน	ขีดจำกัดดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (W/m) สำหรับความกว้างถนน (m)			
		7	14	21	28
M2	R1	6.0	10.6	12.6	19.0
	R2	7.2	11.6	15.8	22.0
	R3	7.8	11.6	15.9	23.0
M3	R1	5.0	8.1	11.1	16.0
	R2	6.0	10.0	13.5	19.0
	R3	6.5	9.8	13.8	20.0
M4	R1	4.0	6.1	9.5	13.5
	R2	5.0	8.4	11.1	16.2
	R3	5.4	8.0	11.5	16.1
M5	R1	3.0	4.2	7.8	9.0
	R2	3.8	6.9	9.5	14.0
	R3	4.0	7.0	9.5	14.0

ขีดจำกัดสำหรับประสิทธิผลทางพลังงานที่แนะนำนี้ สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบการส่องสว่างไฟถนนตามระดับชั้นของพื้นที่ประเภท M สำหรับถนนที่มีความกว้าง (w) ต่าง ๆ และสมบัติผิวถนน (R) ชนิดต่าง ๆ ตามที่กำหนดได้

จากการคำนวณพบว่า ค่าประสิทธิผลทางพลังงานของระบบส่องสว่างถนน (LPI_3) โดยใช้ค่าความส่องสว่างเป็นเกณฑ์ จะสัมพันธ์กับค่าประสิทธิผลทางพลังงาน (LPI_4) ที่ใช้ค่าความสว่าง เป็นเกณฑ์ คือ ขึ้นอยู่กับ ค่าสัมประสิทธิความส่องสว่างเฉลี่ย Qo ซึ่งเป็นคุณสมบัติของการสะท้อนแสงของผิวหน้าถนน

7.3 ทางเลือกในการปรับปรุงสมรรถนะระบบส่องสว่างถนนเพื่อเพิ่มศักยภาพในการประหยัดพลังงาน

1) การเพิ่มประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้า การปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานขั้นแรกและได้ผลสูงมาก คือการไม่ใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำ เช่น หลอดไอปรอทความดันสูง (40 – 55 lm/W) ที่ติดตั้งอยู่ในตัวโคมที่ติดตั้งแล้วหรือในสต็อค การเปลี่ยนโดยใช้หลอดเอชไอดีชนิดอื่น เช่น หลอดเมทัลฮาไลด์ (75 - 120 lm/W) หรือหลอดโซเดียมความดันสูง (80 - 150 lm/W) ไม่สามารถทำได้ง่าย เพราะต้องเปลี่ยนบัลลาสต์ให้เข้ากับหลอด และต้องใช้อิกนิเตอร์จุดหลอดด้วย
2) การใช้หลอดเอชไอดีที่พัฒนาใหม่ แทนหลอดเอชไอดีแบบเก่า เช่น หลอดเซรามิคเมทัลฮาไลด์ (110 lm/W) หรือหลอดโซเดียมความดันสูงแบบใหม่ (120 lm/W)
3) การเพิ่มประสิทธิภาพของบัลลาสต์ การใช้บัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ ซึ่งใช้ลวดตัวนำโตขึ้น แกนเหล็กโตขึ้นและเป็นแผ่นเหล็กซิลิกอนที่เกรดสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของบัลลาสต์สูงขึ้น (มีการสูญเสียในตัวบัลลาสต์ลดลง)
4) การเพิ่มแฟคเตอร์การบำรุงรักษาของโคมไฟถนน โคมไฟถนนที่มีฝุ่นและแมลงเข้าได้ง่ายมีค่าแฟคเตอร์การบำรุงรักษาต่ำและมีชั้น IP ไม่สูง ควรใช้โคมไฟถนนชั้น IP65 และใช้เทคโนโลยีการทำความสะอาดตัวเองที่ผิวด้านนอกของฝาครอบ
5) การเพิ่มประสิทธิภาพออปติคส์และประสิทธิผลของโคมไฟฟ้า โดยการใช้แต่หลอดไฟฟ้ารูปทรงกระบอกไส

   การใช้แต่หลอดไฟฟ้ารูปทรงกระบอกไส ทำให้ขนาดของพื้นที่ส่องแสงของหลอดไฟฟ้าเล็กลง ประสิทธิภาพออปติคส์และแฟคเตอร์การใช้ประโยชน์แสงสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้หลอดไฟฟ้าทรงบอลลูนฉาบด้วยสารฟอสเฟอร์ ตัวอย่างของหลอดไฟฟ้าชนิดนี้ได้แก่ หลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดเซรามิคเมทัลฮาไลด์
6) การเพิ่มแฟคเตอร์การใช้ประโยชน์แสง และลดการกระจายแสงในทิศทางของมุมสูงกว่า 90^{O} จากแนวดิ่งลง ใช้โคมไฟถนนแบบลำตัวมี ครอบแก้วไสและมีฝาครอบสะท้อนแสงด้านบนแทนโคมไฟแบบฝาครอบแบบทรงกลมกระจายแสง
7) การประหยัดพลังงานด้วยการใช้บัลลาสต์หรี่ไฟแบบกำลังไฟฟ้าหลายระดับ

   บัลลาสต์หรี่ไฟมีทั้งแบบบัลลาสต์แกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้หรี่ไฟเพื่อลดความส่องสว่างหรือความสว่างเมื่อการจราจรบนถนนลดลง ให้เป็นไปตามเกณฑ์การส่องสว่างในบทที่ 3

ภาคผนวก ก :
เกณฑ์การส่องสว่างไฟถนน

ตารางที่ ก.1 เกณฑ์การส่องสว่างไฟถนนของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท

ประเภทถนน	ความสว่างเฉลี่ยในแนวนอนต่ำสุด (lx)		
	พื้นที่กลางเมือง (Central – Urban Areas)	พื้นที่ในเมือง (Sub – Urban Areas)	พื้นที่ชนบท (Rural Areas)
มอเตอร์เวย์	21.5	15.0	10.75
ทางแยก	21.5	21.5	15.0
ทางสายหลัก	21.5	13.0	9.7
ทางสายรอง	13.0	9.7	6.5
ทางสายท้องถิ่น	9.7	6.5	2.1

ความสม่ำเสมอของความสว่าง Emin/Eav $\geq$ 1/2.5 และ Emin/Emax $\geq$ 1/6

ตารางที่ ก.2 เกณฑ์การให้แสงสว่างสำหรับไฟถนน ของกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย

ประเภทถนน	**ความสว่างเฉลี่ยวัดในแนวระดับต่ำสุด (lx)**
1. ถนนสายหลัก	15
2. ถนนสายรอง	10
3. ทางแยก	22
4. วงเวียนที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร	15

ตารางที่ ก.3 ระดับชั้นการส่องสว่างสำหรับถนนประเภทต่าง ๆ ของ CIE Publ. 115

รายละเอียดของถนน	ระดับชั้นการส่องสว่าง
ถนนความเร็วสูงมีช่องทางเดินรถแยก, ไม่มีทางแยกระดับเดียวกัน และมีการควบคุมทางเข้า-ออกอย่างสมบูรณ์; ทางหลวงพิเศษ, ทางด่วน ความหนาแน่นจราจร และ ความซับซ้อนของผังถนน :	
สูง	M1
กลาง	M2
ต่ำ	M3
ถนนความเร็วสูง, ถนนช่องทางเดินรถคู่ การควบคุมจราจร และการแยก ของคนใช้ถนนแบบต่าง ๆ :	
เลว	M1
ดี	M2
เส้นทางจราจรสำคัญในเมือง, ถนนรัศมี (Radial roads), ถนนย่อยชุมชน การควบคุมจราจรและการแยกของคนใช้ถนนแบบต่าง ๆ :	
เลว	M2
ดี	M3
ถนนต่อเข้าด้วยกัน (Connecting road) สำคัญน้อย, ถนนย่อยท้องถิ่น, ถนนสายเอกเข้าบ้าน ถนนซึ่งเข้าสู่ที่ดินโดยตรงและต่อกับถนนต่อเข้าด้วยกัน การควบคุมจราจรและการแยกของคนใช้ถนนแบบต่าง ๆ :	
เลว	M4
ดี	M5

ตารางที่ ก.4 ข้อกำหนดการส่องสว่างสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์บนพื้นฐาน
ทางความส่องสว่างของพื้นผิวถนนของ CIE Publ. 115

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ขอบเขตการใช้งาน				
	ถนน ทั้งหมด	ถนน ทั้งหมด	ถนน ทั้งหมด	ถนนมีทางตัด น้อยมากหรือไม่มี	ถนนมีทางเท้า ไม่สว่างที่ P1 ถึง P4
	$L_{av}(cd.m^{-2})$	U_o	TI (%)	U_l	SR
M1	2.0	0.4	10	0.7	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.7	0.5
M3	1.0	0.4	10	0.5	0.5
M4	0.75	0.4	15	(ไม่ต้องการ)	(ไม่ต้องการ)
M5	0.5	0.4	15	(ไม่ต้องการ)	(ไม่ต้องการ)

ตารางที่ ก.5 ตัวอย่างวิธีการเลือก ระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M ของ CIE Publ. 115

ค่าเฉพาะ	ทางเลือก	ค่าให้น้ำหนัก WV	ตัวอย่าง WV ค่าที่เลือก
ความเร็ว	สูง > 60 km/h	1	**1**
	ปานกลาง > 30 ถึง ≤ 60 km/h	0	
ปริมาณจราจร	สูงมาก ADT ≥ 40,000	1	**1**
	สูง ≥ 20,000 ถึง <40,000	0.5	
	ปานกลาง≥ 10,000 ถึง< 20,000	0	
	ต่ำ ≥ 4,000 ถึง <10,000	-0.5	
	ต่ำมาก < 4,000	-1	
สัดส่วนจราจร	ผสม (ยานยนต์มีเปอร์เซนต์ต่ำ)	1	**0**
	ผสม จักรยาน	0.5	
	มีแต่ยานยนต์อย่างเดียว	0	
การแยกส่วนช่องทางเดินรถ	ไม่มี	1	**0**
	มี	0	
ความหนาแน่นของทางแยก	สูง < 3 / km	1	**0**
	ปานกลาง ≥ 3 / km	0	
รถจอดริมถนน	มี	1	**0**
	ไม่มี	0	
ความส่องสว่างโดยรอบ	สูงมาก พื้นที่ศูนย์กลางนคร	1	**0**
	สูง	0.5	
	ปานกลาง พื้นที่ในเมือง	0	
	ต่ำ	-0.5	
	ต่ำมาก พื้นที่ชนบท	-1	
การนำทางการมองเห็น, การควบคุมจราจร	เลว	0.5	**0**
	ดี	0	
	ดีมาก	-0.5	
M = 6 – SWV		ผลรวมของ ค่าให้น้ำหนัก	**SWV = 2**
		ผลลัพธ์	**M4**

