เทคนิคใหม่สำหรับการออกแบบไฟถนน โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงาน ความปลอดภัย และทางเศรษฐศาสตร์

A NOVEL TECHNIQUE OF STREET LIGHT DESIGN CONSIDERING ENERGY EFFICIENCY, SAFETY AND ECONOMICS

เจษฎา เหล่าธนสถิตย์ชัย
JASSADA LAOTHANASATITCHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-020-163

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคใหม่สำหรับการออกแบบไฟถนน โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงาน ความปลอดภัย และทางเศรษฐศาสตร์

A NOVEL TECHNIQUE OF STREET LIGHT DESIGN CONSIDERING ENERGY EFFICIENCY, SAFETY AND ECONOMICS

เจษฎา เหล่าธนสถิตย์ชัย

JASSADA LAOTHANASATITCHAI

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-020-163

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A NOVEL TECHNIQUE OF STREET LIGHT DESIGN CONSIDERING ENERGY EFFICIENCY, SAFETY AND ECONOMICS

JASSADA LAOTHANASATITCHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-020-163

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทคนิคใหม่สำหรับการออกแบบไฟถนน โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงาน ความปลอดภัย และทางเศรษฐศาสตร์

Thesis Title A Novel Technique of Street Light Design Considering Energy Efficiency, Safety and Economics

นักศึกษา นายเจษฎา เหล่าธนสถิตย์ชัย

รหัสประจำตัว 57601102

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-020-163

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.กีรติ	ชยะกุลคีรี	
รศ.ดร.สมชาติ	จิริวิภากร	
ดร.เปี่ยมภูมิ	สฤกพฤกษ์	
ผศ.ดร.เชาว์	ชมภูอินไหว	
ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00 - 15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคใหม่สำหรับการออกแบบไฟถนน โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงาน ความปลอดภัย และทางเศรษฐศาสตร์
นักศึกษา	นายเจษฎา เหล่าธนสถิตย์ชัย
รหัสประจำตัว	57601102
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว

บทคัดย่อ

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับส่องสว่างถนนในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนเพิ่มมากยิ่งขึ้น ทำให้ภาระหน้าที่ความรับผิดชอบค่ากระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงเพิ่มสูงขึ้น การพิจารณาวิเคราะห์และออกแบบไฟส่องสว่างถนนรูปแบบใหม่ เป็นสิ่งที่จะต้องทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อวัตถุประสงค์ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้พลังงานและลดค่ากระแสไฟฟ้าได้มากที่สุด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์และออกแบบการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนรูปแบบใหม่ นำมาเปรียบเทียบและทดแทนการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนรูปแบบดั้งเดิม ตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง โดยพิจารณาภายใต้เงื่อนไขสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพทางพลังงาน สมรรถนะการส่องสว่าง และทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสม ซึ่งมีการจำลองรูปแบบในการพิจารณาการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนรูปแบบใหม่ที่ใช้หลอด LED ทั้งหมด 9 รูปแบบ ที่มีการปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟของยี่ห้อ A และ B และระยะห่างระหว่างดวงโคมที่เหมาะสม อีกทั้งพิจารณาเพิ่มเติมโคมไฟส่องสว่างถนนที่ใช้หลอด LED ที่มีแหล่งกำเนิดแสงจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและแรงดันตกของสายได้ จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปวิเคราะห์และออกแบบไฟส่องสว่างบนถนนได้จริงให้มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อสมรรถนะการส่องสว่าง ลดอุบัติเหตุของผู้ขับขี่ยวดยานในช่วงเวลากลางคืนและสร้างความปลอดภัยให้เกิดแก่ผู้ใช้ถนนมากขึ้น อีกทั้งเพื่อประสิทธิภาพทางพลังงาน สามารถประหยัดพลังงานลดการใช้กำลังไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองลงได้ และเพื่อเกิดความคุ้มค่าในการให้แสงสว่างตลอดจนลดค่าใช้จ่ายสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A Novel Technique of Street Light Design Considering Energy Efficiency, Safety and Economics
Student	Mr.Jassada Laothanasatitchai
Student ID.	57601102
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Chai Chompoo-inwai

ABSTRACT

Power consumption for lighting on the streets is growing up at present because many street lights are installed. So MEA needs to carry on the expensive electricity costs. Analysis and design of newly technique for street light should improve and develop continuously. This propose to decrease the power consumption and electricity costs.

This thesis represents the newly technique for analysis and design of installation street light. The results are compared to original installation (MEA standard form) by the considerations in energy efficiency, illumination performance and economics. A new model of installation street lights has 9 LED patterns that power regulation and distance between street light of brand A and B are adapted appropriately. Besides, the solar LED street light can decrease power loss and voltage drop on transmission line. The results of this research can analyze and design the street lights in MEA standard for performance enhancement, reduce an accident during the night and safe driver. Also, Increasing performance can save energy and decrease the power consumption for saving costs that nowadays has increased significantly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว และ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณอำพล บุญเกิด ผู้ชำนาญการพิเศษ 9 การไฟฟ้านครหลวงเขตประเวศ ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการออกแบบระบบไฟส่องสว่างถนนในเขตการไฟฟ้านครหลวง

สุดท้ายต้องขอขอบคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้า คุณชาติชาย เหล่าธนสถิตย์ชัย และคุณบุญมา เหล่าธนสถิตย์ชัย ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

เจษฎา เหล่าธนสถิตย์ชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.6 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ศัพท์และหน่วยทางแสง.....4

2.1.1 มุมตัน.....4

2.1.2 ฟลักซ์ส่องสว่าง.....5

2.1.3 ความสว่าง.....5

2.1.4 ความเข้มส่องสว่าง.....5

2.1.5 ความส่องสว่าง.....5

2.1.6 การเปรียบต่างความส่องสว่าง.....5

2.1.7 ความส่องสว่างเฉลี่ยบนถนน.....6

2.1.8 ความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน.....6

2.1.9 ความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน.....6

2.1.10 ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน.....7

2.1.11 แสงจ้าระคายตา.....7

2.1.12 อุณหภูมิสี.....8

2.2 โคมไฟถนน.....8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 การติดตั้งไฟถนน....10
2.4 ระบบไฟฟ้าของไฟถนน....11
2.5 ผิวถนน....12
2.5.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน....12
2.5.2 ระดับความขาวดำของถนน....12
2.5.3 ระดับการสะท้อนแสงแบบ Specular....12
2.5.4 การแบ่งประเภทผิวถนน....12
2.6 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนน....13
2.7 ประสิทธิผลทางพลังงานของการส่องสว่าง....16
2.7.1 ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง....16
2.7.2 สมรรถนะด้านประสิทธิผลพลังงานของโคมไฟถนน....18
2.8 การคำนวณค่าแรงดันตก....19

บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบไฟส่องสว่างถนน....22
3.1 เลือกประเภทและข้อมูลทางกายภาพของถนน....22
3.2 เลือกชนิดของหลอดไฟและโคมไฟถนน....24
3.3 เลือกรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน....24
3.4 ทำการออกแบบค่าตัวแปรทางแสงที่เหมาะสม....25
3.5 ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการออกแบบ....25
3.6 วิเคราะห์และอภิปรายผลการจำลอง....25

บทที่ 4 ผลการจำลองระบบไฟส่องสว่างถนน....28
4.1 เทคนิคใหม่สำหรับการออกแบบไฟถนน....28
4.2 กรณีศึกษา....31
4.2.1 การติดตั้งไฟถนนรูปแบบดั้งเดิม....31
4.2.1.1 โคมไฟชนิดหลอด HPS ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B)....31
4.2.1.2 โคมไฟชนิดหลอด MH ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B)....40
4.2.2 การติดตั้งไฟถนนรูปแบบใหม่....49
4.2.2.1 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ A)....49
4.2.2.2 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ A) + Optimization....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.3 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ B).....61
4.2.2.4 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ B) + Optimization.....67
4.2.2.5 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ A).....73
4.2.2.6 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ A) + Optimization.....79
4.2.2.7 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B).....85
4.2.2.8 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B) + Optimization.....91
4.2.2.9 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 120 Watts + Solar Energy (ยี่ห้อ C).....97
4.2.3 การพิจารณาเงื่อนไขเพิ่มเติมในสภาวะถนนเปียก.....103
4.2.3.1 TRADITIONAL MODEL.....103
4.2.3.2 INNOVATIVE MODEL.....106

บทที่ 5 การวิเคราะห์และอภิปรายผล.....109
5.1 การพิจารณาด้านความปลอดภัย.....109
5.2 การพิจารณาด้านประสิทธิภาพทางพลังงาน.....127
5.3 การพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์.....136

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....141
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....141
6.2 ข้อเสนอแนะ.....142

เอกสารอ้างอิง.....143
ภาคผนวก.....145
ภาคผนวก ก.....146
ภาคผนวก ข.....149
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การแบ่งประเภทของพื้นผิวถนนแบบ R-Classification....13

2.2 การแบ่งประเภทของพื้นผิวถนนแบบ W-Classification....13

2.3 ข้อกำหนดการส่องสว่างสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์บนพื้นฐานทางความส่องสว่างของพื้นผิวถนนของ CIE Publ.115....13

2.4 เกณฑ์สมรรถนะการส่องสว่างถนนของประเทศไทย....14

2.5 มาตรฐานความสว่างบนผิวจราจรของไฟถนน....15

2.6 ความต้องการแสงสว่างสำหรับไฟถนน (Lighting requirement for vehicular roadway)....15

2.7 ขีดจำกัดของค่า LPI_1 ในการออกแบบไฟถนนของระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M....18

2.8 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้าฉนวนพีวีซีหลายแกนที่ 70°C....20

3.1 แบบประเมินวิธีการเลือกระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ M ของ CIE Publ. 115....23

4.1 การประเมินวิธีการเลือกระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ M ของ CIE Publ. 115....29

4.2 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K....33

4.3 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K....34

4.4 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K....36

4.5 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K....37

4.6 ค่าแรงดันตกของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ในระยะทาง 1 km....39

4.7 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด HPS ขนาด 250 W ในระยะทาง 1km....39

4.8 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K....42

4.9 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K....43

4.10 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K....45

4.11 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.12 ค่าแรงดันตกของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W ในระยะทาง 1 km....48
4.13 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด MH ขนาด 250 W ในระยะทาง 1km....48
4.14 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A)....51
4.15 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) span 40 m....52
4.16 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) span 40 mในระยะทาง 1 km....54
4.17 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m....54
4.18 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 50 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A)....57
4.19 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m....58
4.20 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) span 50 mในระยะทาง 1 km....60
4.21 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m....60
4.22 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B)....63
4.23 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m....64
4.24 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) span 40 m ในระยะทาง 1 km....66
4.25 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m....66
4.26 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 45 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อB)....69
4.27 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m....70
4.28 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) span 45 m ในระยะทาง 1 km....72
4.29 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m....72
4.30 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A)....75
4.31 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.32 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 mในระยะทาง 1 km.....78
4.33 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m.....78
4.34 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 55 m ความกว้างถนน 10 m ของ โคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A).....81
4.35 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m.....82
4.36 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 mในระยะทาง 1 km.....84
4.37 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m.....84
4.38 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของ โคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B).....87
4.39 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m.....88
4.40 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W(ยี่ห้อ B) Span 40 mในระยะทาง 1 km.....90
4.41 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m.....90
4.42 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 50 m ความกว้างถนน 10 m ของ โคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B).....93
4.43 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m.....94
4.44 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W(ยี่ห้อ B) Span 50 mในระยะทาง 1 km.....96
4.45 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m.....96
4.46 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของ โคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C).....99
4.47 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C).....100
4.48 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 120 W + Solar (ยี่ห้อ C).....102
4.49 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของ โคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....104
4.50 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.51 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 45 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....107
4.52 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....108
5.1 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิม.....109
5.2 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่.....111
5.3 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด150 W ยี่ห้อ A.....112
5.4 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด150 W ยี่ห้อ B.....112
5.5 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด250 W ยี่ห้อ A.....113
5.6 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด250 W ยี่ห้อ B.....113
5.7 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย(L_{av}) ที่มีการปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอด LED และระยะ span ที่เหมาะสม.....126
5.8 ค่าคะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา(G) ที่มีการปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอด LED และระยะ span ที่เหมาะสม.....126
5.9 ประสิทธิภาพทางพลังงานของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิม.....127
5.10 ประสิทธิภาพทางพลังงานของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่.....129
5.11 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างและค่าปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. ของการติดตั้งไฟถนน LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C เมื่อมีตัวควบคุมแสงสว่าง (Dimmer).....132
5.12 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนในแต่ละรูปแบบ (ระยะทาง 1 km).....136
5.13 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการติดตั้งโคมไฟถนนในแต่ละรูปแบบ (ระยะทาง 1 km).....137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะมุมตันในระบบ 3 มิติ....4

2.2 ไดอะแกรมสีของ CIE ที่แสดงเส้น Planckian Locus และเส้นคงที่อุณหภูมิสีเทียบเคียง....8

2.3 การกระจายแสงในระบบเพลน C- γ....9

2.4 การติดตั้งโคมไฟถนน....10

2.5 รูปแบบการติดตั้งของเสาไฟถนน....11

2.6 วงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม....19

2.7 โหลดจุดเดียว....21

2.8 โหลดกระจายแบบสม่ำเสมอ....21

3.1 แผนภาพอย่างง่ายของการทำงานตามขั้นตอนการออกแบบไฟถนน....26

3.2 แผนภาพอย่างละเอียดของการทำงานตามขั้นตอนการออกแบบไฟถนน....26

4.1 แผนภาพขั้นตอนการออกแบบไฟถนนแบบเก่าเปรียบเทียบกับแบบใหม่....28

4.2 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน หลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)....31

4.3 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 2,000 K....32

4.4 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K....32

4.5 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K....33

4.6 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K....34

4.7 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 2,500 K....35

4.8 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K....35

4.9 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K....36

4.10 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K....37

4.11 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรม ของโคมไฟถนน หลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)....40

4.12 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (MH)....41

4.13 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K....41

4.14 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K....42

4.15 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K....43

4.16 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (MH)....44

4.17 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.18 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K.....45

4.19 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K.....46

4.20 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน
หลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m.....49

4.21 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A).....50

4.22 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m.....50

4.23 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m.....51

4.24 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m.....52

4.25 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน
หลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m.....55

4.26 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A).....56

4.27 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m.....56

4.28 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m.....57

4.29 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m 58

4.30 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน
หลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m.....61

4.31 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B).....62

4.32 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m.....62

4.33 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m.....63

4.34 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m.....64

4.35 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน
หลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m.....67

4.36 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B).....68

4.37 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m.....68

4.38 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m.....69

4.39 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m.....70

4.40 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน
หลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m.....73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.41 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A)....74

4.42 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m....74

4.43 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m....75

4.44 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m....76

4.45 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน หลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m....79

4.46 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A)....80

4.47 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m....80

4.48 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m....81

4.49 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m....82

4.50 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน หลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m....85

4.51 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B)....86

4.52 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m....86

4.53 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m....87

4.54 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m....88

4.55 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน หลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m....91

4.56 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B)....92

4.57 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m....92

4.58 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m....93

4.59 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m....94

4.60 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน หลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)....97

4.61 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 6,500 K (LED ยี่ห้อ C)....98

4.62 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)....98

4.63 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)....99

4.64 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดLED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)....100

4.65 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road)....103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.66 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....104

4.67 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....105

4.68 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....106

4.69 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....107

4.70 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road).....108

5.1 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดHPS 250 W ยี่ห้อ B (2000 K).....118

5.2 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดHPS 250 W ยี่ห้อ B (2500 K).....118

5.3 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดMH 250 W ยี่ห้อ B (4000 K).....119

5.4 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดMH 250 W ยี่ห้อ B (4500 K).....119

5.5 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 150 W ยี่ห้อ A (span 40 m).....120

5.6 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 150 W ยี่ห้อ A (Max span 50 m).....120

5.7 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 150 W ยี่ห้อ B (span 40 m).....121

5.8 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 150 W ยี่ห้อ B (Max span 45 m).....121

5.9 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 250 W ยี่ห้อ A (span 40 m).....122

5.10 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 250 W ยี่ห้อ A (Max span 55 m).....122

5.11 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 250 W ยี่ห้อ B (span 40 m).....123

5.12 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 250 W ยี่ห้อ B (Max span 50 m).....123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.13 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 120 W + Solar ยี่ห้อ C (span 40 m).....124
5.14 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดHPS 250 W ยี่ห้อ B span 40 m (Wet Road).....125
5.15 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน
หลอดLED 150 W ยี่ห้อ B span 45 m (Wet Road).....125
5.16 ความสัมพันธ์ของคะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา(G) กับความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}).....126
5.17 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์แรงดันตกระหว่างการติดตั้งโคมไฟถนนรูปแบบดั้งเดิม
เปรียบเทียบกับรูปแบบใหม่ในแต่ละชนิดของโคมไฟถนน.....131
5.18 กราฟความสัมพันธ์ของค่า Eav , Lav , Uo ของโคมไฟถนน
LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C (Dimmer).....133
5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายทั้งหมด(บาท/กิโลเมตร) กับระยะเวลา(ปี).....138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบระบบแสงสว่างภายนอกไฟถนนมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการขับขี่ยวดยาน และทำให้เกิดความปลอดภัยในการสัญจรบนถนน อีกทั้งลดการเกิดอาชญากรรมบนถนนในยามค่ำคืน ดังนั้นการออกแบบระบบไฟส่องสว่างบนถนนจะต้องคำนึงถึงการให้แสงสว่างที่เพียงพอ คุณภาพการให้แสงที่ดีเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ และความเหมาะสมของรูปแบบโคมไฟถนนที่เลือกใช้งานเพื่อประสิทธิภาพทางด้านพลังงานและทางหลักเศรษฐศาสตร์