ตารางที่ ก.6 ระดับชั้นการส่องสว่าง สำหรับมอเตอร์เวย์และเส้นทางจราจรของ CEN/TR 13201-1

ลักษณะตามลำดับชั้น	รายละเอียดทั่วไป		ปริมาณรถผ่านเฉลี่ยต่อวัน (ADT)	ระดับชั้นการส่องสว่าง
มอเตอร์เวย์	ทางแยกต่างระดับที่ซับซ้อนของช่องทางเดินรถหลัก		≤ 40,000	ME1
			> 40,000	ME1
	ช่องทางเดินรถหลักที่มีทางแยกต่างระดับ < 3km		≤ 40,000	ME2
			> 40,000	ME1
	ช่องทางเดินรถหลักที่มีทางแยกต่างระดับ < 3km		≤ 40,000	ME2
			> 40,000	ME2
	ช่องทางเดินรถฉุกเฉิน			ME4a
ทางยุทธศาตร์	ถนนหลักสายใหญ่, > 40 kmph มีชุมทางไม่มาก และการจราจรที่มีคนเดินเท้าน้อย		≤ 15,000	ME3a
			> 15,000	ME2
ถนนจ่ายสายหลัก	ถนนสำคัญในเมือง, 40 kmph หรือน้อยกว่า จำกัดการจอดรถ		≤ 15,000	ME3a
			> 15,000	ME2
ถนนจ่ายสายรอง	ถนนระดับชั้น A และ B, มีเส้นทางเดินรถโดยสารการจราจรท้องถิ่น ชุมทางหลายแห่ง การจราจรที่มีคนเดินเท้า, ความเร็วจำกัด 30 kmph	E1/E2	≤ 7,000	ME4a
			7,000 to 15,000	ME3b
			> 15,000	ME3a
		E3/E4	≤ 7,000	ME3c
			7,000 to 15,000	ME3b
			> 15,000	ME2
ถนนเชื่อมต่อ	โครงข่ายถนนจ่ายสายรอง ที่มีทางเข้าออกและชุมทาง ไม่จำกัดการจอดรถ	E1/E2	Any	ME5
		E3	Any	ME4b or S2
			มีคนเดินเท้าและรถจักรยาน	S1

ตารางที่ ก.7 เกณฑ์การส่องสว่างไฟถนนของระดับชั้นการส่องสว่าง ME ของ EN 13201-2

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ความส่องสว่างพื้นผิวถนนของช่องทางเดินรถหลักสำหรับภาวะพื้นผิวถนนแห้ง			ความจ้าตาแบบเสียความสามารถ	การส่องสว่างของบริเวณแวดล้อม
	L in cd/m^2 (คงไว้ต่ำสุด)	U_o (ต่ำสุด)	U_l (ต่ำสุด)	TI in % (สูงสุด)	SR (ต่ำสุด)
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ME3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
ME3b	1.0	0.4	0.6	15	0.5
ME3c	1.0	0.4	0.5	15	0.5
ME4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
ME4b	0.75	0.4	0.5	15	0.5
ME5	0.5	0.35	0.4	15	0.5
ME6	0.3	0.35	0.4	15	-

ตารางที่ ก.8 ข้อกำหนดสำหรับการส่องสว่างถนนของ ANSI/IESNA RP-8-00

การจัดประเภทถนนพื้นที่		ฟรีเวย์		ทางด่วน			ถนนใหญ่			ถนนรวม			ท้องถิ่น		
		ชั้น A	ชั้น B	ย่านธุรกิจ	ระหว่างกลาง	ที่อยู่อาศัย	ย่านธุรกิจ	ระหว่างกลาง	ที่อยู่อาศัย	ย่านธุรกิจ	ระหว่างกลาง	ที่อยู่อาศัย	ย่านธุรกิจ	ระหว่างกลาง	ที่อยู่อาศัย
ความส่องสว่างเฉลี่ย L_{av} (cd/m^2)		0.6	0.4	1.0	0.8	0.6	1.2	0.9	0.6	0.8	0.6	0.4	0.6	0.5	0.3
ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง L_{av}/L_{min}		3.5		3	3	3.5	3	3	3.5	3	3.5	4	6		
ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง L_{max}/L_{min}		6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	8	10		
อัตราส่วนความส่องสว่างม่านตา (สูงสุด) L_v/L_{av}		0.3		0.3			0.3			0.4			0.4		
ความสว่างเฉลี่ยคงไว้, lux															
การจัดประเภทผิวถนน	R1	6	4	10	8	6	12	9	6	8	6	4	6	5	3
	R2 & R3	9	6	14	12	9	17	13	9	12	9	6	9	7	4
	R4	8	5	13	10	8	15	11	8	10	8	5	8	6	4
ความสม่ำเสมอของความสว่าง E_{av}/E_{min}		3		3			3			4			6		

หมายเหตุ :

L_v = ความส่องสว่างม่านตา (Veilling Luminance)

R1 = ถนนพื้นผิวขาว กระจายแสง เช่น คอนกรีต(Light diffuse road (eg. concrete))

R2 = กระจายแสงและเป็นมัน(Diffuse & Specular) เช่น ผิวแอสฟัลท์มีหินบดสีขาวผสมในหินบด (eg. asphalt with artificial brightener in aggregate),

R3 = เป็นมันเล็กน้อย slightly specular, typical highways

R4 = เป็นมันมาก ผิวเรียบมาก mostly specular, very smooth texture

ตารางที่ ก.9 ข้อกำหนดสำหรับการส่องสว่างถนนของ **AS/NZS** 1158.1.1: 1997

การจัดประเภทการส่องสว่าง		V1 (ก่อนนี้ A1)	V2	V3 (ก่อนนี้ A2)	V4	V5 (ก่อนนี้ A3)
การใช้งาน หมายเหตุ: สำหรับการใช้งานทุกประเภทอัตราส่วนของแสงไม่ใช้ประโยชน์ที่ส่องขึ้นด้านบนต้องไม่เกิน 6%		ทางหลวงหรือทางสายหลักในใจกลางเมืองและย่านธุรกิจในเมืองหลวงและต่างจังหวัดและพื้นที่อื่น ๆ ที่มีการจราจรหนาแน่น	ฟรีเวย์, มอเตอร์เวย์ และทางด่วนที่ประกอบด้วย ไฮเวย์ที่มีการแยกจราจรและไม่มีทางเข้าออกระหว่างทางแยกและทางแยกยกระดับ ทางสายหลักที่มีการจราจรจากภาคหนึ่งไปยังอีกภาคหนึ่ง และเป็นทางคมนาคมหลักสำหรับการเคลื่อนตัวของจราจร		ทางสายหลักและสายย่อยซึ่งต่อเข้ากับทางสายหลักหรือสายเมนไปยังพื้นที่พัฒนาในภาคต่าง ๆ หรือทางที่มีการจราจรจากภาคหนึ่งไปยังอีกภาคหนึ่ง	
ค่าเทคนิคทางแสง						
ความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุด L(cd/m^2)	ค่าเริ่มต้น	2.0	1.5	1.0	0.75	0.5
	ค่าคงไว้	1.5	1.0	0.75	0.5	0.35
ความสม่ำเสมอทั้งหมดต่ำสุด U_0		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
ความสม่ำเสมอตามยาวต่ำสุด UI		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยนสูงสุด TI(%)		20	20	20	20	20
ความสว่างรอบข้างต่ำสุด ES(%)		50	50	50	50	50
ความสว่างต่ำสุด ที่ทางแยกE_{min}, lux	ค่าเริ่มต้น	20	15	10	7.5	5
	ค่าคงไว้	15	10	7.5	5	3.5
ความสม่ำเสมอของความสว่างสูงสุด E_{max}/E_{min}		8	8	8	8	8

สมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน **:**

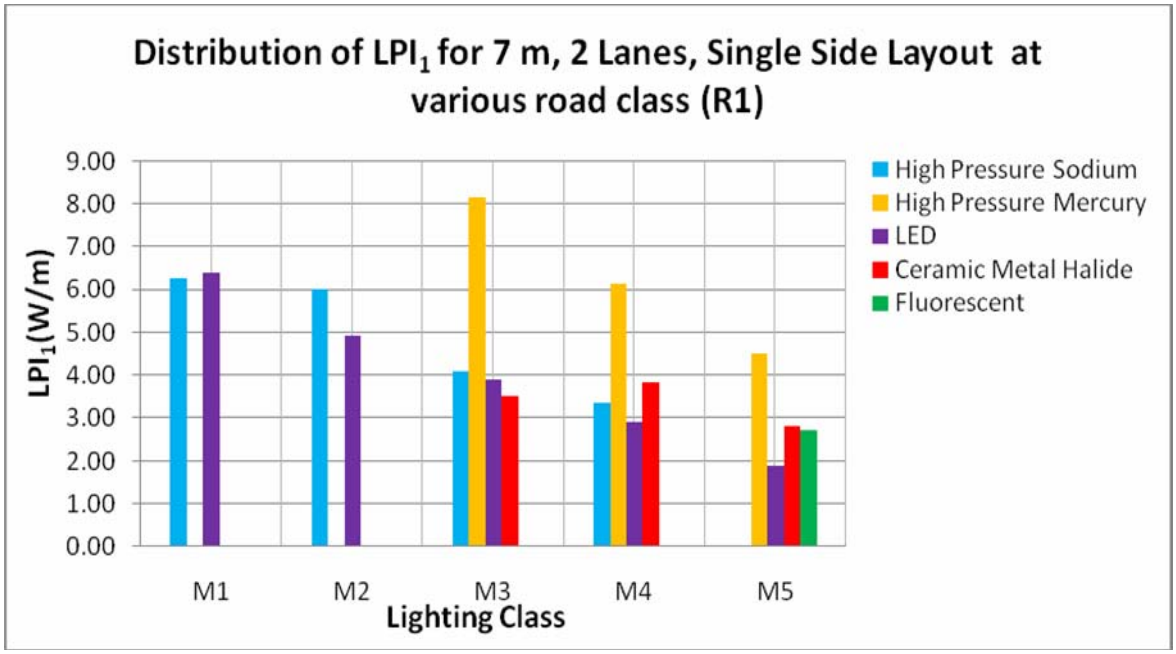
R1 = ถนนพื้นผิวขาว กระจายแสง เช่น คอนกรีต(Light diffuse road (eg. concrete))