ในปัจจุบันไฟส่องสว่างถนนเป็นทรัพย์สินของหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ซึ่งจะเป็นผู้รับชำระค่าการติดตั้งไฟถนน ในส่วนของค่ากระแสไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวงเป็นผู้รับผิดชอบในพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดย กฟน. จะต้องรับผิดชอบค่ากระแสไฟฟ้า100 % ในเขตพื้นที่สาธารณะ ซึ่งในแต่ละปีมีหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ยื่นเรื่องขอการติดตั้งไฟส่องสว่างถนนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ความรับผิดชอบของทาง กฟน. เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในแต่ละปีมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างถนนต่อหน่วยที่สูงขึ้น ทำให้ค่าไฟฟ้าที่ต้องรับผิดชอบสูงขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อลดการใช้ปริมาณกำลังไฟฟ้าสำหรับส่องสว่างถนน จะต้องหารูปแบบใหม่ของการติดตั้งไฟถนนอย่างต่อเนื่อง เพื่อเกิดความคุ้มค่าในการให้แสงสว่างและลดค่าใช้จ่ายในการประหยัดค่าไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาและวิเคราะห์ รูปแบบใหม่ของโคมไฟส่องสว่างถนนจึงมีความสำคัญและจำเป็น เพื่อนำมาเปรียบเทียบและทดแทนรูปแบบการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนแบบดั้งเดิม โดยพิจารณาในแง่ของด้านคุณภาพแสง เพื่อให้เกิดความปลอดภัย ด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานและด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) ศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพแสงของรูปแบบใหม่ในการติดตั้งโคมไฟถนนเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิม

2) ศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะของโคมไฟถนนในแต่ละรูปแบบการทดสอบเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุด

3) เพื่อทดแทนรูปแบบเดิมของโคมไฟถนนในปัจจุบัน ทำให้ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้น

4)เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสมในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1)รูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ที่ใช้หลอดแอลอีดี จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่ารูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนในปัจจุบันที่ใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูง

2) โคมไฟส่องสว่างถนนที่เลือกใช้หลอดแอลอีดี จะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้รถบนถนนได้มากกว่าโคมไฟส่องสว่างถนนที่เลือกใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูง

3) โคมไฟส่องสว่างถนนที่เลือกใช้หลอดแอลอีดี จะสามารถเพิ่มระยะห่างการติดตั้งของดวงโคมได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณดวงโคมที่ใช้ต่อระยะทาง 1 กิโลเมตรลดลง และทำให้เกิดความคุ้มค่าในด้านเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสม

4) โคมไฟส่องสว่างถนนที่เลือกใช้หลอดแอลอีดี จะสามารถทดแทนหลอดโซเดียมความดันไอสูงในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

กรณีศึกษาที่เกิดขึ้นทั่วโลก ได้แสดงให้เห็นภาพความจำเป็นในการลดการใช้ทรัพยากร โดยเฉพาะพลังงาน ซึ่งปัจจุบันมีการใช้ในส่วนของไฟแสงสว่างคิดเป็นสัดส่วนถึงประมาณ 20% ดังนั้น การลดการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์แสงสว่างเป็นอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง จะสามารถทำให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างมหาศาล สำหรับไฟถนนจากการทดลองติดตั้งในโครงการต่างๆทั่วโลก บ่งชี้ว่าการเปลี่ยนไฟถนนเดิม เป็นไฟถนน LED มีโอกาสในการประหยัดพลังงานได้ถึง 60-70% อย่างไรก็ตาม ความปลอดภัยเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกบนท้องถนน ในขณะที่มีความจำเป็นในการประหยัดพลังงาน จึงเกิดคำถามขึ้นว่าการเปลี่ยนอย่างไรที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยและเป็นไปอย่างยั่งยืน กล่าวคือประหยัดพลังงาน และมีความคุ้มค่าในระยะยาว [1]

แนวทางสำหรับภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเร่งให้เกิดการเปลี่ยนเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืน ได้แก่ การจำกัดและยกเลิกการใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพต่ำ เช่น โคมไฟถนนที่ใช้หลอดแสงจันทร์ เป็นต้น และการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง เช่น นโยบายการจัดซื้อผลิตภัณฑ์ประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green product procurement) การส่งเสริมด้านเงินทุน หรือรูปแบบการลงทุนใหม่ๆ และการสร้างเป้าหมายในการประหยัดพลังงาน พร้อมทั้งสร้างเป็นมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟถนน

2) เปรียบเทียบชนิดของหลอดไฟที่เลือกใช้งานได้แก่ หลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ และหลอดแอลอีดี

3) พื้นที่อ้างอิงในการทดสอบเฉพาะพื้นที่สาธารณะของเขตการไฟฟ้านครหลวงได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ

4) ค่าทางแสงอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง (MEA Standard) ได้แก่ ค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนน , ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน , ค่าความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน , ค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษางานวิจัย
2) ศึกษาทฤษฎีการให้แสงสว่างบนถนน
3) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
4) ศึกษาวิธีการคำนวณการออกแบบไฟส่องสว่างถนนตามมาตรฐาน CIE
5) ศึกษาโปรแกรม DIALux 4.12 เพื่อใช้ในการนำเสนอข้อมูลทางแสง
6) ออกแบบโคมไฟส่องสว่างถนนในแต่ละรูปแบบ
7) จำลองระบบติดตั้งไฟถนนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์
8) วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบ
9) สรุปและประเมินผลงานวิจัย
10) เขียนวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศัพท์และหน่วยทางแสง

2.1.1 มุมตัน – Solid Angle (ω, sr)

มุมตัน (มุมในระบบ 3 มิติ) หมายถึง มุมที่มีจุดยอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม ขนาดของมุมตันหาได้จากขนาดพื้นที่ผิวของทรงกลมที่รองรับมุมตันหารด้วยรัศมีของทรงกลมยกกำลังสอง มีสัญลักษณ์เป็น ω มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (steradian) หรือเขียนย่อเป็น sr ดังสมการที่ (2.1) [2]

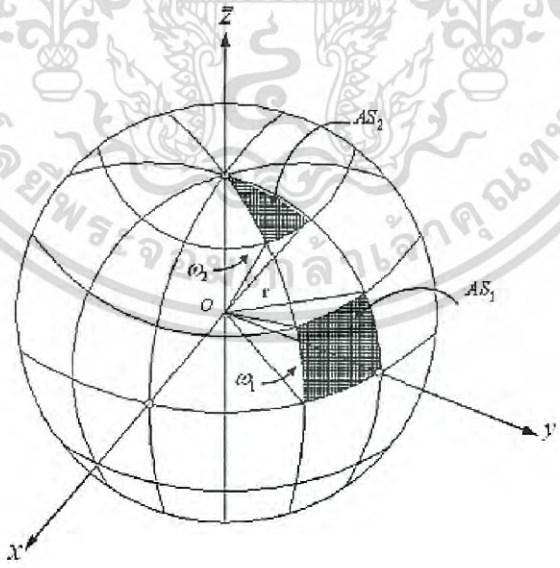
$$\omega = \frac{A}{r^2} \tag{2.1}$$

โดยที่ ω คือ ขนาดของมุมตัน (sr)

A คือ ขนาดพื้นที่ผิวของทรงกลมที่รองรับมุมตัน (m^2)

r คือ รัศมีของทรงกลม (m)

พื้นผิวของทรงกลมมีขนาดเท่ากับ $4\pi r^2$ ดังนั้นมุมตันของทรงกลมจึงมีขนาด 4π (sr)



รูปที่ 2.1 ลักษณะมุมตันในระบบ 3 มิติ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ฟลักซ์ส่องสว่าง – Luminous Flux (Ø, lm)

ฟลักซ์ส่องสว่างเป็นกำลังทางด้านแสงที่กระตุ้นให้เกิดการมองเห็นเทียบได้กับกำลังทางด้านไฟฟ้าที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ทำงาน ซึ่งเป็นพลังงานแสงสว่างที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงสว่าง ฟลักซ์ส่องสว่าง คือ อัตราการไหลของพลังงานการส่องสว่างเทียบกับเวลา แทนสัญลักษณ์ด้วย Ø มีหน่วยเป็น lumen (lm) ดังสมการที่ (2.2) [2]

$$\emptyset = \frac{dQ}{dt} \tag{2.2}$$

2.1.3 ความสว่าง – Illuminance (E, lux)

ความสว่าง คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นที่ย่อยใด ๆ มีค่าเท่ากับปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นที่หารด้วยขนาดของพื้นที่นั้น แทนสัญลักษณ์ด้วย E มีหน่วยเป็น lux ดังสมการที่ (2.3) [2]

$$E = \frac{d\emptyset}{dA} \tag{2.3}$$

2.1.4 ความเข้มส่องสว่าง – Luminous Intensity (I, cd)

ความเข้มส่องสว่าง คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างในทิศทางหนึ่งในมุมตันที่กำหนด (ปริมาณแสงต่อมุมตัน) แทนสัญลักษณ์ด้วย I มีหน่วยเป็น Candela (cd) ดังสมการที่ (2.4) [2]

$$I = \frac{d\emptyset}{d\omega} \tag{2.4}$$

2.1.5 ความส่องสว่าง – Luminance (L, cd/m^2)

ความส่องสว่าง คือ อัตราส่วนของความเข้มส่องสว่างต่อพื้นที่ของแหล่งกำเนิดแสงที่ตั้งฉากกับความเข้มส่องสว่าง แทนสัญลักษณ์ด้วย L มีหน่วยเป็น cd/m^2 ดังสมการที่ (2.5) [2]

$$L = \frac{I}{A_{\perp}} \tag{2.5}$$

2.1.6 การเปรียบต่างความส่องสว่าง – Luminance Contrast (C)

การเปรียบต่างความส่องสว่าง คือ ความแตกต่างของค่าความส่องสว่างของวัตถุกับบริเวณที่มองเห็นรอบข้างวัตถุ เปรียบเทียบกับความส่องสว่างของบริเวณที่มองโดยรอบ ดังสมการที่ (2.6) [3]

$$C = \frac{L_a - L_b}{L_b} \tag{2.6}$$

โดยที่ L_a เป็นความส่องสว่างของวัตถุ มีหน่วยเป็น cd/m^2

L_b เป็นความส่องสว่างของบริเวณที่มองรอบข้างวัตถุ มีหน่วยเป็น cd/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองจะทำให้เห็นวัตถุเป็นเงาดำ ซึ่ง C จะมีค่าเป็นลบ และถ้าวัตถุสว่างกว่าบริเวณที่มองค่า C จะเป็นบวก โดยทั่วไปการมองเห็นวัตถุบนถนนในขณะขับขี่ยวดยานนั้น ค่า C จะมีค่าเป็นลบ นั่นคือวัตถุมีความส่องสว่างต่ำกว่าความส่องสว่างของบริเวณที่มองโดยรอบ

2.1.7 ความส่องสว่างเฉลี่ยบนถนน – Average Luminance (L_{av}, cd/m^2)

ความส่องสว่างเฉลี่ยบนถนน คือ ค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของถนนในบริเวณที่พิจารณา ถ้าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนนมีค่าสูงขึ้น จะทำให้การมองเห็นดีขึ้น ดังสมการที่ (2.7) [4]

$$L_{av} = \frac{L_{sum}}{N} \tag{2.7}$$

โดยที่ L_{sum} คือ ผลรวมของความส่องสว่างทุกจุด

N คือ จำนวนจุดที่พิจารณา

2.1.8 ความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน – Overall uniformity of road luminance (U_o)

ความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน คือ อัตราส่วนของค่าความส่องสว่างต่ำสุด ณ จุดหนึ่ง เทียบกับค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน ดังสมการที่ (2.8)

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_{av}} \tag{2.8}$$

โดยทั่วไปในการมองเห็นของผู้ขับขี่ยวดยานบนท้องถนนนั้น ความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างต่ำสุดบนพื้นถนนกับค่าเฉลี่ยไม่ควรแตกต่างกันมากนัก โดยอัตราส่วนนี้ควรมีค่าเข้าใกล้เคียง 1 ถ้าความสม่ำเสมอรวมต่ำ การสังเกตเห็นวัตถุบนผิวถนนจะเป็นไปได้ยาก

2.1.9 ความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน – Longitudinal uniformity of road surface luminance (U_l)

ความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน คือ อัตราส่วนของความส่องสว่างต่ำสุด เทียบกับ ความส่องสว่างสูงสุดตามแนวเส้นขนานหนึ่งหรือหลายเส้นที่ขนานกับทางวิ่งของถนน ดังสมการที่ (2.9)

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \tag{2.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพื้นผิวถนนที่มีแถบมืดสว่างสลับกันไปนั้นจะรบกวนต่อผู้ขับขี่ยวดยาน ซึ่งผลดังกล่าวสามารถลดลงได้โดยการลดความแตกต่างของความส่องสว่างระหว่างแถบมืดสว่างลง ช่วยให้ผู้ขับขี่ยวดยานรู้สึกสบายตาในขณะขับขี่ ถ้าความสม่ำเสมอตามแนวยาวต่ำ คือมีการส่องสว่างของผิวถนนน้อยและมากสลับกันไป อาจทำให้เกิดอาการตาลายและก่อให้เกิดอุบัติเหตุตามมาก็ได้ ค่าความสม่ำเสมอตามยาวนี้ CIE แนะนำว่าค่าต่ำสุดควรมีค่าเท่ากับ 1/6 [3]

2.1.10 ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน – Threshold increment (TI, %)

ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน คือ ขนาดของความสูญเสียทัศนวิสัยเนื่องจากความจ้าตาแบบเสียความสามารถจากโคมไฟถนน คำนวณได้จากสมการที่ (2.10) ซึ่งคิดเป็นร้อยละจากค่าที่เพิ่มขึ้นของความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างที่จำเป็นสำหรับทำให้เห็นวัตถุที่ต้องเห็นในขณะที่มีความจ้าตา กับ เมื่อเพิ่งเห็นวัตถุนั้นในขณะที่ไม่มีความจ้าตา (นั่นคือ เมื่อบัง (Screen)ไม่ให้ผู้สังเกตมองเห็นโคมไฟถนน) โดย CIE แนะนำค่า TI สูงสุดเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ [3]

$$TI = 65\frac{L_v}{(L_{av})^{0.8}} \qquad (2.10)$$

2.1.11 แสงจ้าระคายตา (Discomfort glare)

แสงจ้าระคายตา คือ แสงจ้าที่ทำให้ความสามารถในการมองเห็นวัตถุลดลง และทำให้ไม่สบายตา จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหลอดไฟ โคมไฟ และการติดตั้งโคมไฟ โดย CIE กำหนดสมการเพื่อหาค่าทางแสงจ้านี้โดยเรียกว่า คะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา (discomfort glare, control mark (G)) ดังสมการที่ (2.11) [3]

$$G = 13.84 - 3.31\log(I_{80}) + 1.3(\log\tfrac{I_{80}}{I_{88}})^{0.5} - 0.08\log\left(\tfrac{I_{80}}{I_{88}}\right) + 1.29\log(F)$$
$$+0.97\log(L_{av}) + 4.41\log(h) - 1.46\log(P) \qquad (2.11)$$

โดยที่ I_{80} คือ ความเข้มส่องสว่างที่มุม 80 องศากับแนวดิ่งลงและขนานกับแนวถนน

I_{80}/I_{88} คือ อัตราส่วนความเข้มส่องสว่างที่มุม 80 กับ 88 องศา กับแนวดิ่งลงและขนานกับถนน

F คือ พื้นที่แฟลช (flashed area) เป็นพื้นที่ที่โคมไฟเปล่งแสงออกมาที่มุม 76 องศาในระนาบ C_o มีหน่วยเป็นตารางเมตร ถ้าค่า F คลาดเคลื่อนไป 10 % จะทำให้ค่า G ผิดไป 0.06 %

L_{av} คือ ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนน

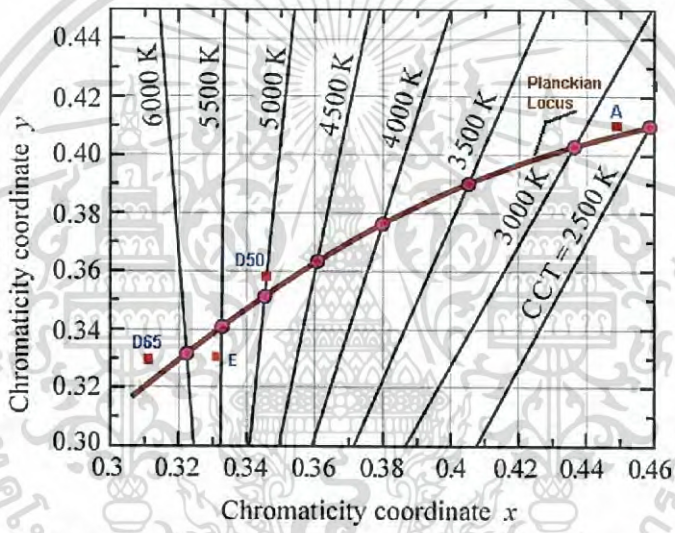
h คือ ความสูงระหว่างระดับสายตาซึ่งสูงจากพื้นถนน 1.5 เมตร ถึงระดับโคมไฟ (เมตร)