R2 = กระจายแสงและเป็นมัน(Diffuse & Specular) เช่น ผิวแอสฟัลท์มีหินบดสีขาวผสมในหินบด

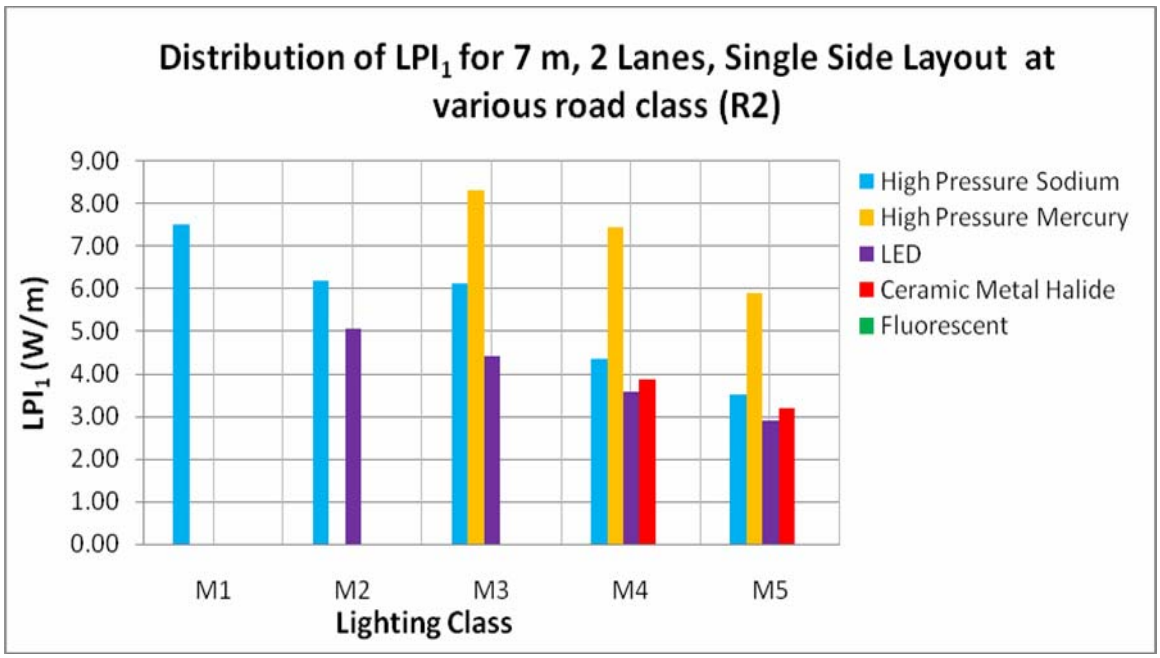
R3 = เป็นมันเล็กน้อย slightly specular, typical highways

R4 = เป็นมันมาก ผิวเรียบมาก

ภาคผนวก ข :
ตัวอย่างดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างของไฟถนน



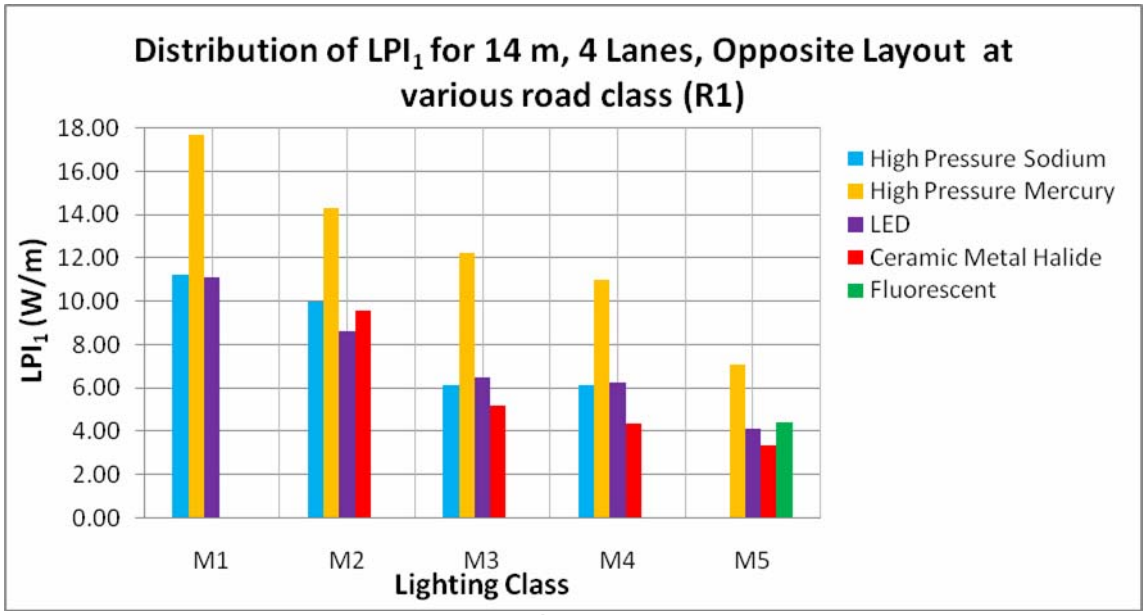
รูปที่ ข.1 (ก)



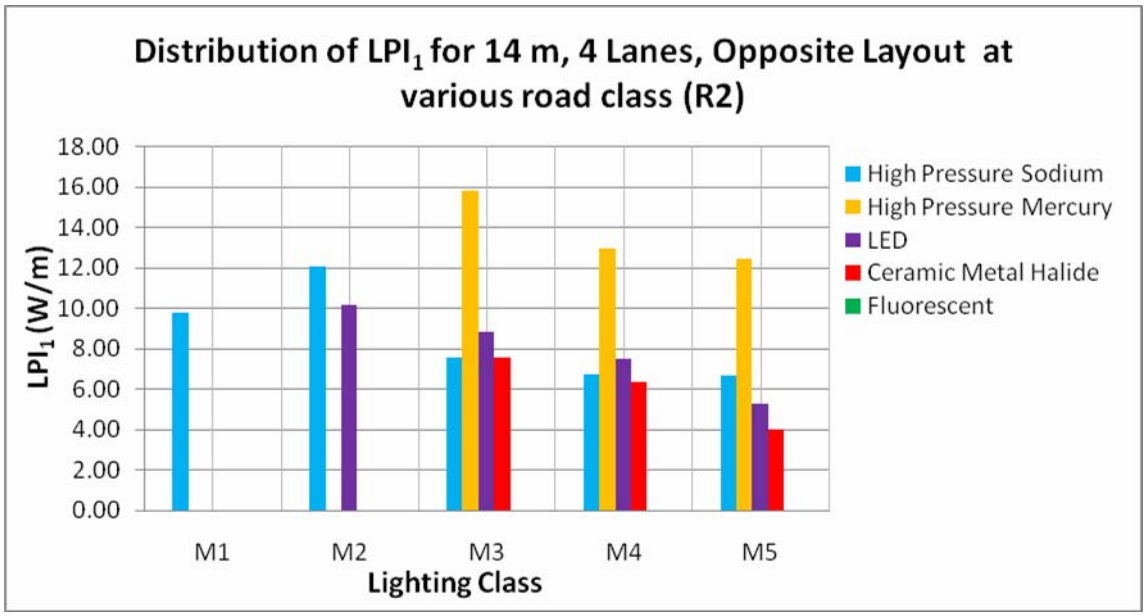
รูปที่ ข.1 (ข)

รูปที่ ข.1 (ค)

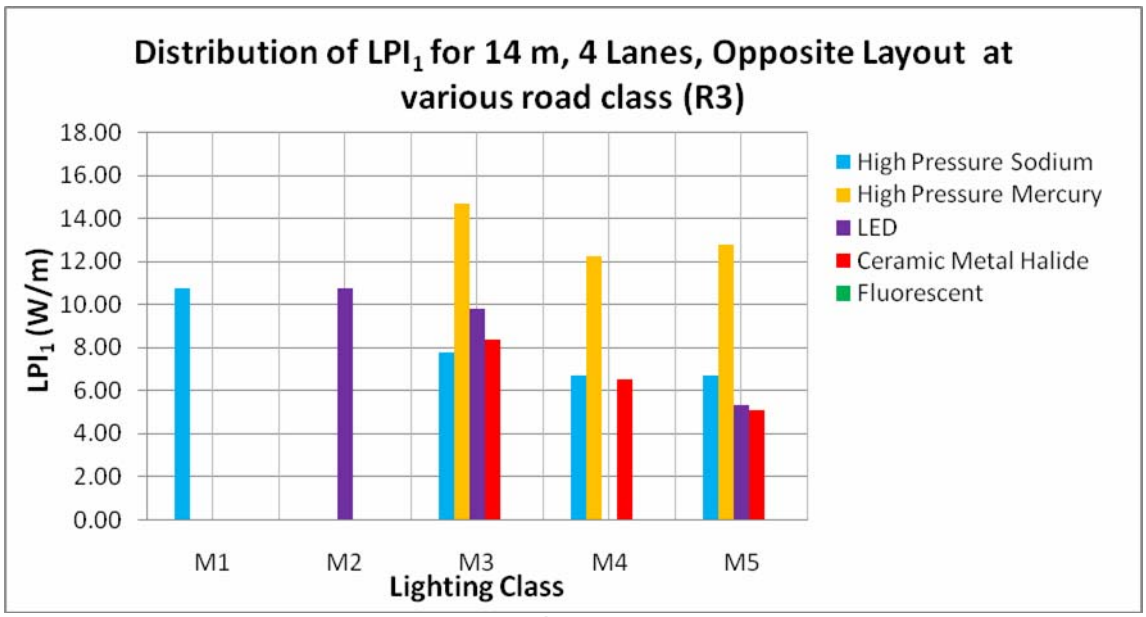
รูปที่ ข.1 (ก,ข และ ค) ตัวอย่างความสัมพันธ์ของค่า LPI_1 [W/m] ถนนกว้าง(w) 7 m 2 เลน ผิวถนน (R1, R2, R3) กับระดับชั้นการส่องสว่าง (M1-M5) การติดตั้งโคมไฟบนถนนแบบ Single Side



รูปที่ ข.2 (ก)

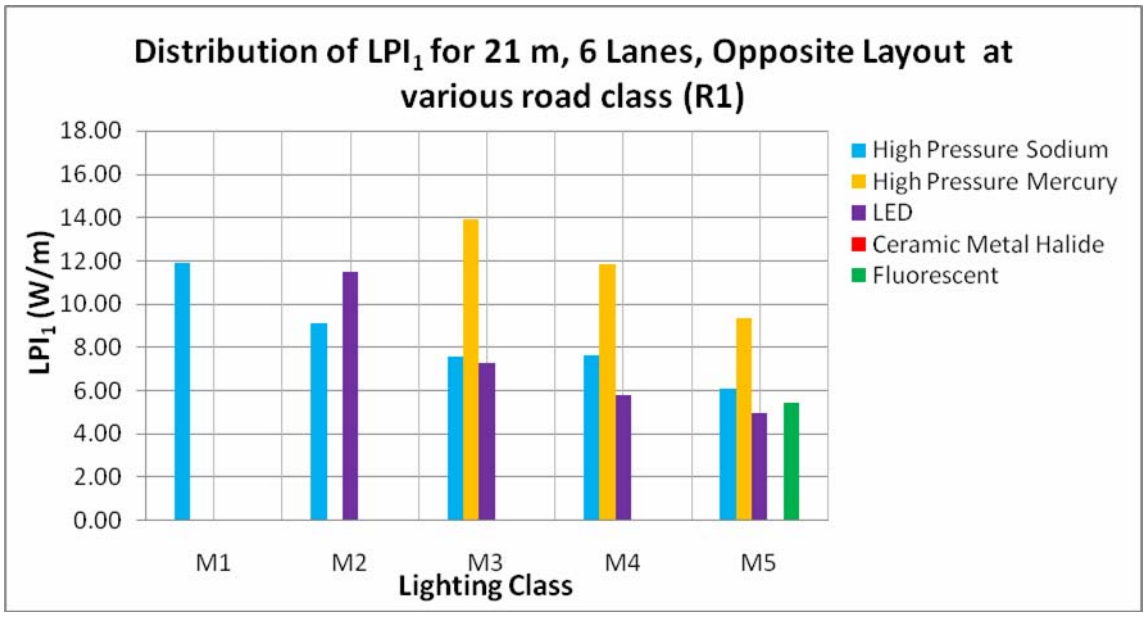


รูปที่ ข.2 (ข)

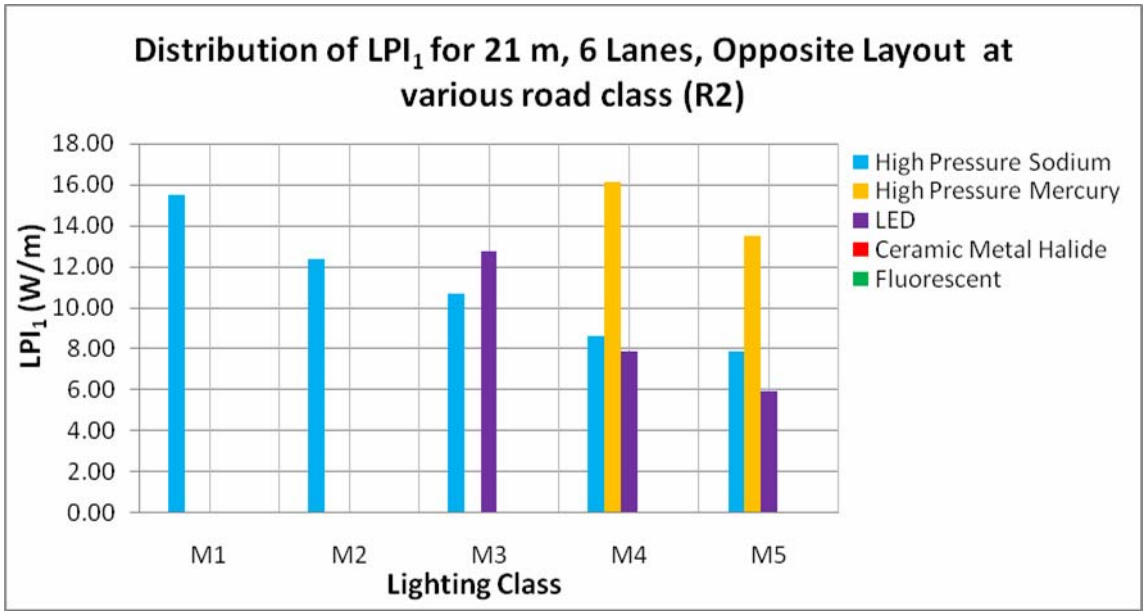


รูปที่ ข.2 (ค)

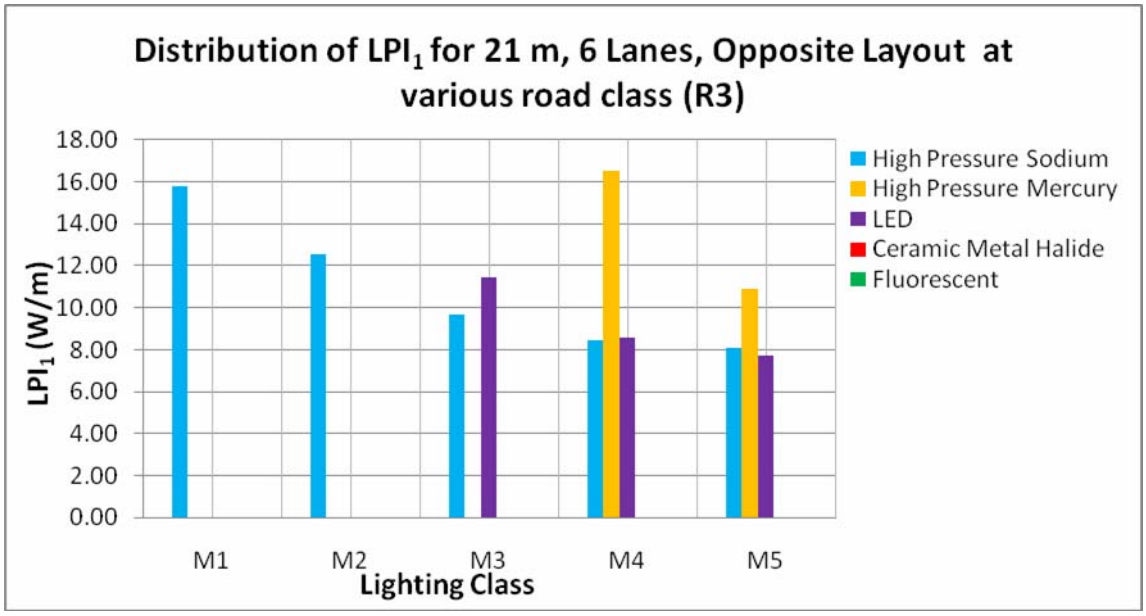
รูปที่ ข.2 (ก,ข และ ค) ตัวอย่างความสัมพันธ์ของค่า LPI_1 [W/m] ถนนกว้าง(w) 14 m 2 เลน ผิวถนน (R1, R2, R3) กับระดับชั้นการส่องสว่าง (M1-M5) การติดตั้งโคมไฟบนถนนแบบ Oposite



รูปที่ ข.3 (ก)

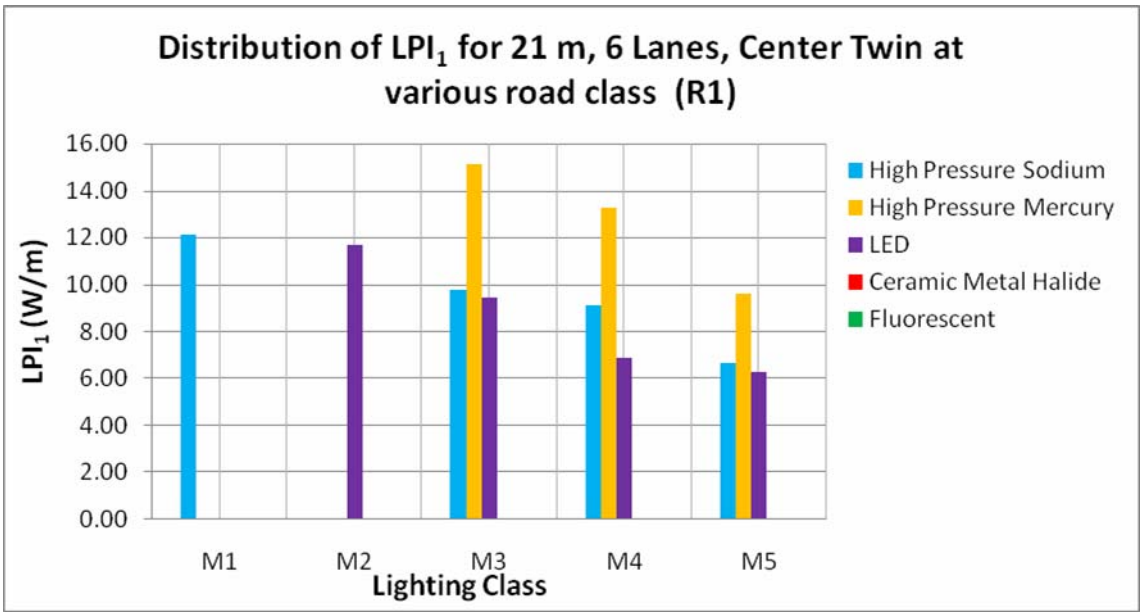


รูปที่ ข.3 (ข)