P คือ จำนวนดวงโคมไฟต่อความยาวถนน 1 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.12 อุณหภูมิสี (Colour temperature)

อุณหภูมิสีใช้เพื่อแสดงสีที่ปรากฏของแหล่งกำเนิดแสงเมื่อเปรียบเทียบกับสีของวัตถุดำ ถ้าอุณหภูมิของวัตถุดำใดที่สีสามารถเทียบเคียงได้จะเรียกว่าเป็นอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดนั้น โดยในการกำหนดค่าอุณหภูมิสีนั้นจะอยู่ในรูปขององศาเคลวิน (K) แสดงดังรูปที่ 2.2 ไดอะแกรมสีของ CIE โดยแสดงเส้นแพลนเคียนโลกัส (Planckian locus, L) และเส้นอุณหภูมิสีเทียบเคียงหรืออุณหภูมิสีเกี่ยวพันกัน (correlated colour temperature, CCT) ดังนั้น แหล่งกำเนิดแสงใดที่มีสีบนเส้นโลกัสนี้จะสามารถกำหนดได้โดยอุณหภูมิสี อย่างไรก็ตามถ้าแหล่งกำเนิดแสงใดไม่อยู่บนเส้นโลกัสนี้ก็สามารถใช้ค่าอุณหภูมิสีเทียบเคียงมากำหนดแทนได้ โดยถือเอาค่าอุณหภูมิของวัตถุดำที่อยู่ใกล้กับค่าของแหล่งกำเนิดแสงนั้นมากที่สุดเป็นอุณหภูมิสีเทียบเคียง โดยต้องอยู่ในแนวขนานกับเส้นโลกัส [3]



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมสีของ CIE ที่แสดงเส้น Planckian Locus และเส้นคงที่อุณหภูมิสีเทียบเคียง [5]

2.2 โคมไฟถนน

โคมไฟถนนประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือ ตัวโคมซึ่งแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนหน้าเป็นส่วนของระบบแสงและหลอดไฟฟ้า ตอนหลังติดเครื่องควบคุมกระแสและจุดหลอด มีบัลลาสต์ คาปาซิเตอร์และอิกนิเตอร์ ส่วนล่างเป็นฝาครอบหลอดไฟ ซึ่งเป็นแก้วทนความร้อนหรือสารอะครีลิก เป็นต้น

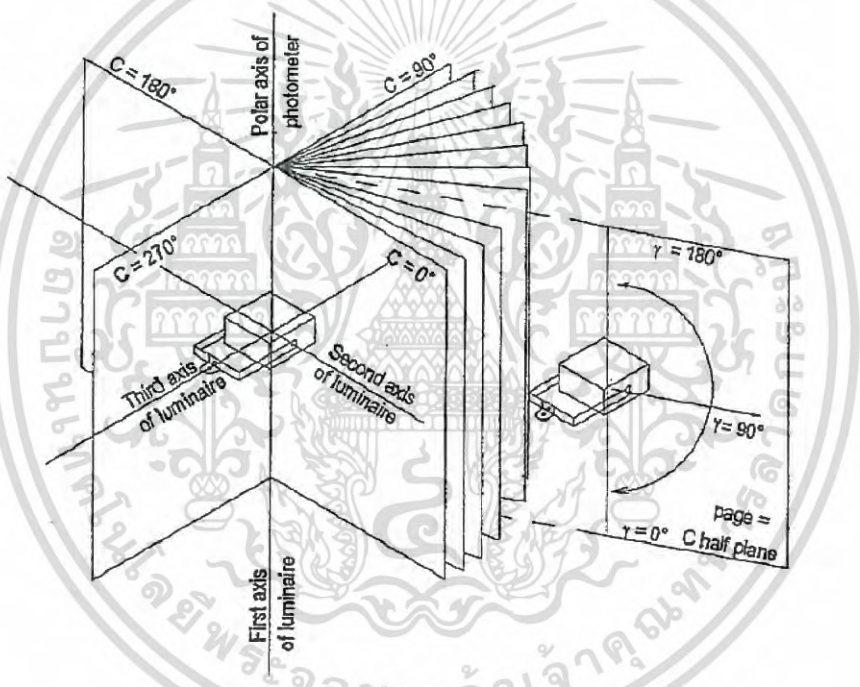
ตัวโคมไฟควรทำด้วยโลหะไม่ขึ้นสนิมและผุกร่อนง่าย แข็งแรงทนทานต่อดินฟ้าอากาศ โคมไฟบางแบบอาจทำด้วยสารสังเคราะห์ และเสริมให้แข็งแรงด้วยใยแก้วระหว่างตัวโคมกับฝาครอบ มีปะเก็นกันแมลงและฝุ่นเข้า ติดกันแน่นด้วยบานพับและสปริงล็อก

ระบบออปติกประกอบด้วยฝาครอบแก้วใส หรือมีร่องลักษณะปริซึมเพื่อหักเหแสง ด้านข้างหลอดมักจะมีแผ่นสะท้อนแสงเพื่อช่วยให้มีการกระจายแสงจากดวงโคมมากยิ่งขึ้น อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในประกอบด้วยหลอดไฟฟ้า ขั้วหลอด บัลลาสต์ คาปาซิเตอร์สำหรับแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ และอิกนิเตอร์ซึ่งใช้จุดหลอด สายทนความร้อนและขั้วต่อสาย [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และจัดกลุ่มของโคมไฟถนนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ต้องมีข้อมูลในรูปของไฟล์ข้อมูลการวัดแสง (Photometic data file) ซึ่งได้จากการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน ซึ่งมาตรฐาน CIE 121-1996: The Photometry and Goniophotometry of Luminaires ได้กำหนดระบบการวัดข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง เช่น หลอดไฟฟ้า โคมไฟฟ้า ออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบ A - α , ระบบ B - β และระบบ C - γ

ในการวัดการกระจายแสงของโคมไฟถนนจะใช้ระบบเพลน C- γ เป็นการแบ่งเพลนในแนวดิ่ง โดยแบ่งตามมุมต่าง ๆ ตั้งแต่ C_0 ถึง C_{360} โดยกำหนดให้เพลนที่ขนานกับด้านขวาของแกนโคมไฟเป็นเพลน C_0 และในแต่ละเพลน C จะแบ่งการกระจายแสงตามมุม γ โดยแบ่งจาก 0 ไปจนถึง 180 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกระจายแสงในระบบเพลน C- γ [6]

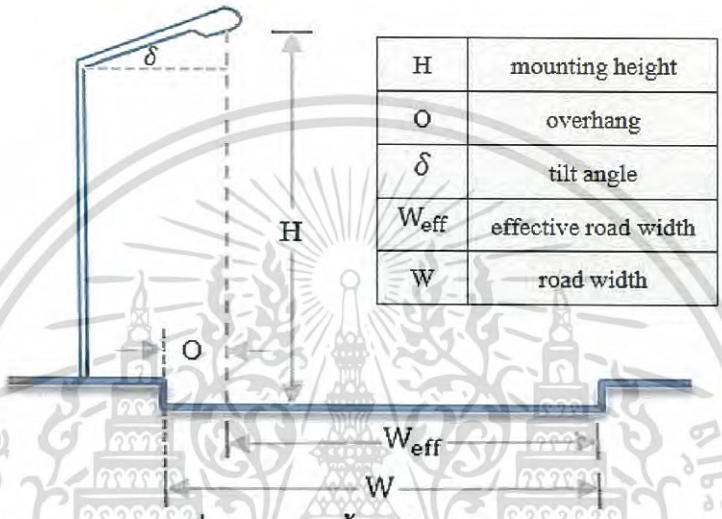
ดวงโคมที่ใช้กับไฟถนนจะมีลักษณะการกระจายความเข้มแสงสว่าง 2 ลักษณะคือ การกระจายไดอะแกรมในรูปโพลาร์และไอโซแคนเดลา (Polar diagram and Isocandela diagram)

โพลาร์ไดอะแกรมจะแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างอยู่ 3 เพลน คือ เพลน C ที่ขนานกับแนวถนน (C = 0° และ C = 180°) เพลน C ที่ตั้งฉากกับแนวถนน (C = 90° และ C = 270°) และเพลน C ที่มีค่าความเข้มสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การติดตั้งไฟถนน

การติดตั้งไฟถนนมีอยู่หลากหลายแบบขึ้นอยู่กับเหตุผลทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความสวยงามและสภาพของสถานที่ที่ติดตั้งนั้นอีกด้วย เสาไฟที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปเป็นเสาเหล็กชุบสังกะสีซึ่งมีความแข็งแรงทนทาน ปลอดภัยและติดตั้งง่าย รูปที่ 2.4 แสดงการติดตั้งโคมไฟถนน



รูปที่ 2.4 การติดตั้งโคมไฟถนน

ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) ไฟถนนที่ติดตั้งกันทั่วไปนั้นใช้เสาสูงประมาณ 9-12 เมตร แต่บนทางแยกที่ซับซ้อน วงเวียน และถนนกว้างหลายเลน การติดตั้งเสา 9-12 เมตร แบบทั่วไปจะไม่เหมาะสม เพราะต้องใช้เสาและโคมจำนวนมาก ทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานสับสนได้ นอกจากนี้ยังทำให้ดูรกรุงรังไม่สวยงามในตอนกลางวัน จึงมีการนำระบบแสงสว่างแบบใช้เสาสูงซึ่งมีความสูงประมาณ 20-50 เมตร ซึ่งทำให้การมองเห็นดีกว่าการใช้เสาต่ำมาก ในการออกแบบจะต้องกำหนดตำแหน่งความสูงของเสา และจำนวนดวงโคมไฟต่อเสา เพื่อให้ได้ความสว่างตามที่กำหนด

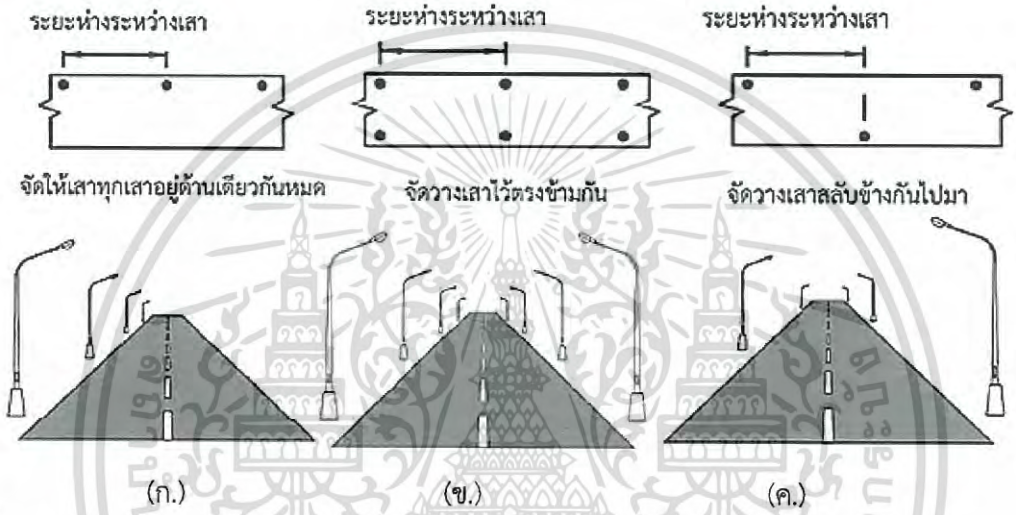
ระยะห่างระหว่างช่วงเสา (Spacing) ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนนแต่ละต้นนั้นขึ้นอยู่กับความสูงของเสาไฟถนน ถ้าเสาไฟถนนสูงขึ้นก็จะทำให้ระยะห่างของเสาไฟถนนกว้างมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าแสงจ้าลดลง แต่ค่าความสว่างเฉลี่ยก็จะลดลงด้วย โดยทั่วไประยะห่างระหว่างช่วงเสาจะประมาณ 30-50 เมตร

มุมเอียง (Tilt Angle) ในกรณีที่มีการจำกัดความสูงของเสาไฟถนน อาจทำให้ถนนด้านตรงข้ามกับโคมไฟมีแสงไม่เพียงพอ การเอียงโคมไฟให้สูงขึ้นจากแนวระดับจะช่วยเพิ่มปริมาณแสงให้ตกถึงด้านตรงข้ามมากขึ้น แต่การเอียงโคมไฟมากเกินไปจะทำให้เกิดแสงจ้ามากขึ้นดังนั้นจึงไม่ควรเอียงโคมไฟไปจากแนวระดับมากเกินกว่า 10 องศา โดยทั่วไปนิยมเอียงเป็นมุม 5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงยื่น (Overhang) ในการติดตั้งเสาไฟถนนนั้นจะต้องติดตั้งให้ไฟถนนเรียงเป็นแนวเส้นเดียวกันไปตามขอบถนน เพื่อให้แสงที่เข้าตาผู้ขับขี่ยวดยานมีความสม่ำเสมอตลอดเส้นทางการขับขี่ ดังนั้นในบริเวณที่ถนนมีการเว้าเข้าไป เช่น บริเวณป้ายรถประจำทาง เสาไฟถนนที่ปักในช่วงนั้นจะต้องมีช่วงยื่นออกมามากกว่าปกติ เพื่อให้โคมไฟอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

ในการติดตั้งไฟถนนนั้น มีวิธีการติดตั้งหลายแบบ โดยมี 3 แบบหลักในการติดตั้งเสาไฟแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งการที่จะติดตั้งไฟถนนแบบไหนก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพแสงของไฟถนนและงบค่าใช้จ่าย โดยความสูงในการติดตั้งควรที่จะมากกว่าค่าความกว้างประสิทธิผลของถนน



รูปที่ 2.5 รูปแบบการติดตั้งของเสาไฟถนน (ก.) ติดด้านเดียว (ข.) ติดตรงกันข้าม (ค.) ติดทแยงกัน [7]

2.4 ระบบไฟฟ้าของไฟถนน

ระบบไฟฟ้าที่ใช้กับไฟถนนนั้นอ้างอิงตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งเป็นระบบไฟแรงต่ำ 3 เฟส 4 สาย 230/400 V ถ้าบริเวณนั้นไม่มีไฟแรงต่ำจะต้องใช้หม้อแปลงลดแรงดันจาก 12 kV หรือ 24 kV แล้วแต่ระบบไฟฟ้าแรงสูงบริเวณนั้น จากไฟแรงต่ำจะต่อผ่านฟิวส์ คอนแทกเตอร์หรือรีเลย์ แล้วแยกไปจ่ายตามดวงโคม อาจเป็นวงจรเดี่ยวหรือหลายวงจรก็ได้ขึ้นกับจำนวนโคมและลักษณะการติดตั้ง แต่โดยปกติจะแยกออกไปคนละทางกัน เพื่อให้จ่ายดวงโคมได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่แรงดันตกคร่อมระหว่างต้นทางถึงดวงโคมที่ไกลที่สุดต้องไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้คือ 3 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันพิกัด (400 V) คือประมาณ 12 V สายไฟที่ใช้เป็นแบบฝังดินโดยตรง (สาย NYY) แบบ 4 แกน สำหรับไฟ 3 เฟส 4 สาย และร้อยท่อ RSC กรณีที่ต้องลอดใต้ถนน ดวงโคมที่อยู่เรียงกันจะต่อจากไฟต่างเฟสต่างกัน เพื่อว่าเวลาเกิดฟิวส์ขาดไฟจะได้ไม่ดับเป็นบริเวณกว้าง การต่อไฟเข้าดวงโคมจะผ่านฟิวส์ซึ่งอยู่ในช่องภายในโคนเสา เพื่อป้องกันการลัดวงจรภายในดวงโคมและเพื่อการบำรุงรักษา การปิด-เปิดคอนแทกเตอร์หรือรีเลย์ จะถูกควบคุมด้วยโฟโตเซลล์หรือสวิตช์เวลา [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ผิวถนน

2.5.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน (Luminance Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (luminance coefficient) สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างของผิวถนนต่อค่าความสว่างของผิวถนนที่พิจารณา ดังสมการที่ (2.12) [3]

$$q = \frac{L}{E} \tag{2.12}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (q) ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำผิวถนน ตำแหน่งที่แสงตกลงบนผิวถนน และตำแหน่งของผู้มองไปยังผิวถนนที่พิจารณา

2.5.2 ระดับความขาวดำของถนน (Average Luminance Coefficient , Q_o) [4]

$$Q_0 = \frac{\int_0^{\omega_0} q d\omega}{\omega_0} \tag{2.13}$$

โดยที่ q คือ สัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (ขึ้นอยู่กับมุม γ, β)

ω_0 คือ มุมตันในทิศที่แสงตกกระทบจุดที่พิจารณา

เมื่อ Q_0 มีค่ามากแสดงว่าพื้นผิวถนนมีความสามารถในการสะท้อนแสงมาก

2.5.3 ระดับการสะท้อนแสงแบบ Specular (Specularity Factor , S1) [3]

$$S1 = \frac{r(0,2)}{r(0,0)} \tag{2.14}$$

โดยที่ r (0,2) คือ สัมประสิทธิ์ความส่องสว่างแบบลดรูปของผิวถนน ที่ β = 0, tan(γ) = 2

r (0,0) คือ สัมประสิทธิ์ความส่องสว่างแบบลดรูปของผิวถนน ที่ β = 0, tan(γ) = 0

2.5.4 การแบ่งประเภทของผิวถนน

การแบ่งประเภทของพื้นผิวถนนนั้นจะใช้ค่า Q_0 และค่า S1 เป็นค่าที่ใช้แบ่งประเภทของพื้นผิวถนน ซึ่งในการแบ่งประเภทพื้นผิวถนนยังมีรูปแบบการแบ่งหลายประเภทดังนี้

1. รูปแบบการแบ่งประเภทพื้นผิวถนนแห้งแบบ R-Classification ตามตารางที่ 2.1
2. รูปแบบการแบ่งประเภทพื้นผิวถนนเปียกแบบ W-Classification ตามตารางที่ 2.2 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของพื้นผิวถนนแบบ R-Classification

ประเภท	S1	S1 มาตรฐาน	Q_0 ปกติ
R1	S1 < 0.42	0.25	0.10
R2	0.42 ≤ S1 < 0.85	0.58	0.07
R3	0.85 ≤ S1 < 1.35	1.11	0.07
R4	1.35 ≤ S1	1.55	0.08

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของพื้นผิวถนนแบบ W-Classification

ประเภท	S'1	Q_0 ปกติ
W1	S'1 < 9.60	0.11
W2	9.60 ≤ S'1 < 26.50	0.15
W3	26.50 ≤ S'1 < 73.00	0.20
W4	73.00 ≤ S'1	0.25

โดยที่ ถ้า S1 > 1 ; $$\log\left(\frac{S1'}{0.147}\right) = \frac{\log(S1/0.147)}{1-Q_0/0.687} \quad (2.15)$$

ถ้า S1 ≤ 1 ; $$S1' = S1 \quad (2.16)$$

2.6 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนน

มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดการส่องสว่างสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์บนพื้นฐานทางความส่องสว่างของพื้นผิวถนนของ CIE Publ. 115 [6]

ระดับชั้นการส่องสว่าง	ขอบเขตการใช้งาน				
	ถนนทั้งหมด	ถนนทั้งหมด	ถนนทั้งหมด	ถนนมีทางตัดน้อยมากหรือไม่มี	ถนนมีทางเท้าไม่สว่างที่ 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการส่องสว่างถนนของประเทศไทย

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์สมรรถนะการส่องสว่างถนนของประเทศไทย [6]

ชนิดของถนน	ระดับชั้นการส่องสว่าง	ความส่องสว่าง (ข้อกำหนด)					ความสว่าง (ข้อแนะนำ)			ชนิดของโคมไฟถนน (ข้อแนะนำ)
		L_{av} (cd/m^2)	U_o	U_l	Tl (%)	SR	แบบ R	E_{av} (lux)	U1	
ทางด่วน มอเตอร์เวย์ ถนนที่มีการสัญจรความเร็วสูง	M1	2.0	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
ถนนสายหลัก มีรถปานกลาง	M2	1.5	0.4	0.7	10	0.5	R1 R2 R3	15 21 21	0.4 0.4 0.4	Intermediate, Narrow, Limited; Type II, Cut-off
ถนนสายรอง	M3	1.0	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	R R2 R3	5 7 7	0.4 0.4 0.4	Intermediate, Narrow, Limited; Type II, Semi-Cut-off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานความสว่างของการไฟฟ้านครหลวง

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานความสว่างบนผิวจราจรของไฟถนน [9]

ชนิดดวงโคม	Mercury Vapor (HG)			High Pressure Sodium (HPNA)		
Watt Output (W)	50	80	125	150	250	400
Watt Input (W)	59.4	90	136	170	288	466
ความกว้างถนน (m)	1-3	4-6	7-8	9-10	11-12	13-20
ความสว่าง (lux)	1.08	1.08	6.46	6.46	8.61	8.61
ความยาวกิ่ง (m)	0.40	1.20	1.80	1.70	1.70	1.70
ความส่องสว่าง (lm)	1,800	3,450	5,600	16,900	25,500	48,000
หน่วย/เดือน/ดวง	21.38	32.40	49.68	61.20	103.68	167.76
อายุการใช้งาน (hr.)	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000

ตารางที่ 2.6 ความต้องการแสงสว่างสำหรับไฟถนน (Lighting requirement for vehicular roadway) [9]

ประเภทของถนน	ความสว่างเฉลี่ยต่ำสุด (lux)	ความสม่ำเสมอของความสว่างวัดในแนวระดับ (U_h)
ถนนสายหลัก	15.0	0.33
ถนนสายรอง/ถนนย่อย ที่มีความกว้างถนนเกิน 6 เมตร	9.7	0.33
ถนนซอยที่มีความกว้างถนน ไม่เกิน 6 เมตร	4.3	0.33
ถนนส่วนบุคคล, ถนนภายในส่วนของลูกค้า	6.5	0.16
บริเวณวงเวียนที่ไม่มี สัญญาณไฟจราจร	15.0	0.40

ความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน(U_o) = $L_{min}/L_{av} \geq 1/2.5$

ความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน (U_l) = $L_{min}/L_{max} \geq 1/6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ประสิทธิผลทางพลังงานของการส่องสว่าง

2.7.1 ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง

จากนิยามของความสว่างและความส่องสว่างสามารถนำมาวิเคราะห์ เพื่อสร้างดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างที่ใช้งานกับการให้แสงสว่างถนนได้ดังนี้ [6]

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

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

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

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

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

$$LPI_1 = \frac{P}{s} = \frac{E \times w}{LPW \times UF \times MF} \quad (2.17)$$

$$LPI_2 = \frac{P}{s \times w} = \frac{E}{LPW \times UF \times MF} \quad (2.18)$$

$$LPI_4 = \frac{P}{E \times A} = \frac{1}{LPW \times UF \times MF} \quad (2.19)$$

$$LPI_5 = \frac{E}{P/A} = \frac{1}{LPI_4} = LPW \times UF \times MF \quad (2.20)$$

จาก $L = Q_0 E$

$$LPI_3 = \frac{P}{L \times A} = \frac{1}{LPW \times UF \times MF \times Q_0} \quad (2.21)$$

เมื่อ E คือ ความสว่าง มีหน่วยวัดเป็น lux

Ø คือ ฟลักซ์ส่องสว่าง มีหน่วยวัดเป็น lumen

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 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

LPW คือ ประสิทธิผลการส่องสว่างของชุดหลอดไฟฟ้า มีหน่วยวัดเป็น lm/W

Q_0 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

ในการออกแบบระบบส่องสว่างและพิจาณาถึงสมรรถนะทางประสิทธิภาพพลังงานของการติดตั้งโคมไฟถนน ค่าที่ผู้ออกแบบเข้าใจได้ง่ายที่สุดคือ LPI_1 หรือ การใช้กำลังไฟฟ้าต่อเมตร ซึ่งสามารถสรุปและวิเคราะห์ค่าสมรรถนะทางแสงได้ตามสมการ (2.16) ดังนี้

$$\frac{P}{s} = \frac{E \times w}{LPW \times UF \times MF} \qquad (2.22)$$

ค่าสมรรถนะการใช้กำลังไฟฟ้าต่อความยาวของถนน 1 เมตร ของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักจำนวน 5 ตัว คือ

E : ความสว่าง ถ้าต้องการความสว่างสูง จะทำให้ค่า W/m สูงตามไปด้วย

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

LPW : ค่าประสิทธิผลของวงจรหลอด 1 ชุด (lm/W) ถ้าใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิผลสูงจะทำให้ค่า 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

148759

2.7.2 สมรรถนะด้านประสิทธิผลพลังงานของโคมไฟถนน

ค่าประสิทธิผลด้านพลังงานของโคมไฟถนนที่กำหนดขึ้นนี้ ใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบส่องสว่างในการติดตั้งไฟถนนแบบต่าง ๆ โดยการเลือกใช้หลอดไฟฟ้า บัลลาสต์และโคมไฟถนนที่มีสมรรถนะการกระจายแสงและประสิทธิภาพสูง และใช้ค่าแฟกเตอร์การบำรุงรักษา MF เท่ากับ 0.8

ค่าประสิทธิผลพลังงานของโคมไฟถนน ในประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพนี้ ถูกกำหนดด้วยค่า LPI_1 ที่มีขีดจำกัดในตารางที่ 2.7 สำหรับการออกแบบการส่องสว่างถนนที่มีความกว้าง (w) ต่าง ๆ และสมบัติผิวถนน (R) ชนิดต่าง ๆ ของระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M1-M5

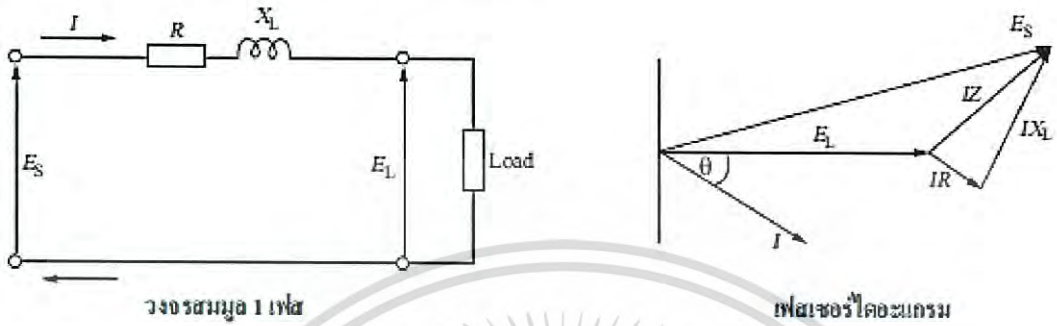
ตารางที่ 2.7 ขีดจำกัดของค่า LPI_1 ในการออกแบบไฟถนนของระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M [6]

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
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การคำนวณค่าแรงดันตก (Voltage Drop)

การคำนวณหาค่าแรงดันตกเป็นการหาแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางเทียบกับต้นทาง เขียนเป็นวงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.6 [10]



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม

เขียนเป็นสมการโดยประมาณได้ดังนี้

$$E_s = E_L + I \cdot R\cos\theta + I \cdot X_L \sin\theta \quad (2.23)$$

$$\text{แรงดันตก} = E_s - E_L = I \cdot R\cos\theta + I \cdot X_L \sin\theta \quad (2.24)$$

1. แรงดันตกวงจร 3 เฟส ความยาวสาย (L) คิดจากต้นทางจนถึงปลายทางเพียงเที่ยวเดียว โดยตั้งสมมติฐานว่าวงจรสมดุลกระแสไหลกลับเป็นศูนย์ สำหรับกระแสคูณด้วย $\sqrt{3}$ เพื่อเปลี่ยนเป็น Line current จะได้ดังนี้

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L \quad (2.25)$$

ทำเป็นเปอร์เซ็นต์ หารด้วยระบบแรงดัน สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V

$$\%VD = \frac{VD}{400} \times 100 \quad (2.26)$$

2. แรงดันตกวงจร 1 เฟส โดยปกติแรงดันตกจะเกิดทั้งขาไปและกลับ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$VD = 2 \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L \quad (2.27)$$

ทำเป็นเปอร์เซ็นต์ หารด้วยระบบแรงดัน สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V

$$\%VD = \frac{VD}{230} \times 100 \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าแรงดันตกจะเป็นการหาค่าสูงสุด ดังนั้น ในการคำนวณจึงใช้ค่าความต้านทานกระแสสลับที่อุณหภูมิพิกัดใช้งานของสายไฟฟ้า คือ 70°C สำหรับสายพีวีซี และ 90°C สำหรับสายXLPE ส่วนค่ารีแอกแตนซ์ (X_L) ของสายไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามวิธีการวางสายไฟฟ้า

ตารางแรงดันตกต่อไปนี้อ้างอิงตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ซึ่งสอดคล้องตาม BS 7671 แสดงได้ดังตารางที่ 2.8 [10]

ตารางที่ 2.8 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้าฉนวนพีวีซีหลายแกนที่ 70°C

ขนาดสายไฟฟ้า (mm^2)	1 เฟส AC (mV/A/m)	3 เฟส AC (mV/A/m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	ทุกกลุ่มการติดตั้ง
1.0	44	38
1.5	29	25
2.5	18	15
4	11	9.5
6	7.3	6.4
10	4.4	3.8
16	2.8	2.4
25	1.75	1.50
35	1.25	1.10
50	0.93	0.80
70	0.65	0.57
95	0.49	0.43
120	0.41	0.36
150	0.34	0.29
185	0.29	0.25
240	0.24	0.21
300	0.21	0.18
400	0.17	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขการคำนวณ

- ระบบไฟฟ้า 3 เฟส แรงดันตกคิดเป็น Line to Line แบบสมดุล
- ขนาดสายไฟไม่เกิน 16 ตารางมิลลิเมตร ให้คิดค่า r อย่างเดียว ไม่คิดค่า x ซึ่งมีค่าน้อย
- ขนาดสายไฟตั้งแต่ 25 ตารางมิลลิเมตร ให้คิดค่า r และ x เพื่อคำนวณแรงดันตกตาม Power Factor (P.F.) ของโหลด

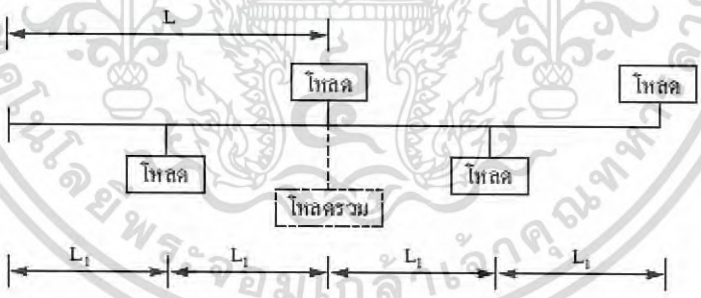
แรงดันตกที่กำหนดในตารางเป็นค่ากระแส 1 แอมแปร์ และความยาวสาย 1 เมตร ในการใช้งานจะหากระแสและความยาวสาย (L) ที่ใช้หาค่าแรงดันตกได้ดังนี้

1. **โหลดจุดเดียว**

รูปที่ 2.7 โหลดจุดเดียว

โหลดจุดเดียวเป็นแบบที่ง่ายที่สุด แรงดันตกจากตารางมีหน่วยเป็น mV/A/m ค่าที่ได้จะคูณด้วยกระแสโหลดและความยาวสาย (L) ที่คิดจากแหล่งจ่ายไฟไปถึงจุดที่ติดตั้งโหลด

2. **โหลดกระจายแบบสม่ำเสมอ**



รูปที่ 2.8 โหลดกระจายแบบสม่ำเสมอ

ถ้ามีโหลดหลายตัวที่มีขนาดเท่า ๆ กัน และระยะห่างเท่า ๆ กันโดยประมาณ กระแสที่นำมาหาค่าแรงดันตกคือ ผลรวมของกระแสทั้งหมด ส่วนระยะทาง (L) คือ ความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวจากแหล่งจ่ายไฟไปยังโหลดตัวสุดท้าย แรงดันตกที่ได้คือแรงดันตกที่จุดปลายทาง

3. **โหลดกระจายไม่แน่นอน**

ถ้าโหลดแต่ละตัวมีขนาดไม่เท่ากัน หรือระยะห่างไม่เท่ากัน การหาค่าแรงดันตกจะต้องคิดแยกเป็นโหลดจุดเดียวแยกแต่ละตัวตามแบบที่ 1 แล้วนำแรงดันตกมารวมกัน ค่าที่ได้จะเป็นแรงดันตกที่โหลดตัวปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการออกแบบไฟส่องสว่างถนน

การออกแบบไฟถนนในยุคปัจจุบัน ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ด้านสมรรถนะการส่องสว่าง เพื่อการมองเห็นที่ดีและทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้รถบนถนน อีกทั้งด้านสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพทางพลังงาน เพื่อได้มาซึ่งระบบที่มีประสิทธิภาพสูง รวมถึงความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เรื่องแสงสาดเข้า (Obtrusive Light) ที่เกิดการรบกวนผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อให้การทำงานของบุคคลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับไฟถนนไม่ได้รับผลกระทบ

วิธีการออกแบบไฟถนนรูปแบบเดิมที่ใช้เกณฑ์ความสว่าง (lux) มีการปรับเปลี่ยนแนวคิดมาเป็นวิธีการใหม่โดยใช้เกณฑ์ความส่องสว่าง (cd/m^2) จึงพิจารณาด้านสมรรถนะที่สำคัญ คือ ด้านสมรรถนะการส่องสว่างและด้านสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพพลังงาน โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

3.1 เลือกประเภทและข้อมูลทางกายภาพของถนน

1) การรวบรวมข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของถนนและการใช้งานถนน

บนผิวถนนต้องใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงในทิศทางต่าง ๆ ของผิวถนนตามมาตรฐานก่อสร้างทาง พ.ศ. 2537 ของกรมทางหลวง ผิวถนนที่ก่อสร้างทั่วไป คือ ผิวคอนกรีตและ แอสฟัลส์ โดยเลือกใช้พื้นผิวถนนที่ก่อสร้างทั่วไป 3 แบบ คือ R1, R2 และ R3 ดังนี้