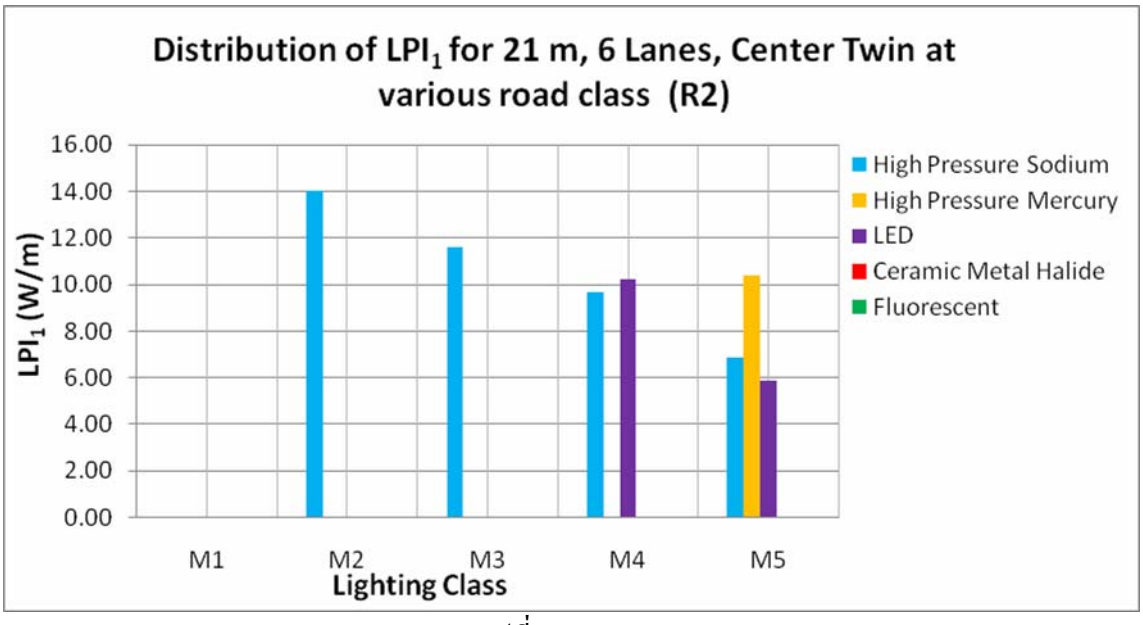


รูปที่ ข.3 (ค)

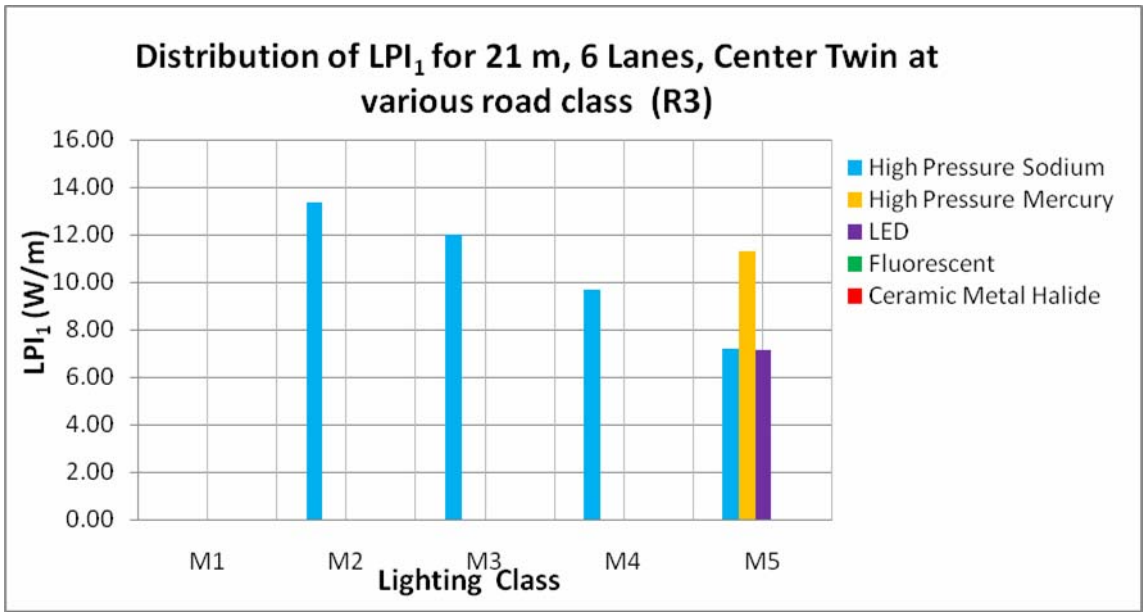
รูปที่ ข.3 (ก,ข และ ค) ตัวอย่างความสัมพันธ์ของค่า LPI_1 [W/m] ถนนกว้าง(w) 21m 6 เลน ผิวถนน (R1, R2, R3) กับระดับชั้นการส่องสว่าง (M1-M5) การติดตั้งโคมไฟบนถนนแบบ Oposite



รูปที่ ข.4 (ก)

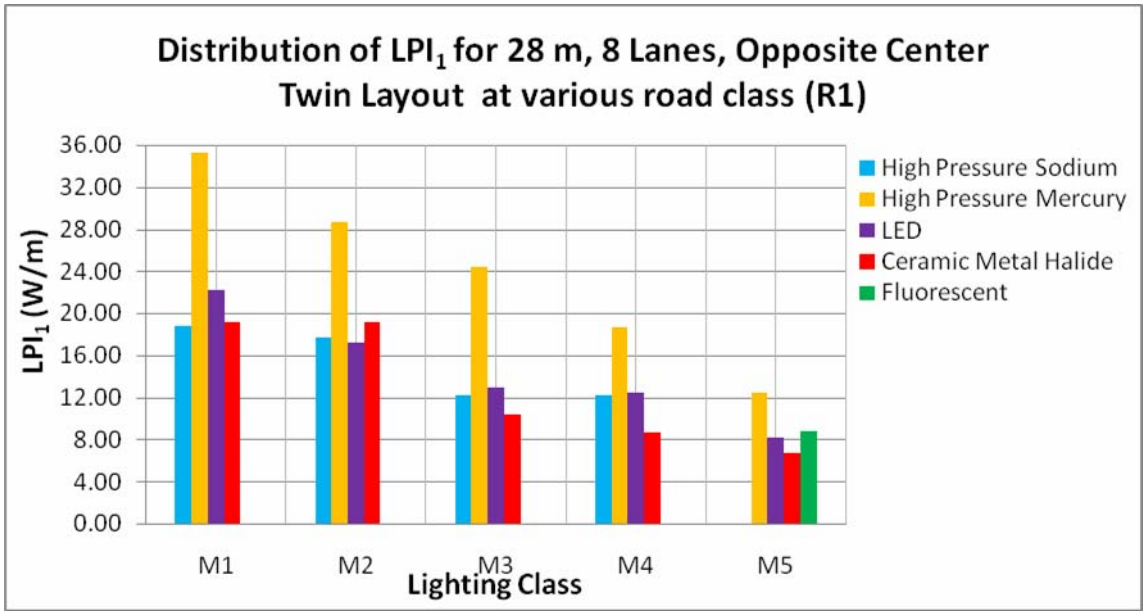


รูปที่ ข.4 (ข)

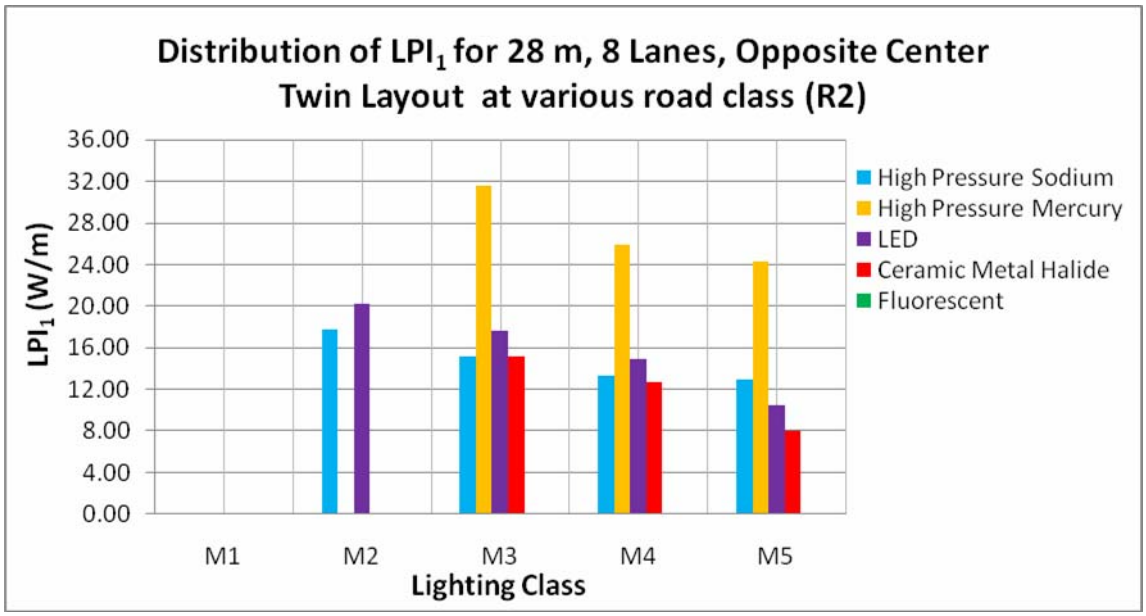


รูปที่ ข.4 (ค)