R1 แทนผิวถนนคอนกรีต หรือ ผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดและมีหินบดสีขาวสะท้อนแสงได้ดีไม่น้อยกว่า 12 % ของจำนวนหินบด มีการสะท้อนแสงแบบด้านมาก

R2 แทนผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดที่สะท้อนแสงได้ดีไม่น้อยกว่า 60% ของจำนวนหินบด มีการสะท้อนแสงแบบด้านและเงาผสมกัน

R3 แทนผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดสีทึบแสง มีการสะท้อนแสงแบบเงาน้อย

2) ประเมินประเภทของถนนจากข้อมูลที่รวบรวมได้

- ความเร็วของการจราจร
- ปริมาณการจราจร
- สัดส่วนการจราจร
- การแยกส่วนช่องทางเดินรถ
- ความหนาแน่นของทางแยก
- รถจอดริมถนน
- ความส่องสว่างโดยรอบ
- การนำทางการมองเห็น, การควบคุมจราจร

3) หาระดับชั้นการส่องสว่างของถนน

การเลือกระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ประเภท M ตามมาตรฐาน CIE Publ. 115 แสดงแบบประเมินวิธีการเลือกได้ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แบบประเมินวิธีการเลือกระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ M ของ CIE Publ. 115 [5]

ค่าเฉพาะ	ทางเลือก	ค่าให้น้ำหนัก (WV)
ความเร็ว	สูง > 60 km/h	1
	ปานกลาง > 30 ถึง ≤ 60 km/h	0
ปริมาณจราจร	สูงมาก ADT ≥ 40,000	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 (ยานยนต์มีเปอร์เซ็นต์ต่ำ)	1
	ผสม จักรยาน	0.5
	มีแต่ยานยนต์อย่างเดียว	0
การแยกส่วนช่องทางเดินรถ	ไม่มี	1
	มี	0
ความหนาแน่นของทางแยก	สูง < 3 /km	1
	ปานกลาง ≥ 3/km	0
รถจอดริมถนน	มี	1
	ไม่มี	0
ความส่องสว่างโดยรอบ	สูงมาก พื้นที่ศูนย์กลางนคร	1
	สูง	0.5
	ปานกลาง พื้นที่ในเมือง	0
	ต่ำ	-0.5
	ต่ำมาก พื้นที่ชนบท	-1
การนำทางการมองเห็น, การควบคุมจราจร	เลว	0.5
	ดี	0
	ดีมาก	-0.5
M = 6 - SWV		ผลรวมของค่าให้น้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เลือกชนิดของหลอดไฟและโคมไฟถนน

การเลือกชนิดของหลอดไฟที่ใช้ทดสอบ จะพิจารณาองค์ประกอบที่มีผลต่อการเลือกใช้ในการออกแบบไฟถนน ดังนี้

- ขนาดของหลอดไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้าและฟลักซ์ส่องสว่าง)
- สีของแสงและการเห็นสี (Tc, Ra)
- ประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้า
- ขนาดทางกายภาพของหลอดไฟฟ้า
- ราคาของหลอดไฟฟ้า
- อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า

โคมไฟถนนชนิดต่าง ๆ ที่จะใช้ในการจำลองระบบติดตั้ง คำนวณและวิเคราะห์ เลือกคุณสมบัติการกระจายความเข้มการส่องสว่าง I(C, γ) โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญที่เลือกใช้ ดังนี้

- ประสิทธิภาพของโคมไฟถนน
- ขนาดทางกายภาพของโคมไฟถนน
- การกระจายแสงของโคมไฟถนน
- ความคงทนและชั้นการป้องกันของโคมไฟถนน
- ราคาของโคมไฟถนน

3.3 เลือกรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน

การติดตั้งตำแหน่งเสาของดวงโคมไฟฟ้าแสงสว่างถนน ดังนี้

- การติดตั้งตำแหน่งเสาของดวงโคมไฟฟ้าอยู่ในแนวด้านเดียวกัน
- การติดตั้งตำแหน่งเสาของดวงโคมไฟฟ้าให้อยู่สลับตำแหน่งกันของสองข้างถนน
- การติดตั้งตำแหน่งเสาของดวงโคมไฟฟ้าให้อยู่ตำแหน่งตรงข้ามกันของสองข้างถนน
- การติดตั้งตำแหน่งเสาของดวงโคมไฟฟ้าบริเวณเกาะกลางถนน เสาเดี่ยวกิ่งคู่
- การติดตั้งตำแหน่งเสาของดวงโคมไฟฟ้าบริเวณเกาะกลางถนน เสาคู่กิ่งเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทำการออกแบบค่าตัวแปรทางกายภาพที่เหมาะสม

- ระยะห่างระหว่างช่วงเสา (Spacing)
- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height)
- มุมเงย (Tilt Angle)
- ช่วงยื่น (Overhang)

3.5 ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการออกแบบ

- ค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนน(Eav) , ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน(Lav) , ค่าความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน(Uo) , ค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน(Ul) และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน(TI) รวมถึงค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (C)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า , แรงดันตก , ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง , การประหยัดพลังงาน

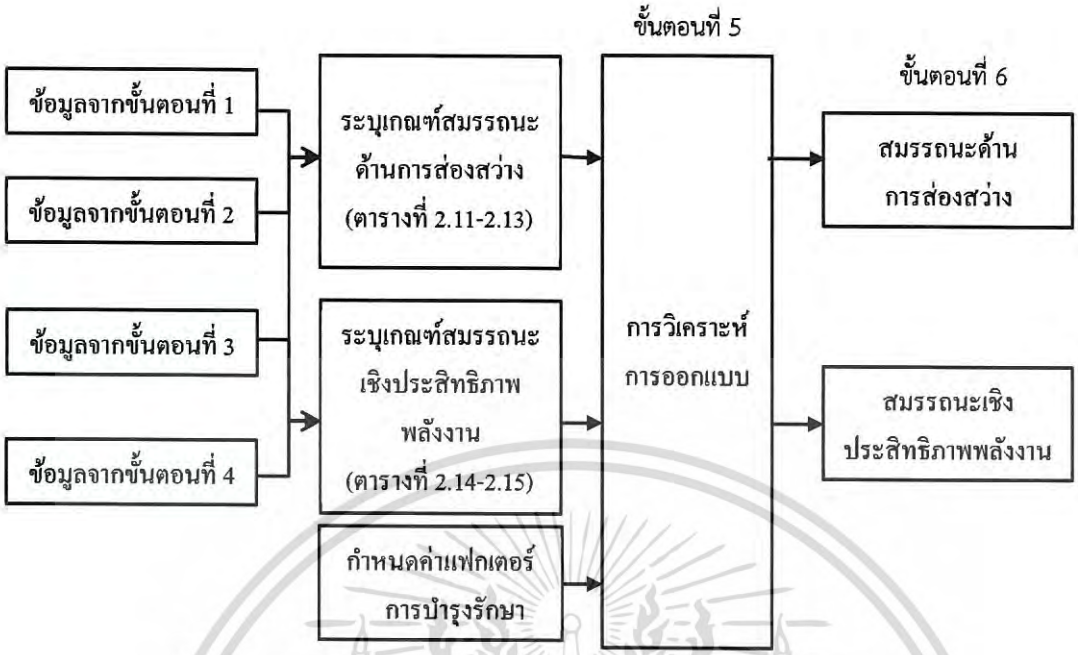
3.6 วิเคราะห์และอภิปรายผลการจำลอง

- เปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้กับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ปรับแต่งมิติของการติดตั้งโคมไฟถนนและคำนวณค่าความส่องสว่างจนได้ค่าที่เหมาะสม ที่พิจารณาทั้งด้านคุณภาพแสง ความปลอดภัย สมรรถนะการส่องสว่างและด้านสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพพลังงาน รวมถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

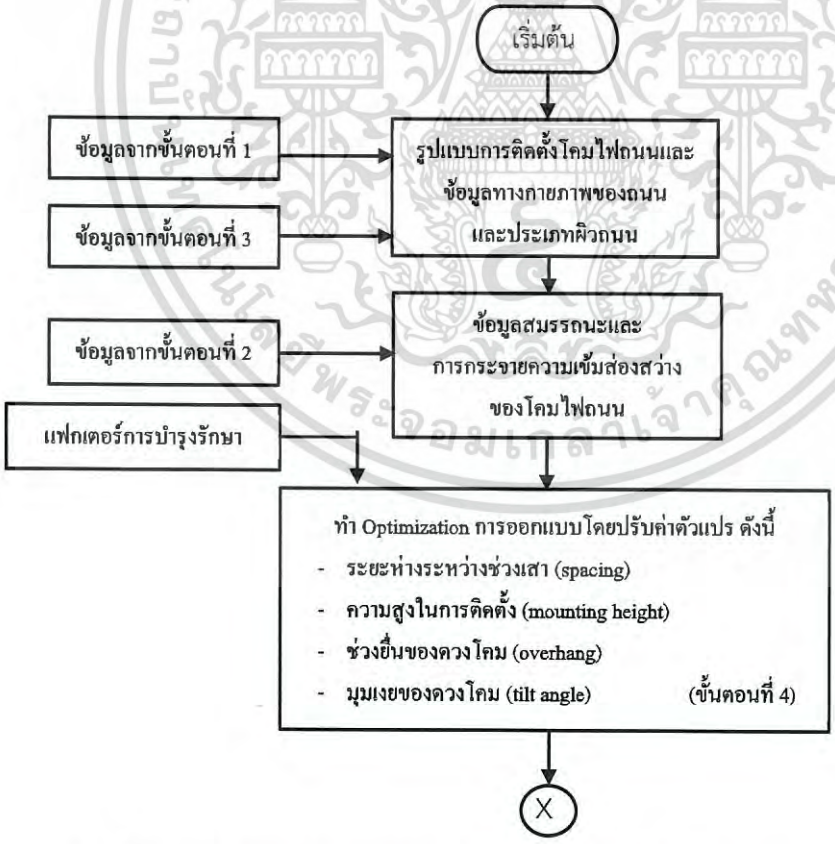
- สร้างสมบัติทางแสงของโคมไฟถนนของระบบติดตั้งการส่องสว่าง เช่น ตาราง แผนภาพ และกราฟ ในการนำเสนอข้อมูลทางแสงต่างๆ

โดยขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การจำลองระบบไฟส่องสว่างถนนแสดงเป็นแผนภาพอย่างง่ายและแผนภาพอย่างละเอียดดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

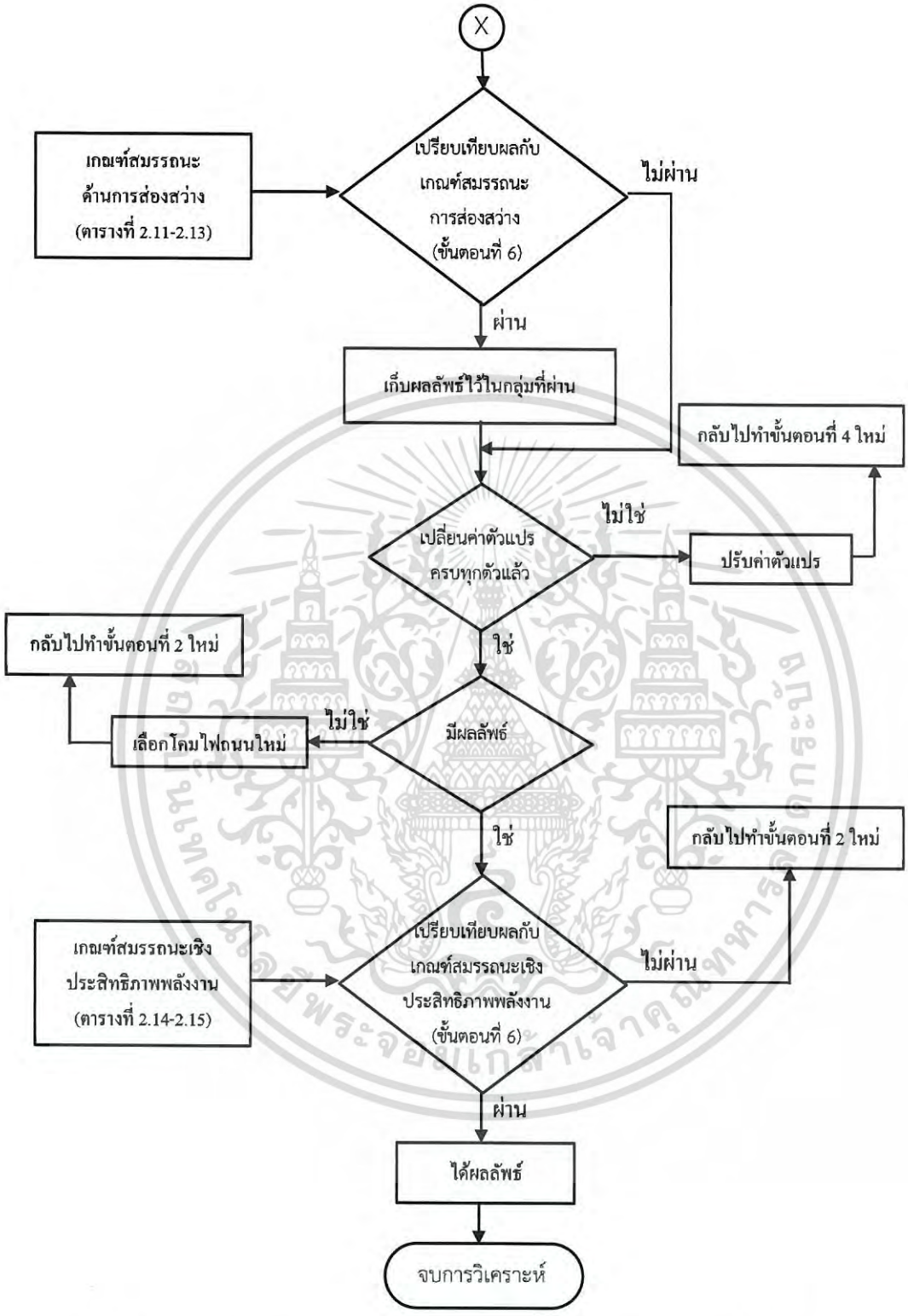


รูปที่ 3.1 แผนภาพอย่างง่ายของการทำงานตามขั้นตอนการออกแบบไฟถนน



รูปที่ 3.2 แผนภาพอย่างละเอียดของการทำงานตามขั้นตอนการออกแบบไฟถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



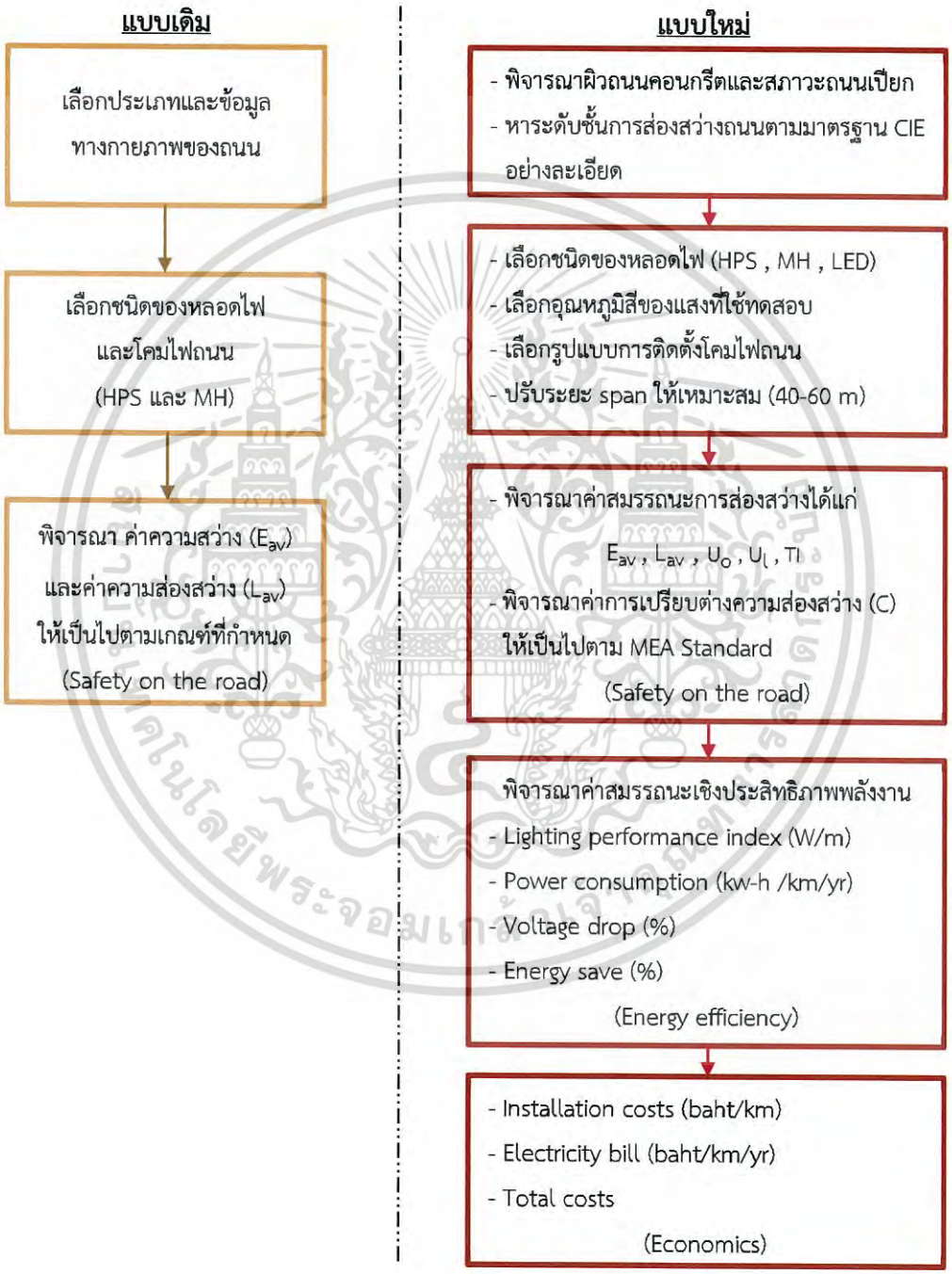
รูปที่ 3.2 แผนภาพอย่างละเอียดของการทำงานตามขั้นตอนการออกแบบไฟถนน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองระบบไฟส่องสว่างถนน

4.1 เทคนิคใหม่สำหรับการออกแบบไฟถนน



รูปที่ 4.1 แผนภาพขั้นตอนการออกแบบไฟถนนแบบเก่าเปรียบเทียบกับแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทและข้อมูลทางกายภาพของถนน

พิจารณาพื้นผิวทางกายภาพของถนนที่ใช้ในการจำลอง 2 แบบ คือ R1 และ W1 โดยที่พื้นผิวถนนแทนผิวถนนคอนกรีตและพิจารณาในสภาวะถนนเปียก ตามลำดับ

ประเมินประเภทของถนนเพื่อหาระดับชั้นการส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การประเมินวิธีการเลือกระดับชั้นการส่องสว่างของพื้นที่ M ของ CIE Publ. 115

ค่าเฉพาะ	ทางเลือก	ค่าให้น้ำหนัก (WV)	ค่าที่เลือก (SWV)
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 (ยานยนต์มีเปอร์เซ็นต์ต่ำ)	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		ผลรวมของค่าให้น้ำหนัก	SWV = 2
		ผลลัพธ์	**M4**

ถนนที่พิจารณาเป็นพื้นที่ในเมืองมีความกว้างของถนน 10 เมตร จำนวน 3 เลน และมีระดับชั้นการส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE คือ M4 ซึ่งเป็นเส้นทางการจราจรที่สำคัญในเมืองและเป็นถนนที่เชื่อมต่อกับถนนหลัก ถือเป็นประเภทถนนที่มีมากที่สุดในเขตการไฟฟ้านครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกชนิดของหลอดไฟและโคมไฟถนน

ชนิดของหลอดไฟฟ้าที่นำมาพิจารณาในการทดสอบมี 3 ชนิด คือ

- หลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium : HPS) ยี่ห้อ B ขนาด 250 W
- หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide : MH) ยี่ห้อ B ขนาด 250 W
- หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode : LED) ยี่ห้อ A และ B ขนาด 150 W และ 250 W รวมถึง LED + Solar ยี่ห้อ C ขนาด 120 W

ชนิดของโคมไฟฟ้าที่นำมาพิจารณาในการทดสอบ โดยเลือกคุณสมบัติการกระจายความเข้มส่องสว่าง I(C, γ) ดังนี้

- Throw ชนิด Type Intermediate
- Spread ชนิด Type Narrow
- Control ชนิด Type Limited
- ชนิดการกระจายแสง Type II ชนิด Cut-off

อุณหภูมิสีของแสงที่นำมาพิจารณาในการทดสอบมี 3 ช่วง คือ

- Warm White 2,000 - 3,500 Kelvin
- Cool White 4,000 - 4,500 Kelvin
- Day Light 6,500 Kelvin

เลือกรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน

การติดตั้งเสาไฟถนนเลือกรูปแบบการติดตั้งแบบด้านเดียว (Single- sided) โดยตำแหน่งของเสาไฟถนนอยู่ในแนวด้านเดียวกันทั้งหมด

การออกแบบค่าตัวแปรทางแสงที่เหมาะสม

- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 – 60 เมตร
- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 1-2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5° - 10°

การจำลองระบบไฟส่องสว่างถนนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะพิจารณาภายใต้ 2 เงื่อนไข คือ การติดตั้งไฟถนนรูปแบบดั้งเดิม (Traditional Model) 4 รูปแบบ และการติดตั้งไฟถนนรูปแบบใหม่ (Innovative Model) ทั้งหมด 9 รูปแบบ โดยเปรียบเทียบสมรรถนะการส่องสว่าง สมรรถนะเชิงประสิทธิภาพพลังงาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสม ดังนี้

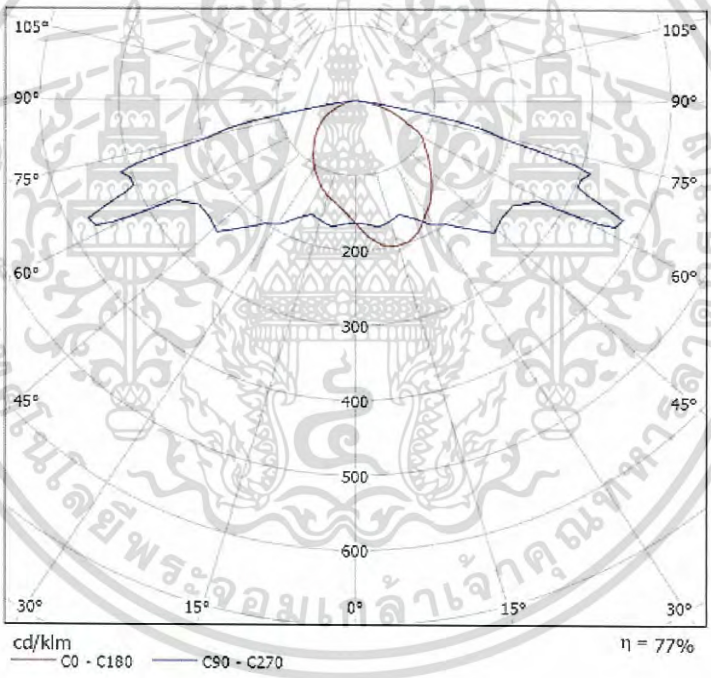
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กรณีศึกษา

4.2.1 การติดตั้งไฟถนนรูปแบบดั้งเดิม (TRADITIONAL MODEL)

4.2.1.1 โคมไฟชนิดหลอด HPS ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B)

- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง

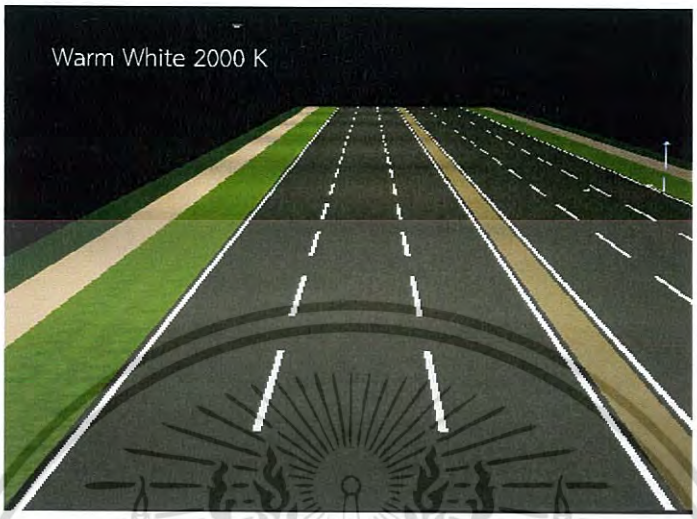


Luminous Flux:	29000	lm
Power:	285.4	W

รูปที่ 4.2 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนน หลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Warm White 2,000 K (สีเหลืองทอง)



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 2,000 K

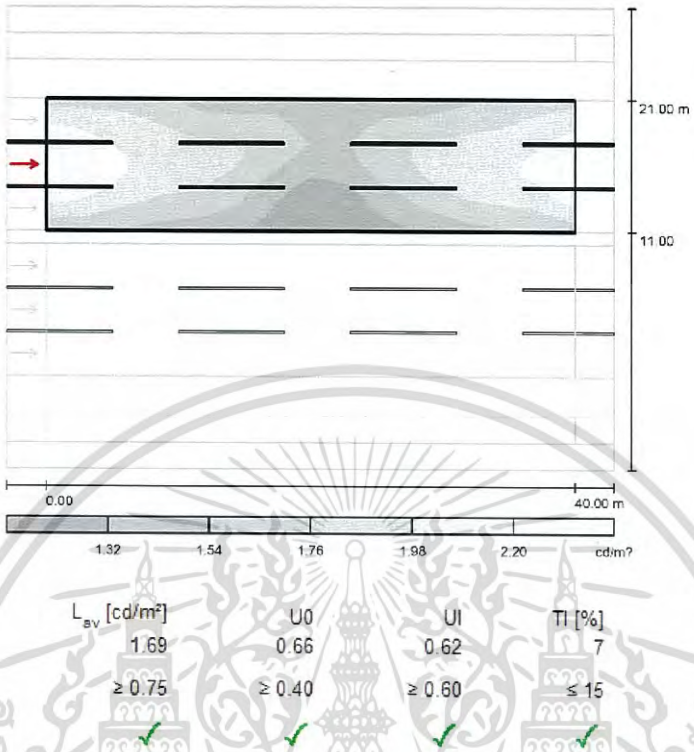
1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
17	9.89	27	0.575	0.370

รูปที่ 4.4 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.5 ค่า L_{av} ,U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K

ตารางที่ 4.2 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K

9.444	1.74	1.72	1.69	1.61	1.39	1.49	1.52	1.32	1.46	1.40	1.47	1.62	1.67	1.73
8.333	1.94	1.87	1.79	1.71	1.54	1.68	1.46	1.18	1.59	1.61	1.63	1.70	1.76	1.85
7.222	2.06	1.96	1.85	1.78	1.72	1.76	1.76	1.39	1.67	1.72	1.80	1.77	1.83	1.97
6.111	2.16	2.06	1.90	1.83	1.83	1.78	1.59	1.37	1.66	1.77	1.81	1.87	1.86	2.12
5.000	2.21	2.11	1.94	1.87	1.84	1.71	1.47	1.37	1.59	1.76	1.83	1.93	1.93	2.17
3.889	2.18	2.12	1.85	1.83	1.78	1.62	1.32	1.24	1.43	1.73	1.78	1.95	1.90	2.15
2.778	2.08	1.99	1.76	1.79	1.71	1.53	1.20	1.18	1.32	1.62	1.69	1.94	1.76	2.03
1.667	1.90	1.82	1.67	1.68	1.58	1.46	1.16	1.13	1.26	1.50	1.56	1.75	1.68	1.85
0.556	1.67	1.66	1.53	1.51	1.44	1.38	1.13	1.12	1.20	1.38	1.42	1.58	1.56	1.66
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

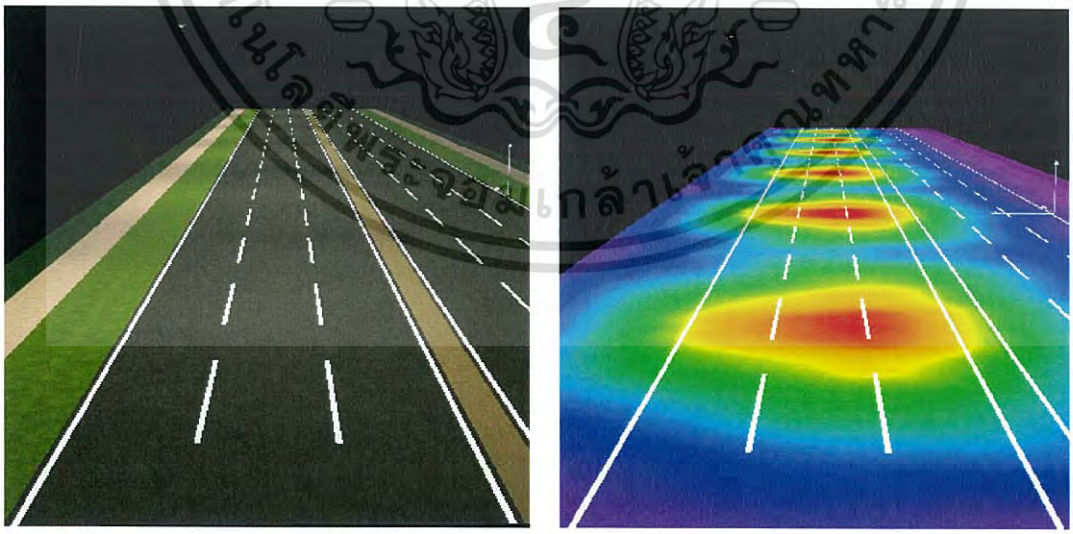
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.3 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,000 K

0.02	0.01	0.00	-0.04	-0.17	-0.11	-0.10	-0.21	-0.13	-0.17	-0.13	-0.04	-0.01	0.02
0.14	0.10	0.05	0.01	-0.08	-0.01	-0.13	-0.30	-0.05	-0.04	-0.03	0.01	0.04	0.09
0.21	0.15	0.09	0.05	0.01	0.04	0.04	-0.17	-0.01	0.01	0.06	0.04	0.08	0.16
0.27	0.21	0.12	0.08	0.08	0.05	-0.05	-0.18	-0.01	0.04	0.07	0.10	0.10	0.25
0.30	0.24	0.14	0.10	0.05	0.01	-0.13	-0.18	-0.05	0.04	0.08	0.14	0.14	0.28
0.28	0.25	0.09	0.08	0.01	-0.04	-0.21	-0.26	-0.15	0.02	0.05	0.15	0.12	0.27
0.23	0.17	0.04	0.05	-0.06	-0.09	-0.28	-0.30	-0.21	-0.04	0.00	0.14	0.04	0.20
0.12	0.07	-0.01	-0.01	-0.14	-0.13	-0.31	-0.33	-0.25	-0.11	-0.07	0.03	-0.01	0.09
-0.01	-0.01	-0.09	-0.10	-0.11	-0.18	-0.33	-0.33	-0.28	-0.18	-0.15	-0.06	-0.07	-0.01

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



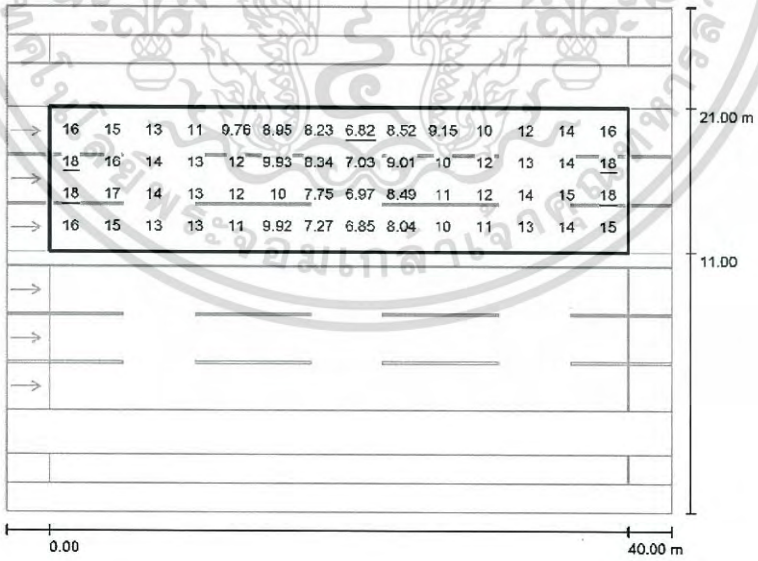
รูปที่ 4.6 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)ที่อุณหภูมิสี 2,000 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Warm White 2,500 K (สีขาวเหลือง)

รูปที่ 4.7 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 2,500 K

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

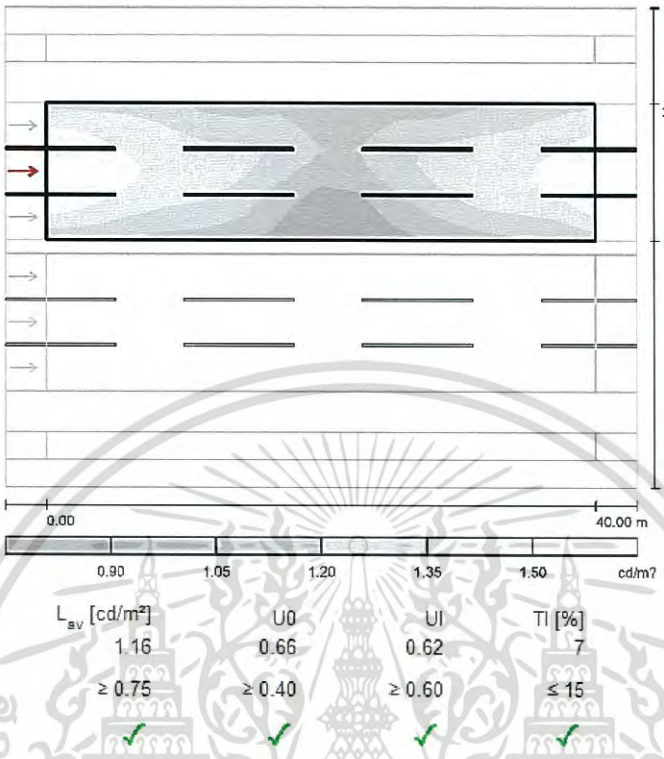


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
12	6.82	18	0.575	0.370

รูปที่ 4.8 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.9 ค่า L_{av} ,U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K