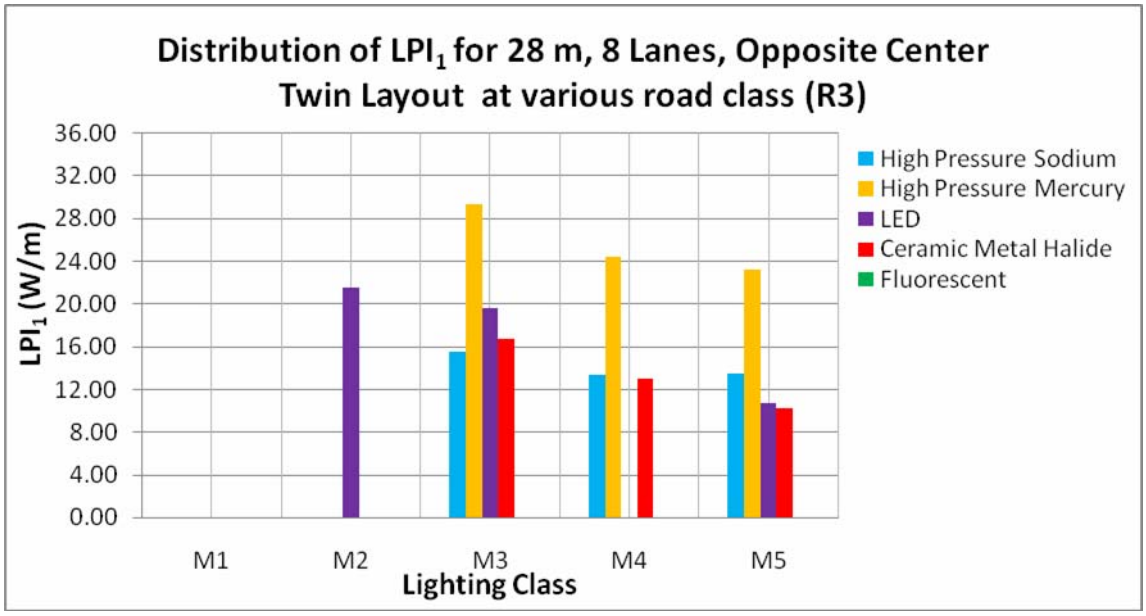
รูปที่ ข.4 (ก,ข และ ค) ตัวอย่างความสัมพันธ์ของค่า LPI_1 [W/m] ถนนกว้าง(w) 21 m 6 เลน ผิวถนน (R1, R2, R3) กับระดับชั้นการส่องสว่าง (M1-M5) การติดตั้งโคมไฟบนถนนแบบ Central Twin



รูปที่ ข.5 (ก)



รูปที่ ข.5 (ข)



รูปที่ ข.5 (ค)

รูปที่ ข.5 (ก,ข และ ค) ตัวอย่างความสัมพันธ์ของค่า LPI_1 [W/m] ถนนกว้าง(w) 28 m 8 เลน ผิวถนน (R1, R2, R3) กับระดับชั้นการส่องสว่าง (M1-M5) การติดตั้งโคมไฟบนถนนแบบ Central - Oposite

ภาคผนวก ค :

คำนิยาม : ประเภทของถนนและทางเดิน และประเภทของพื้นที่

ภาคผนวก ค คำนิยาม: ประเภทของถนนและทางเดิน และประเภทของพื้นที่

(ภาคผนวกนี้ไม่เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ เรื่องแนวทางปฏิบัติด้านประสิทธิผลทางพลังงานของระบบไฟถนนสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์ แต่ให้ไว้เป็นข้อมูลเท่านั้น)

ประเภทของถนนและทางเดิน (Roads and Walkway Classifications)

เอกสารอ้างอิง: Roadway Lighting Design Manual, Minnesota Department of Transportation, 2006

ทางด่วน, ทางหลวงสายใหญ่/หลัก **(Expressways, other Principal Arterial)** มีการแยกส่วนสำหรับการจราจรที่ผ่านตลอดหรือมีการควบคุมทางเข้าเป็นบางส่วน ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปเป็นทางแยกยกระดับที่มีถนนสายหลักตัดผ่าน.

ทางหลวงสายเล็ก/รอง (Minor Arterial) ถนนเชื่อมระหว่างนครและเมืองใหญ่ในพื้นที่ชนบท ถนนเชื่อมระหว่างชุมชนในพื้นที่เมืองแต่ไม่ตัดผ่านชุมชน

ถนนรองรับ (Collector) ถนนรองรับและจ่ายการจราจรระหว่างทางสายหลักและทางท้องถิ่น ถนนเหล่านี้ใช้สำหรับการถ่ายเทจราจรภายในพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่ธุระกิจและพื้นที่อุตสาหกรรม

ถนนท้องถิ่น (Local) ถนนเข้าที่อยู่อาศัย พื้นที่ธุระกิจและพื้นที่อุตสาหกรรม แต่ไม่รวมถึงถนนที่จราจรผ่านตลอด ถ้าเป็นถนนท้องถิ่นที่ยาวจะแบ่งเป็นสองส่วนที่สั้นลง คือ ถนนรองรับและจ่ายการจราจร และถนนเข้าที่อยู่อาศัย

ทางแคบสาธารณะ (Alleys) ทางแคบสาธารณะสำหรับจราจรเข้า- ออกด้านหลังถนนใหญ่

ทางเดินด้านข้าง (Sidewalks) ทางเดินด้านข้างสำหรับคนเดินเท้า อยู่ในเขตถนนสาธารณะที่มีการจราจรด้วยรถยนต์

ทางคนเดิน (Pedestrian Ways) ทางเดินสาธารณะด้านข้าง สำหรับคนเดินเท้าทั่วไป ที่ไม่อยู่ในเขตถนนที่มีการจราจรด้วยรถยนต์ ทางเดินลอยฟ้า (skywalks) และรวมถึง ทางข้ามคนเดิน (pedestrian overpasses), อุโมงค์คนเดิน (pedestrian tunnels) ทางรถจักรยาน (bicycle Lanes)

ประเภทของพื้นที่ (Area classifications)

เอกสารอ้างอิง: Roadway Lighting Design Manual, Minnesota Department of Transportation, 2006

พื้นที่ธุรกิจ (Commercial areas) ส่วนของชุมชนที่มีการพัฒนาทางธุรกิจ มีคนเดินเท้าและมีรถจอดเป็นจำนวนมากในช่วงเวลาทำงาน และรวมพื้นที่ที่มีธุรกิจหนาแน่นที่อยู่ภายนอกและภายในศูนย์กลางชุมชน

พื้นที่กึ่งธุรกิจที่อยู่อาศัย (Intermediate) ส่วนของชุมชนซึ่งอยู่นอกพื้นที่ส่วนในเมือง โดยทั่วไปอยู่ในโซนภายใต้อิทธิพลของการพัฒนาทางธุรกิจ และอุตสาหกรรม มีคนเดินเท้าและมีรถจอดเป็นจำนวนปานกลางในช่วงเวลากลางคืน

พื้นที่ที่อยู่อาศัย (Residential) พื้นที่อยู่อาศัยหรือที่อยู่อาศัย ผสมธุรกิจ มีคนเดินเท้าและมีรถจอดเป็นจำนวนน้อย รวมพื้นที่บ้านอยู่อาศัยเป็นหลัง ๆ ทาวเฮาส์และแฟล็ต

ประเภทของทางหลวงของประเทศไทย

ทางหลวงในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ตามพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติทางหลวง (ฉบับที่2) พ.ศ. 2549 ได้แก่

ทางหลวงพิเศษ คือ ทางหลวงที่จัดหรือทำไว้เพื่อให้การจราจรผ่านได้ตลอดรวดเร็วเป็นพิเศษ ตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดและได้ลงทะเบียนไว้เป็นทางหลวงพิเศษโดยกรมทางหลวง เป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ขยาย บูรณะและบำรุงรักษา รวมทั้งควบคุมให้มีการเข้าออกได้เฉพาะ โดยทางเสริมที่เป็นส่วนหนึ่งของทางหลวงพิเศษตามที่กรมทางหลวงจัดทำขึ้นไว้เท่านั้น อธิบดีกรมทางหลวงเป็นผู้จัดให้ลงทะเบียนไว้ ณ กรมทางหลวง

ทางหลวงแผ่นดิน คือ ทางหลวงสายหลักที่เป็นโครงข่ายเชื่อมระหว่างภาค จังหวัด อำเภอ ตลอดจนสถานที่ที่สำคัญ ที่กรมทางหลวงเป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ขยาย บูรณะและบำรุงรักษา และได้ลงทะเบียนไว้เป็นทางหลวงแผ่นดิน อธิบดีกรมทางหลวงเป็นผู้จัดให้ลงทะเบียนไว้ ณ กรมทางหลวง

ทางหลวงชนบท คือ ทางหลวงที่กรมทางหลวงชนบทเป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ขยาย บูรณะและบำรุงรักษา และได้ลงทะเบียนไว้เป็นทางหลวงชนบท อธิบดีกรมทางหลวงชนบทเป็นผู้จัดให้ลงทะเบียนไว้ ณ กรมทางหลวงชนบท

ทางหลวงท้องถิ่น คือ ทางหลวงที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ขยาย บูรณะและบำรุงรักษา และได้ลงทะเบียนไว้เป็นทางหลวงท้องถิ่น ผู้ว่าราชการจังหวัดเป็นผู้จัดให้ลงทะเบียนไว้ ณ ศาลากลางจังหวัด

ทางหลวงสัมปทาน คือ ทางหลวงที่รัฐบาลได้ให้สัมปทานตามกฎหมายว่าด้วยทางหลวงที่ได้รับสัมปทาน และได้ลงทะเบียนไว้เป็นทางหลวงสัมปทาน อธิบดีกรมทางหลวงเป็นผู้จัดให้ลงทะเบียนไว้ ณ กรมทางหลวง

นอกจากทางหลวง 5 ประเภท ดังกล่าวมีหน่วยงานอื่นที่รับผิดชอบในการก่อสร้าง และบูรณะทางด่วน ได้แก่ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย และการดำเนินการก่อสร้างทางเฉพาะกิจของหน่วยงานต่าง ๆ

ภาคผนวก ง :
คำแนะนำเชิงอธิบาย
ภาวะถนนเปียก

ภาคผนวก ง คำแนะนำเชิงอธิบาย (Explanatory comment)

ภาวะถนนเปียก (Wet road condition)