ตารางที่ 4.4 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K

9.444	1.74	1.72	1.69	1.61	1.39	1.49	1.52	1.32	1.46	1.40	1.47	1.62	1.67	1.73
8.333	1.94	1.87	1.79	1.71	1.54	1.68	1.46	1.18	1.59	1.61	1.63	1.70	1.76	1.85
7.222	2.06	1.96	1.85	1.78	1.72	1.76	1.76	1.39	1.67	1.72	1.80	1.77	1.83	1.97
6.111	2.16	2.06	1.90	1.83	1.83	1.78	1.59	1.37	1.66	1.77	1.81	1.87	1.86	2.12
5.000	2.21	2.11	1.94	1.87	1.84	1.71	1.47	1.37	1.59	1.76	1.83	1.93	1.93	2.17
3.889	2.18	2.12	1.85	1.83	1.78	1.62	1.32	1.24	1.43	1.73	1.78	1.95	1.90	2.15
2.778	2.08	1.99	1.76	1.79	1.71	1.53	1.20	1.18	1.32	1.62	1.69	1.94	1.76	2.03
1.667	1.90	1.82	1.67	1.68	1.58	1.46	1.16	1.13	1.26	1.50	1.56	1.75	1.68	1.85
0.556	1.67	1.66	1.53	1.51	1.44	1.38	1.13	1.12	1.20	1.38	1.42	1.58	1.56	1.66
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

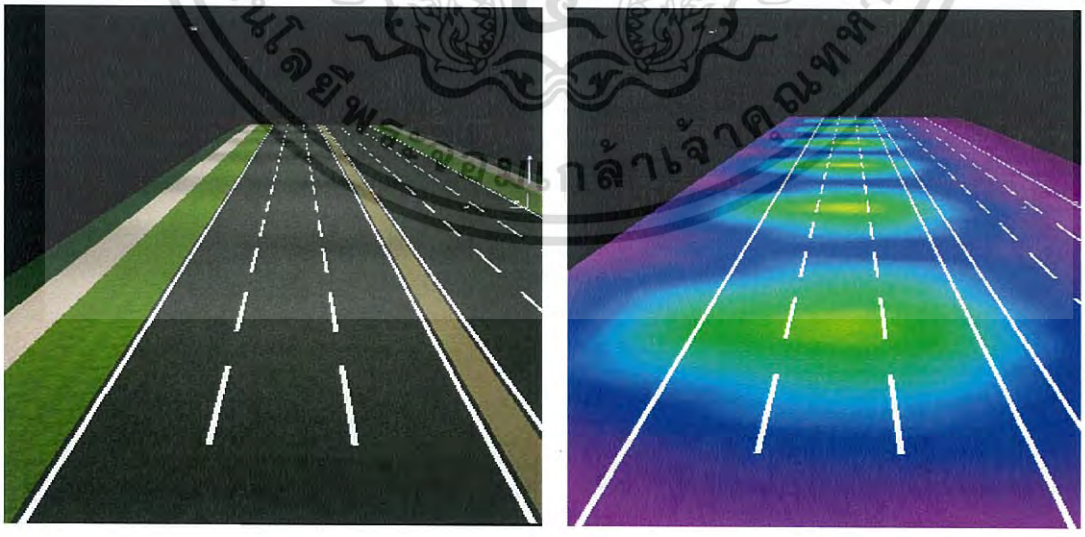
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.5 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 2,500 K

0.03	0.02	0.01	-0.04	-0.17	-0.11	-0.09	-0.21	-0.13	-0.17	-0.12	-0.03	-0.01	0.02
0.15	0.11	0.06	0.01	-0.07	0.00	-0.12	-0.29	-0.05	-0.04	-0.03	0.01	0.04	0.10
0.22	0.16	0.10	0.06	0.02	0.05	0.04	-0.17	-0.01	0.02	0.06	0.05	0.08	0.17
0.28	0.22	0.12	0.09	0.08	0.06	-0.05	-0.18	-0.01	0.05	0.07	0.11	0.10	0.25
0.31	0.25	0.15	0.11	0.09	0.01	-0.12	-0.18	-0.05	0.04	0.09	0.14	0.14	0.29
0.30	0.25	0.09	0.08	0.06	-0.03	-0.21	-0.25	-0.14	0.02	0.06	0.16	0.12	0.27
0.23	0.18	0.05	0.06	0.01	-0.09	-0.28	-0.30	-0.21	-0.04	0.01	0.15	0.05	0.20
0.12	0.07	0.00	0.00	-0.06	-0.12	-0.31	-0.32	-0.25	-0.11	-0.06	0.04	0.00	0.10
-0.01	-0.01	-0.09	-0.10	-0.14	-0.18	-0.32	-0.33	-0.29	-0.18	-0.15	-0.06	-0.06	-0.01

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.10 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอดHPS ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)ที่อุณหภูมิสี2,500 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 25 หลอด

$P_{lamp,loss} = 250 \times 25 = 6,250$ W

$P_{ballast,loss} = 35.4 \times 25 = 885$ W

$P_{line,loss} = 3I^2Z = 3 \times 12.12^2 \times 1.2438 = 548.12$ W

$P_{consumption} = 6,250 + 885 + 548.12 = 7,683.12$ W หรือ 7.6831 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 7.6831 x 4,380 = 33,651.98 kw-h หรือ 33,651.98 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 33,651.98 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 33,651.98 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 96,062.94 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 96,062.94 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 12.12 A x 500 / 1000 = 14.54 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD24 + VD25 = 15.12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันตกของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0464	0.0929	0.1393	0.1858	0.2323
VD6	**VD7**	**VD8**	**VD9**	**VD10**
0.2787	0.3252	0.3717	0.4181	0.4652
VD11	**VD12**	**VD13**	**VD14**	**VD15**
0.5117	0.5582	0.6047	0.6513	0.6978
VD16	**VD17**	**VD18**	**VD19**	**VD20**
0.7443	0.7908	0.8373	0.8839	0.9304
VD21	**VD22**	**VD23**	**VD24**	**VD25**
0.9769	1.0234	1.0699	1.1165	1.1630

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{14.54}{400} \times 100 = 3.635\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{15.12}{400} \times 100 = 3.780\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 15.12 V หรือ 3.780 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 285.4/40 = **7.135 W/m**
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ HPS เท่ากับ **101.61 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 20-40 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ HPS ประมาณ **16,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

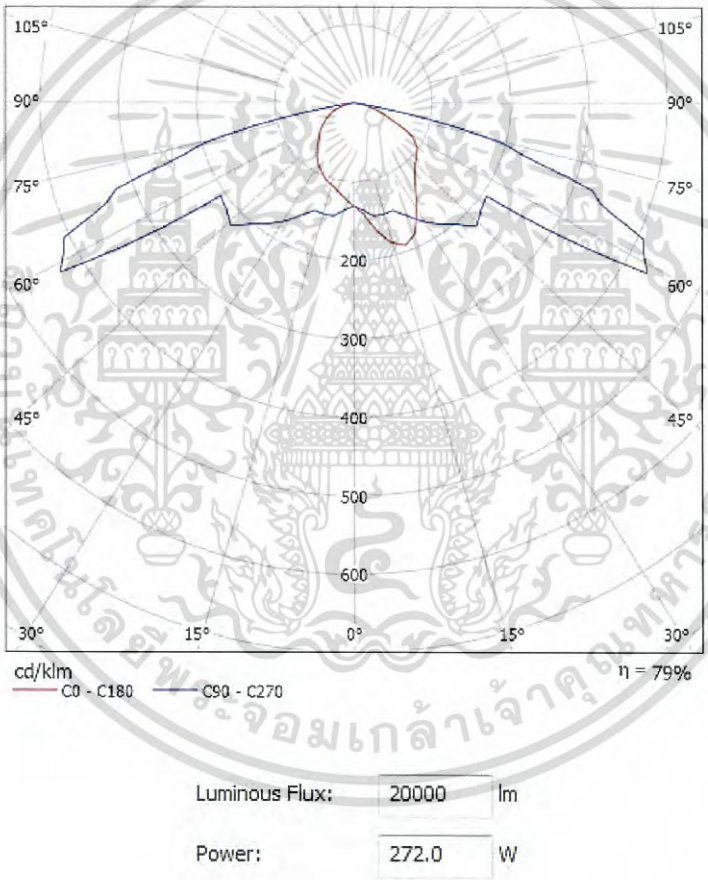
ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด HPS ขนาด 250 W ในระยะทาง 1km

รายการติดตั้ง	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ชุดโคมไฟถนน HPS 1x250 watts +สายไฟ CU	25	EA	17,935.21	448,380.25
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	25	EA	27,923.64	698,091.00
รวม (บาท)				**1,146,471.25**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 โคมไฟชนิดหลอด MH ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B)

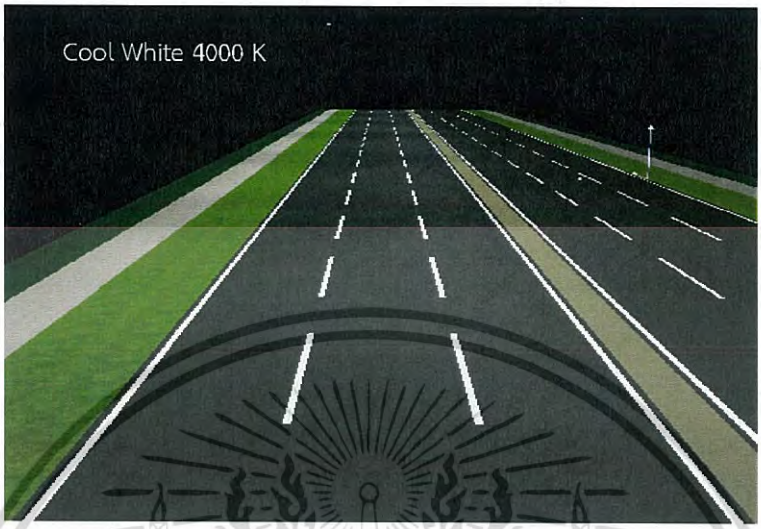
- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง



รูปที่ 4.11 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)

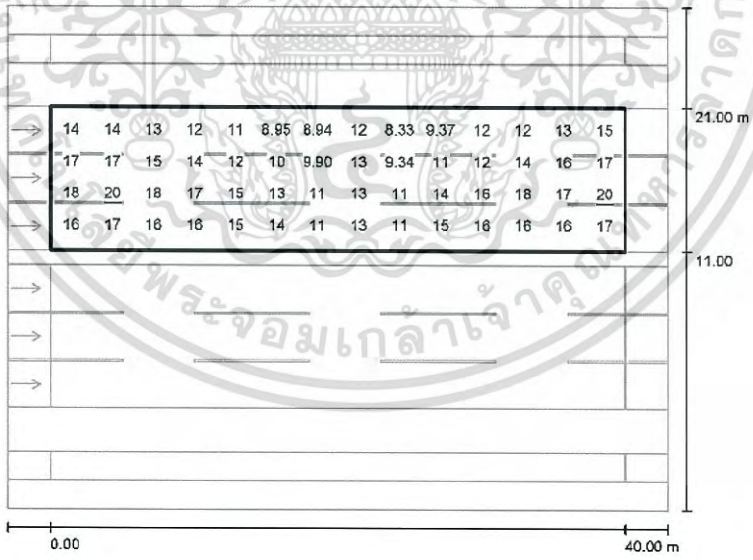
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,000 K (สีขาว)



รูปที่ 4.12 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (MH)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

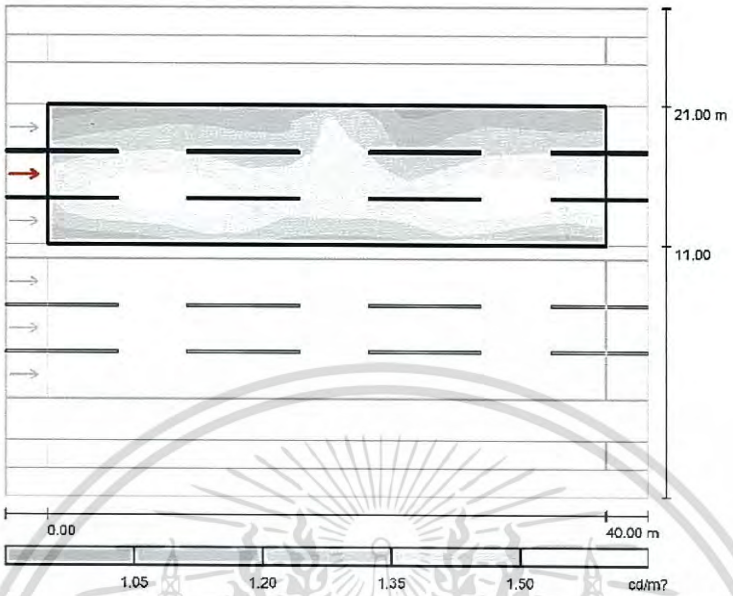


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
14	7.96	20	0.583	0.395

รูปที่ 4.13 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.14 ค่า L_{av} ,U_O ,U_l , TI ของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K

ตารางที่ 4.8 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K

9.444	1.01	1.06	1.13	1.12	1.07	1.06	1.13	1.42	0.99	1.03	1.10	1.13	1.09	1.06
8.333	1.14	1.17	1.21	1.23	1.24	1.15	1.31	1.64	1.05	1.11	1.24	1.21	1.18	1.19
7.222	1.23	1.28	1.30	1.33	1.27	1.25	1.10	1.48	1.10	1.18	1.25	1.30	1.27	1.30
6.111	1.34	1.40	1.42	1.39	1.30	1.29	1.37	1.65	1.18	1.25	1.33	1.40	1.40	1.40
5.000	1.43	1.52	1.50	1.53	1.42	1.38	1.37	1.56	1.24	1.36	1.44	1.55	1.42	1.50
3.889	1.44	1.59	1.57	1.63	1.52	1.44	1.38	1.53	1.31	1.52	1.60	1.72	1.51	1.58
2.778	1.40	1.56	1.51	1.59	1.53	1.46	1.35	1.53	1.33	1.58	1.57	1.67	1.53	1.56
1.667	1.29	1.40	1.34	1.47	1.49	1.40	1.27	1.41	1.27	1.49	1.50	1.52	1.30	1.40
0.556	1.10	1.15	1.14	1.28	1.36	1.27	1.12	1.23	1.14	1.32	1.36	1.23	1.14	1.17
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

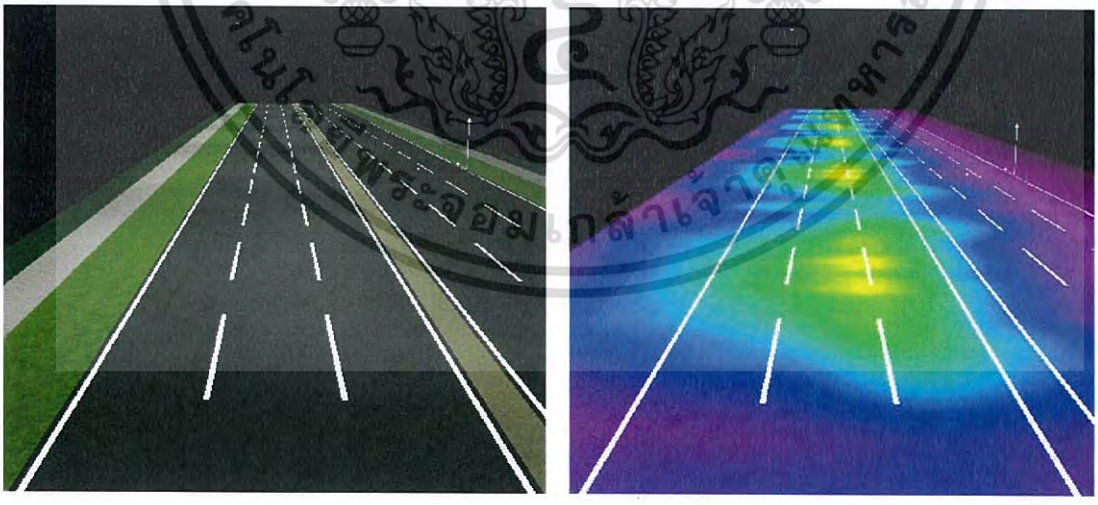
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.9 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,000 K

-0.24	-0.20	-0.15	-0.16	-0.20	-0.20	-0.15	0.05	-0.26	-0.23	-0.17	-0.15	-0.18	-0.20
-0.14	-0.12	-0.09	-0.08	-0.07	-0.14	-0.02	0.22	-0.21	-0.17	-0.07	-0.09	-0.11	-0.11
-0.08	-0.04	-0.02	-0.01	-0.05	-0.06	-0.17	0.10	-0.17	-0.11	-0.06	-0.02	-0.05	-0.02
0.00	0.04	0.05	0.03	-0.02	-0.03	0.02	0.23	-0.11	-0.06	-0.01	0.04	0.04	0.04
0.06	0.13	0.11	0.14	0.05	0.02	0.02	0.16	-0.07	-0.01	0.07	0.15	0.05	0.11
0.07	0.18	0.17	0.21	0.13	0.07	0.02	0.14	-0.02	-0.13	0.19	0.28	0.12	0.17
0.04	0.16	0.12	0.18	0.14	0.08	0.01	0.14	-0.01	0.17	0.17	0.24	0.14	0.16
-0.03	0.04	0.00	0.09	0.11	0.04	-0.05	0.05	-0.05	0.11	0.12	0.13	-0.02	0.04
-0.17	-0.14	-0.14	-0.04	0.01	-0.05	-0.16	-0.08	-0.14	-0.01	0.01	-0.08	-0.14	-0.12