ก) ข้อกำหนดในการมองเห็น (ตารางที่ 3.1) เป็นการกำหนดการส่องสว่างถนนในภาวะแห้ง ซึ่งสามารถทำได้ง่ายที่สุด เมื่อผิวถนนเปียกแฉะ จะเกิดการสะท้อนแสงโดยตรงของผิวถนนเปียกที่ส่องสว่างไสวมากเป็นหย่อม ทำให้ความส่องสว่างของผิวถนนมีความสม่ำเสมอลดระดับลงอย่างรุนแรง และความจ้าตาเพิ่มขึ้น มีผลลัพธ์ทางลบต่อทัศนวิสัยส่วนใหญ่ของถนน และอาจมีผลต่อความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน

ข) วิธีแก้ไขสมรรถนะทางแสงในภาวะถนนเปียกให้ดีขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนการติดตั้งที่ออกแบบสำหรับถนนในภาวะแห้ง และการใช้ผิวถนนที่มีคุณสมบัติสะท้อนแสงดีขึ้น วิธีแก้ไขเช่นนี้จะทำให้ค่าติดตั้งระบบไฟถนนและค่าก่อสร้างถนนสูงขึ้น

ค) ผิวถนน ชั้น R1 จะมีชั้นความมันผิวที่สะท้อนแสงโดยตรง (Specularity)ต่ำและให้การกระจายความส่องสว่างดีที่สุด ส่วนชั้น R2 และ R3 มีความมันผิวที่สะท้อนแสงโดยตรง และสะท้อนแสงแบบกระจายเท่า ๆ กัน และมีผลทำให้การกระจายความส่องสว่างดีเช่นกัน ชั้น R4 จะมีชั้นความมันผิวที่สะท้อนแสงโดยตรง (Specularity) สูง ในภาวะเปียกคุณสมบัติผิวถนนชั้น R1, R2, R3 และ R4 จะสอดคล้องกับชั้น W1, W2, W3 และ ชั้น W4 และมีความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของผิวถนนที่ลดลงมาก

ง) ค่าความสม่ำเสมอรวมของ**ความส่องสว่าง**ถนน (U_O) U_0 ในภาวะเปียกต้องมากกว่า 0.15 สำหรับการติดตั้งโคมไฟถนนที่เลือกใช้ตามเกณฑ์คุณภาพสำหรับระดับชั้นการส่องสว่างที่เหมาะสมในภาวะแห้ง การคำนวณค่า U_0 ในภาวะเปียก ดู CIE 47-1979

จ) การออกแบบไฟถนนในพื้นที่ ที่มีพื้นผิวถนนเปียกหรือชื้นเป็นส่วนใหญ่ในรอบปี ต้องเลือกการกระจายแสงของโคมไฟถนนที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นั้น ๆ เพื่อลดความจ้าตาให้เหลือน้อยที่สุด และให้ค่าติดตั้งระบบไฟถนนไม่สูงเกินไป

ฉ) ดังนั้นถนนในพื้นที่โซนร้อนและร้อนชื้นจะมีผิวถนนแห้งเป็นส่วนใหญ่ตลอดปี และการเลือกใช้ผิวถนน ชั้น R1, R2 และ R3 ซึ่งให้คุณสมบัติการสะท้อนแสงในภาวะเปียกค่อนข้างดี จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการหาค่า U_0 อย่างละเอียดเป็นหลักในการออกแบบ

ภาคผนวก จ :

ตัวอย่างการเปรียบเทียบประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนน

ภาคผนวก จ : ตัวอย่างการเปรียบเทียบประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนน

การวิเคราะห์เปรียบเทียบได้ทำเป็นตัวอย่างไว้ 3 กรณี

กรณีที่ 1 (ตัวอย่างที่ 1) ดำเนินการกับถนนกว้าง 7 เมตร (จำนวน 2 เลน) โดยออกแบบที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M1

- หากออกแบบ แบบปัจจุบัน ที่มุมเอียง 15 องศา จะได้ค่าความสว่างเฉลี่ย 29 ลักซ์ ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.4 (ผ่านเกณฑ์ 0.4) [ถ้าปรับมุมเอียงเป็น 0 องศา จะได้ค่าความสว่างเฉลี่ย 31 ลักซ์ ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.502 (ผ่านเกณฑ์ 0.4)] ได้ค่า LPI_1 7.72 W/m ไม่ผ่านเกณฑ์ 7.1 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R1 แต่ผ่านเกณฑ์ 9.0 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R3 เมื่อวิเคราะห์สมรรถนะการส่องสว่างตามเกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.1 พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์ด้านความสม่ำเสมอตามยาว (Ul) และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน TI ทั้งผิวถนนประเภท R1 และ R3
- หากออกแบบ แบบใหม่ โดยใช้เกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.1 จะสามารถเพิ่มระยะห่างของเสาได้ และสมรรถนะการส่องสว่างจะผ่านเกณฑ์ที่ระบุทุกรายการ ได้ค่า LPI_1 6.28 W/m ผ่านเกณฑ์ 7.1 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R1 ได้ผลประหยัดพลังงาน 18.6 % และได้ค่า LPI_1 6.75 W/m ผ่านเกณฑ์ 9.0 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R3 ได้ผลประหยัดพลังงาน 12.6 %

กรณีที่ 2 (ตัวอย่างที่ 2) ดำเนินการกับถนนกว้าง 14 เมตร (จำนวน 2 เลนต่อทิศทาง และมีเกาะกลางถนนกว้าง 3 เมตร) โดยออกแบบที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M1

- หากออกแบบ แบบปัจจุบัน ที่มุมเอียง 15 องศา จะได้ค่าความสว่างเฉลี่ย 38 ลักซ์ ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.42 (ผ่านเกณฑ์ 0.4) ได้ค่า LPI_1 15.44 W/m ไม่ผ่านเกณฑ์ 12.3 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R1 และไม่ผ่านเกณฑ์ 13.0 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R3 เมื่อวิเคราะห์สมรรถนะการส่องสว่างตามเกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.1 พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์ด้านความสม่ำเสมอตามยาว (Ul) สำหรับผิวถนนประเภท R1 และไม่ผ่านเกณฑ์ด้านส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน TI ทั้งผิวถนนประเภท R1 และ R3
- หากออกแบบ แบบใหม่ โดยใช้เกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.1 จะสามารถเพิ่มระยะห่างของเสาได้ และสมรรถนะการส่องสว่างจะผ่านเกณฑ์ที่ระบุทุกรายการ ได้ค่า LPI_1 13.17 W/m ไม่ผ่านเกณฑ์ 12.3 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R1 แต่ได้ผลประหยัดพลังงาน 14.7 % และได้ค่า LPI_1 11.74 W/m ผ่านเกณฑ์ 13.0 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R3 และได้ผลประหยัดพลังงาน 24.0 %

กรณีที่ 3 (ตัวอย่างที่ 3) ดำเนินการกับถนนกว้าง 7 เมตร (จำนวน 2 เลน) โดยออกแบบที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M1 ในการออกแบบ แบบปัจจุบัน และออกแบบที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M3 ในการออกแบบ แบบใหม่

- หากออกแบบ แบบปัจจุบัน ที่มุมเอียง 15 องศา จะได้ค่าความสว่างเฉลี่ย 29 ลักซ์ ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.40 (ผ่านเกณฑ์ 0.4) [ถ้าปรับมุมเอียงเป็น 0 องศา จะได้ค่าความสว่างเฉลี่ย 31 ลักซ์ ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.502 (ผ่านเกณฑ์ 0.4)] ได้ค่า LPI_1 7.72 W/m ไม่ผ่านเกณฑ์ 7.1 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R1 แต่ผ่านเกณฑ์ 9.0 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R3 เมื่อวิเคราะห์สมรรถนะการส่องสว่างตามเกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.1 พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์ด้านความสม่ำเสมอตามยาว (Ul) และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน TI ทั้งผิวถนนประเภท R1 และ R3
- หากออกแบบ แบบใหม่ โดยใช้เกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.1 จะสามารถเพิ่มระยะห่างของเสาได้ และสมรรถนะการส่องสว่างจะผ่านเกณฑ์ที่ระบุทุกรายการ ได้ค่า LPI_1 3.59 W/m ผ่านเกณฑ์ 5.0 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R1 ได้ผลประหยัดพลังงาน 53.5 % และได้ค่า LPI_1 5.00 W/m ผ่านเกณฑ์ 6.5 W/m สำหรับผิวถนนประเภท R3 ได้ผลประหยัดพลังงาน 35.2 %

ตัวอย่างที่ 1 การประเมินผลการออกแบบการส่องสว่างถนน ที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M1

- ถนนกว้าง 7 เมตร ขนาด 2 เลน (เลนละ 3.50 เมตร)
- ผิวถนนประเภท R1 หรือ R3
- ลักษณะการติดตั้ง แบบปัจจุบัน
    - ติดตั้งดวงโคมแบบ Single Side (ด้านเดียว)
    - ระยะห่างของเสา 36 เมตร
    - ดวงโคมสูง 9 เมตร
    - ระยะยื่นของดวงโคม 1 เมตร
    - มุมเอียง 15 องศา
- เงื่อนไขการออกแบบ แบบปัจจุบัน
    - ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง
    - ความสว่างเฉลี่ย 21.5 ลักซ์
    - ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.40
    - ความสม่ำเสมอ (Emin/Emax) 0.167
- ลักษณะการติดตั้ง แบบใหม่
    - ตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากล
    - ทำ optimization (เพื่อหาระยะห่างของเสา และความสูงของดวงโคมที่เหมาะสม)
    - ติดตั้งดวงโคมแบบ Single Side (ด้านเดียว)
    - ระยะยื่นของดวงโคม 1 เมตร (คงที่)
    - มุมเอียง 0 องศา (คงที่)
- ข้อมูลตัวอย่างของดวงโคมแบบปัจจุบัน
    - หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)
    - หลอดขนาด 250 วัตต์
    - กำลังไฟฟ้ารวม 278 วัตต์ (ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดธรรมดา)
    - ฟลักซ์ส่องสว่าง 32,000 ลูเมน
    - ประสิทธิภาพของดวงโคม 77 %
- ข้อมูลตัวอย่างของดวงโคมแบบใหม่
    - หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)
    - หลอดขนาด 250 วัตต์
    - กำลังไฟฟ้ารวม 270 วัตต์ (ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดกำลังสูญเสียต่ำ)
    - ฟลักซ์ส่องสว่าง 32,000 ลูเมน
    - ประสิทธิภาพของดวงโคม 81 %

ผลการออกแบบ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการออกแบบการส่องสว่างถนนกว้าง 7 เมตร จำนวน 2 เลน, ระดับชั้นการส่องสว่าง M1 และติดตั้งดวงโคมแบบ Single Side (ด้านเดียว)

รายการ	การออกแบบ แบบปัจจุบัน (M1)			การออกแบบ แบบใหม่ (M1)		
	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3
1. ระยะห่างของเสา (เมตร)	36	36	36	-	43	40
2. ความสูงของดวงโคม (เมตร)	9	9	9	-	12	10.5
3. ระยะยื่น (เมตร)	1	1	1	1	1	1
4. มุมเอียง (องศา)	15	15	15	0	0	0
5. ความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	21.5	29.0	29.0	20 (R1), 28 (R3)	23	28
6. ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav)	0.40	0.40	0.40	0.4	0.440	0.429
7. ความสม่ำเสมอ (Emin/Emax)	0.167	0.252	0.252	0.167	0.254	0.235
8. ความส่องสว่างเฉลี่ย (cd/m^2)	2.0	2.9	2.2	2.0	2.2	2.0
9. ความสม่ำเสมอรวม (U0)	0.4	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6
10. ความสม่ำเสมอตามยาว (Ul)	0.7	0.6 **(F)**	0.6 **(F)**	0.7	0.7	0.7
11. ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน TI (%)	10	15 **(F)**	18 **(F)**	10	7	10
12. อัตราส่วนบริเวณแวดล้อม (SR)	0.5	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6
13. แฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง UF	-	0.228	0.228	-	0.216	0.245
14. LPI_1 (W/m)	7.1 (R1), 9.0 (R3)	7.72 **(F)**	7.72	7.1 (R1), 9.0 (R3)	6.28	6.75
15. ผลประหยัด (%)	-	-	-	-	18.6	12.6

หมายเหตุ (F) คือ Fail ไม่ผ่านข้อกำหนด

ตัวอย่างที่ 2 การประเมินผลการออกแบบการส่องสว่างถนน ที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M1

- ถนนกว้าง 14 เมตร (ทิศทางละ 2 เลน ๆ ละ 3.50 เมตร) มีเกาะกลางกว้าง 3.0 เมตร
- ผิวถนนประเภท R1 หรือ R3
- ลักษณะการติดตั้ง แบบปัจจุบัน
    - ติดตั้งดวงโคมแบบ Central twin (CT)
    - ระยะห่างของเสา 36 เมตร
    - ดวงโคมสูง 9 เมตร
    - ระยะยื่นของดวงโคม 1 เมตร
    - มุมเอียง 15 องศา
- เงื่อนไขการออกแบบ แบบปัจจุบัน
    - ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง
    - ความสว่างเฉลี่ย 21.5 ลักซ์
    - ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.40
    - ความสม่ำเสมอ (Emin/Emax) 0.167
- ลักษณะการติดตั้ง แบบใหม่
    - ตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากล
    - ทำ optimization (เพื่อหาระยะห่างของเสา และความสูงของดวงโคมที่เหมาะสม)
    - ติดตั้งดวงโคมแบบ Central twin
    - ระยะยื่นของดวงโคม 1 เมตร (คงที่)
    - มุมเอียง 0 องศา (คงที่)
- ข้อมูลตัวอย่างของดวงโคมแบบเดิม
    - หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)
    - หลอดขนาด 250 วัตต์
    - กำลังไฟฟ้ารวม 278 วัตต์ (ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดธรรมดา)
    - ฟลักซ์ส่องสว่าง 32,000 ลูเมน
    - ประสิทธิภาพของดวงโคม 77 %
- ข้อมูลตัวอย่างของดวงโคมแบบใหม่
    - หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)
    - หลอดขนาด 250 วัตต์
    - กำลังไฟฟ้ารวม 270 วัตต์ (ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดกำลังสูญเสียต่ำ)
    - ฟลักซ์ส่องสว่าง 32,000 ลูเมน
    - ประสิทธิภาพของดวงโคม 81 %

ผลการออกแบบ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบการส่องสว่างถนนกว้าง 14 เมตร (ถนนกว้าง 7 เมตร + เกาะกลางกว้าง 3 เมตร + ถนนกว้าง 7 เมตร), ระดับชั้นการส่องสว่าง M1 และติดตั้งดวงโคมแบบ Central Twin (CT)

รายการ	การออกแบบ แบบปัจจุบัน (M1)			การออกแบบ แบบใหม่ (M1)		
	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3
1. ระยะห่างของเสา (เมตร)	36	36	36	-	41	46
2. ความสูงของดวงโคม (เมตร)	9	9	9	-	12	12
3. ระยะยื่น (เมตร)	1	1	1	1	1	1
4. มุมเอียง (องศา)	15	15	15	0	0	0
5. ความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	21.5	38	38	20 (R1), 28 (R3)	34	30
6. ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav)	0.40	0.42	0.42	0.40	0.543	0.496
7. ความสม่ำเสมอ (Emin/Emax)	0.167	0.224	0.224	0.167	0.338	0.279
8. ความส่องสว่างเฉลี่ย (cd/m^2)	2.0	3.6	2.6	2.0	3.1	2.0
9. ความสม่ำเสมอรวม (U0)	0.4	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6
10. ความสม่ำเสมอตามยาว (Ul)	0.7	0.5 **(F)**	0.7	0.7	0.7	0.7
11. ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน TI (%)	10	13 **(F)**	16 **(F)**	10	7	10
12. อัตราส่วนบริเวณแวดล้อม SR	0.5	0.9	0.9	0.5	0.8	0.8
13. แฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง UF	-	0.299	0.299	-	0.3049	0.3019
14. LPI_1 (W/m)	12.3 (R1), 13.0 (R3)	15.44 **(F)**	15.44 **(F)**	12.3 (R1), 13.0 (R3)	13.17 **(F)**	11.74
15. ผลประหยัด (%)	-	-	-	-	14.7	24.0

หมายเหตุ (F) คือ Fail ไม่ผ่านข้อกำหนด

ตัวอย่างที่ 3 การประเมินผลการออกแบบการส่องสว่างถนน แบบปัจจุบันที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M1 และแบบใหม่ที่ระดับชั้นการส่องสว่าง M3

- ถนนกว้าง 7 เมตร จำนวน 2 เลน (เลนละ 3.50 เมตร)
- ผิวถนนประเภท R1 หรือ R3
- ลักษณะการติดตั้ง แบบปัจจุบัน
    - ติดตั้งดวงโคมแบบ Single Side (ด้านเดียว)
    - ระยะห่างของเสา 36 เมตร
    - ดวงโคมสูง 9 เมตร
    - ระยะยื่นของดวงโคม 1 เมตร
    - มุมเอียง 15 องศา
- เงื่อนไขการออกแบบ แบบปัจจุบัน
    - ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง
    - ความสว่างเฉลี่ย 21.5 ลักซ์
    - ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav) 0.40
    - ความสม่ำเสมอ (Emin/Emax) 0.167
- ลักษณะการติดตั้ง แบบใหม่
    - ตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากล
    - ทำ optimization (เพื่อหาระยะห่างของเสา และความสูงของดวงโคมที่เหมาะสม)
    - ติดตั้งดวงโคมแบบ Single Side (ด้านเดียว)
    - ระยะยื่นของดวงโคม 1 เมตร (คงที่)
    - มุมเอียง 0 องศา (คงที่)
- ข้อมูลตัวอย่างของดวงโคมแบบปัจจุบัน
    - หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)
    - หลอดขนาด 250 วัตต์
    - กำลังไฟฟ้ารวม 270 วัตต์
    - ฟลักซ์ส่องสว่าง 32,000 ลูเมน
    - ประสิทธิภาพของดวงโคม 77 %
- ข้อมูลตัวอย่างของดวงโคมแบบใหม่
    - หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)
    - หลอดขนาด 150 วัตต์
    - กำลังไฟฟ้ารวม 165 วัตต์

- ฟลักซ์ส่องสว่าง 16,000 ลูเมน
- ประสิทธิภาพของดวงโคม 71 %

ผลการออกแบบ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการออกแบบการส่องสว่างถนนกว้าง 7 เมตร, ติดตั้งดวงโคมแบบ Single Side (ด้านเดียว)

รายการ	การออกแบบ แบบปัจจุบัน (M1)			การออกแบบ แบบใหม่ (M3)		
	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3
1. ระยะห่างของเสา (เมตร)	36	36	36	-	46	33
2. ความสูงของดวงโคม (เมตร)	9	9	9	-	10	11
3. ระยะยื่น (เมตร)	1	1	1	1	1	1
4. มุมเอียง (องศา)	15	15	15	0	0	0
5. ความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	21.5	29.0	29.0	10 (R1), 14 (R3)	10	14
6. ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav)	0.40	0.40	0.40	0.4	0.408	0.587
7. ความสม่ำเสมอ (Emin/Emax)	0.167	0.252	0.252	0.167	0.169	0.371
8. ความส่องสว่างเฉลี่ย (cd/m^2)	2.0	2.9	2.2	1.0	1.0	1.0
9. ความสม่ำเสมอรวม (U0)	0.4	0.6	0.6	0.4	0.6	0.4
10. ความสม่ำเสมอตามยาว (Ul)	0.7	0.6 **(F)**	0.6 **(F)**	0.5	0.5	0.5
11. ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน TI (%)	10	15 **(F)**	18 **(F)**	15	12	12
12. อัตราส่วบริเวณแวดล้อม SR	0.5	0.7	0.7	0.5	0.7	0.8
13. แฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง UF	-	0.228	0.228	-	0.201	0.202
14. LPI_l (W/m)	7.1 (R1), 9.0 (R3)	7.72 **(F)**	7.72	5.0 (R1), 6.5 (R3)	3.59	5.00
15. ผลประหยัด (%)	-	-	-	-	53.5	35.2

หมายเหตุ (F) คือ Fail ไม่ผ่านข้อกำหนด