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



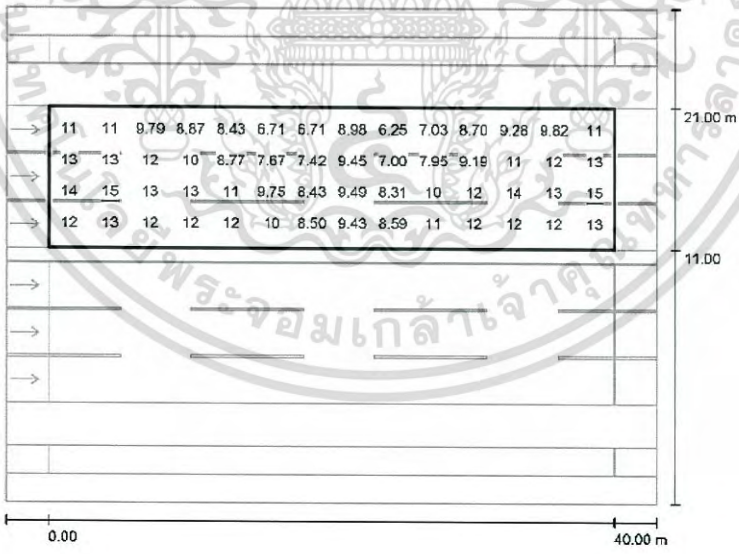
รูปที่ 4.15 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)ที่อุณหภูมิสี4,000 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,500 K (สีขาว)

รูปที่ 4.16 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (MH)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

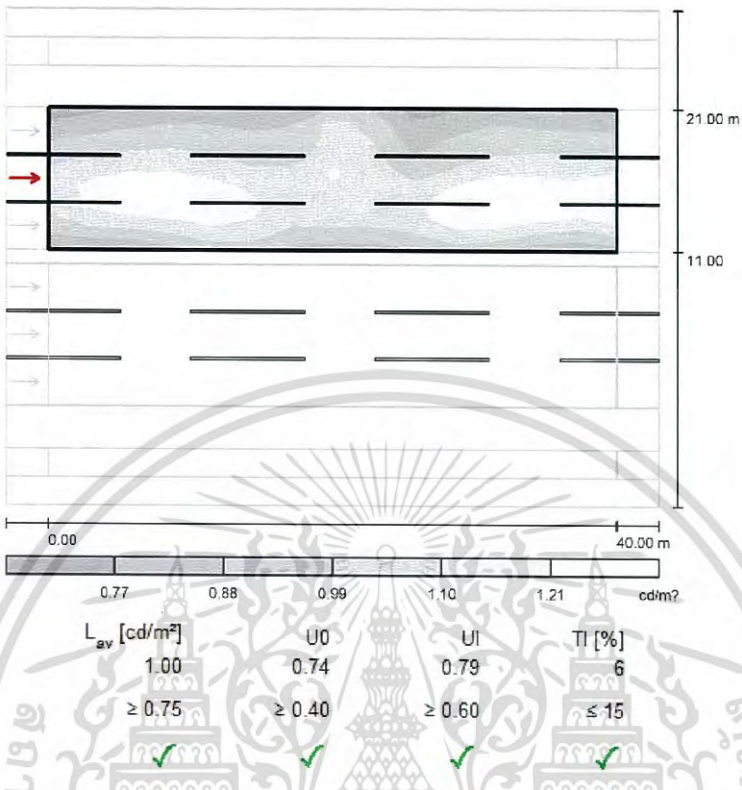


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
10	5.97	15	0.583	0.395

รูปที่ 4.17 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.18 ค่า L_{av} ,U_o ,U_l , TI ของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K

ตารางที่ 4.10 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K

9.444	0.76	0.79	0.84	0.84	0.80	0.80	0.85	1.07	0.74	0.77	0.82	0.85	0.82	0.80
8.333	0.85	0.88	0.91	0.93	0.93	0.86	0.98	1.23	0.78	0.83	0.93	0.91	0.88	0.89
7.222	0.92	0.96	0.98	1.00	0.95	0.94	0.83	1.11	0.82	0.88	0.94	0.98	0.95	0.97
6.111	1.00	1.05	1.06	1.05	0.97	0.96	1.03	1.24	0.88	0.94	1.00	1.05	1.05	1.05
5.000	1.08	1.14	1.13	1.15	1.06	1.03	1.03	1.17	0.93	1.02	1.08	1.16	1.06	1.12
3.889	1.08	1.19	1.18	1.22	1.14	1.08	1.04	1.15	0.99	1.14	1.20	1.29	1.13	1.19
2.778	1.05	1.17	1.13	1.19	1.15	1.10	1.01	1.15	1.00	1.19	1.18	1.25	1.15	1.17
1.667	0.97	1.05	1.01	1.10	1.12	1.05	0.95	1.06	0.95	1.12	1.13	1.14	0.98	1.05
0.556	0.83	0.86	0.86	0.96	1.02	0.95	0.84	0.92	0.85	0.99	1.02	0.92	0.85	0.88
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

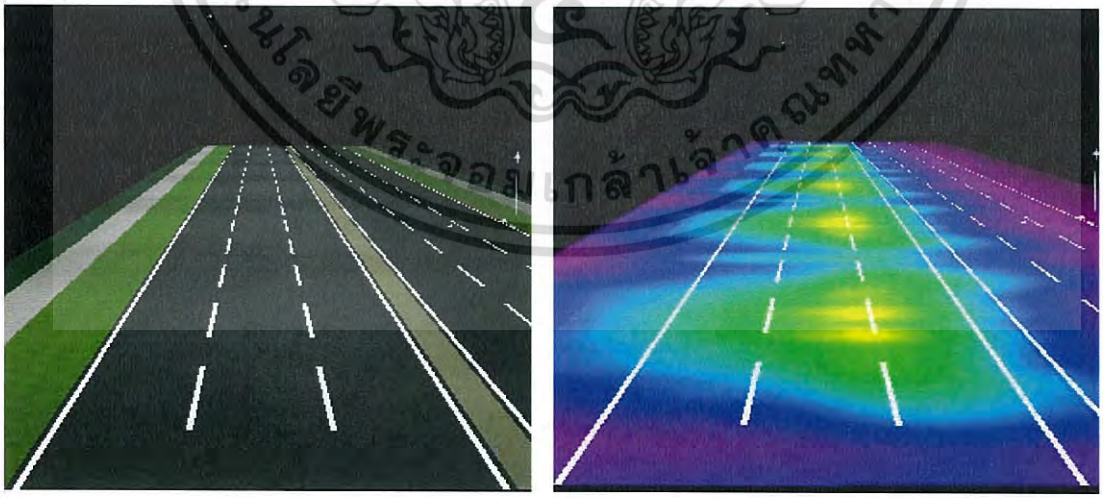
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.11 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี 4,500 K

-0.24	-0.20	-0.15	-0.16	-0.20	-0.20	-0.15	0.05	-0.26	-0.23	-0.17	-0.15	-0.18	-0.20
-0.14	-0.12	-0.09	-0.08	-0.07	-0.14	-0.02	0.22	-0.21	-0.17	-0.07	-0.09	-0.11	-0.11
-0.08	-0.04	-0.02	-0.01	-0.05	-0.06	-0.17	0.10	-0.17	-0.11	-0.06	-0.02	-0.05	-0.02
0.00	0.04	0.05	0.03	-0.02	-0.03	0.02	0.23	-0.11	-0.06	-0.01	0.04	0.04	0.04
0.06	0.13	0.11	0.14	0.05	0.02	0.02	0.16	-0.07	-0.01	0.07	0.15	0.05	0.11
0.07	0.18	0.17	0.21	0.13	0.07	0.02	0.14	-0.02	-0.13	0.19	0.28	0.12	0.17
0.04	0.16	0.12	0.18	0.14	0.08	0.01	0.14	-0.01	0.17	0.17	0.24	0.14	0.16
-0.03	0.04	0.00	0.09	0.11	0.04	-0.05	0.05	-0.05	0.11	0.12	0.13	-0.02	0.04
-0.17	-0.14	-0.14	-0.04	0.01	-0.05	-0.16	-0.08	-0.14	-0.01	0.01	-0.08	-0.14	-0.12

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.19 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด MH ขนาด 250 W(ยี่ห้อ B) ที่อุณหภูมิสี4,500 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 25 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 250 x 25 = 6,250 W

$P_{ballast,loss}$ = 22 x 25 = 550 W

$P_{line,loss}$ = $3I^2Z$ = 3 x 11.55^2 x 1.2438 = 497.78 W

$P_{consumption}$ = 6,250 + 550 + 497.78 = 7,297.78 W หรือ 7.2978 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 7.2978 x 4,380 = 31,964.36 kw-h หรือ 31,964.36 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 31,964.36 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 31,964.36 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 91,245.46 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 91,245.46 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 11.55 A x 500 / 1000 = 13.86 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD24 + VD25 = 14.41 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าแรงดันตกของโคมไฟถนนหลอด MH ขนาด 250 W ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0443	0.0887	0.1330	0.1774	0.2217
VD6	**VD7**	**VD8**	**VD9**	**VD10**
0.2661	0.3104	0.3548	0.3991	0.4435
VD11	**VD12**	**VD13**	**VD14**	**VD15**
0.4878	0.5322	0.5765	0.6209	0.6652
VD16	VD17	VD18	VD19	VD20
0.7096	0.7539	0.7983	0.8426	0.8870
VD21	VD22	VD23	VD24	VD25
0.9313	0.9757	1.0200	1.0644	1.1088

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{13.86}{400} \times 100 = 3.465\,\%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{14.41}{400} \times 100 = 3.602\,\%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 14.41 V หรือ 3.602 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 272/40= **6.8 W/m**
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ MH เท่ากับ **73.53 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 70-90 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ MH ประมาณ **8,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด MH ขนาด 250 W ในระยะทาง 1km

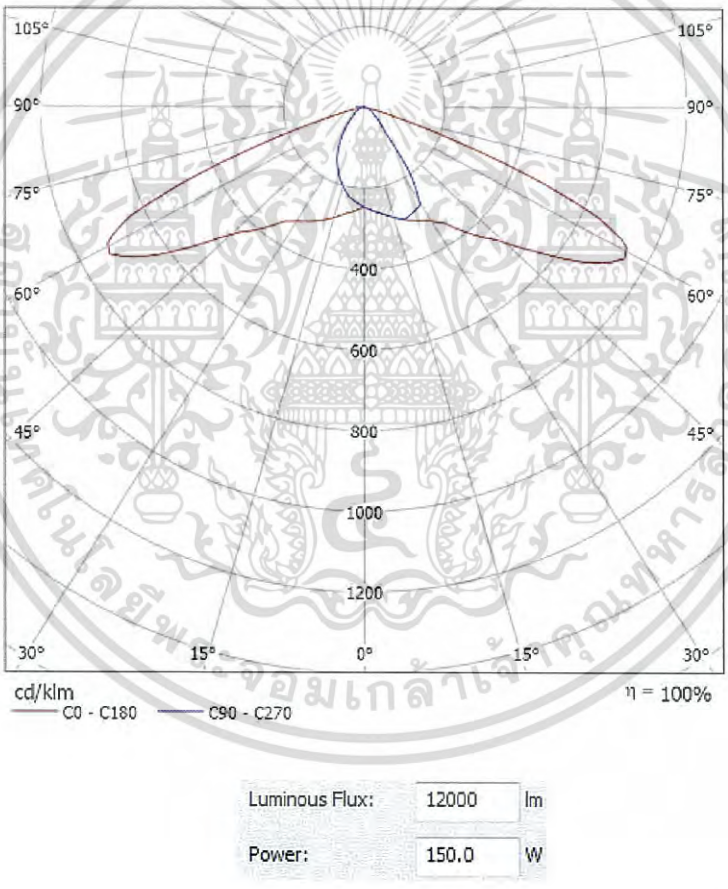
รายการติดตั้ง	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ชุดโคมไฟถนน MH 1x250 watts + สายไฟ CU	25	EA	18,280.21	457,005.25
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	25	EA	27,923.64	698,091.00
รวม (บาท)				**1,155,096.25**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การติดตั้งไฟถนนรูปแบบใหม่ (INNOVATIVE MODEL)

4.2.2.1 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ A)

- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 10°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง



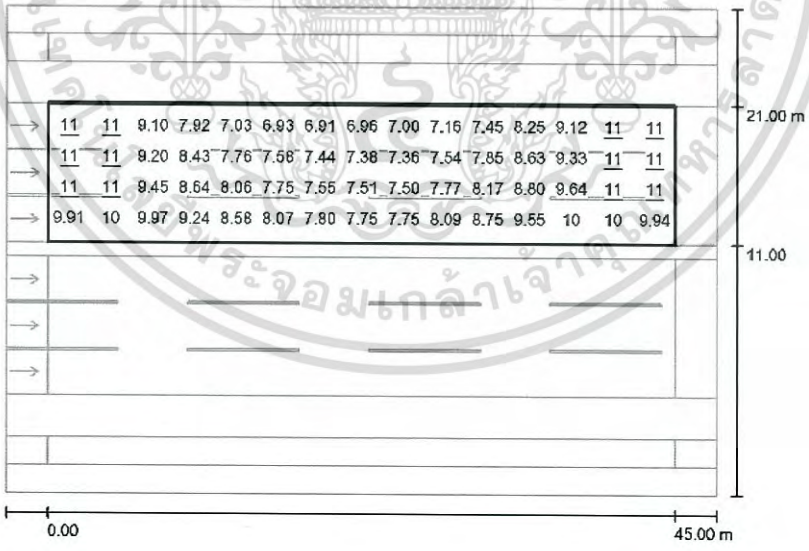
รูปที่ 4.20 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,500 K (สีขาว)

รูปที่ 4.21 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

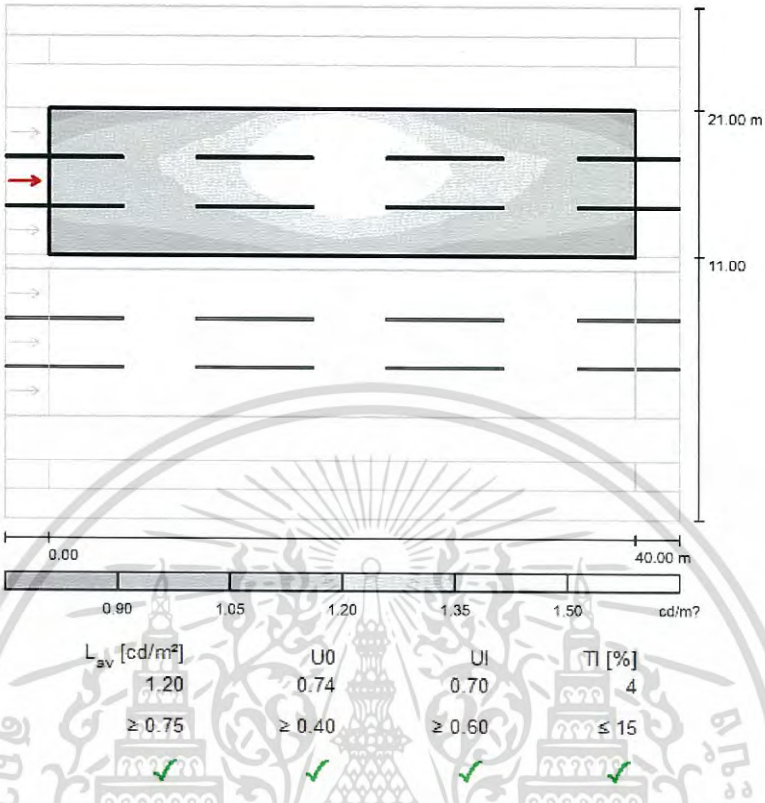


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
13	10	17	0.796	0.621

รูปที่ 4.22 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.23 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

ตารางที่ 4.14 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A)

9.444	0.89	0.99	1.03	1.06	1.11	1.29	1.41	1.37	1.24	1.12	1.06	1.04	1.00	0.90
8.333	1.02	1.13	1.12	1.17	1.22	1.43	1.65	1.51	1.35	1.22	1.16	1.12	1.13	1.01
7.222	1.11	1.19	1.17	1.23	1.30	1.51	1.31	1.53	1.45	1.29	1.23	1.19	1.20	1.11
6.111	1.15	1.20	1.18	1.25	1.31	1.52	1.65	1.64	1.50	1.38	1.27	1.21	1.20	1.14
5.000	1.13	1.18	1.16	1.24	1.32	1.49	1.60	1.61	1.47	1.32	1.25	1.19	1.17	1.14
3.889	1.10	1.14	1.13	1.19	1.26	1.39	1.50	1.52	1.41	1.30	1.22	1.19	1.16	1.11
2.778	1.07	1.11	1.09	1.15	1.20	1.28	1.37	1.39	1.32	1.21	1.16	1.20	1.12	1.06
1.667	1.03	1.04	1.04	1.08	1.11	1.17	1.25	1.26	1.21	1.10	1.08	1.10	1.03	1.03
0.556	0.93	0.97	0.97	1.00	1.01	1.07	1.13	1.14	1.10	1.00	1.01	0.99	0.96	0.93
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

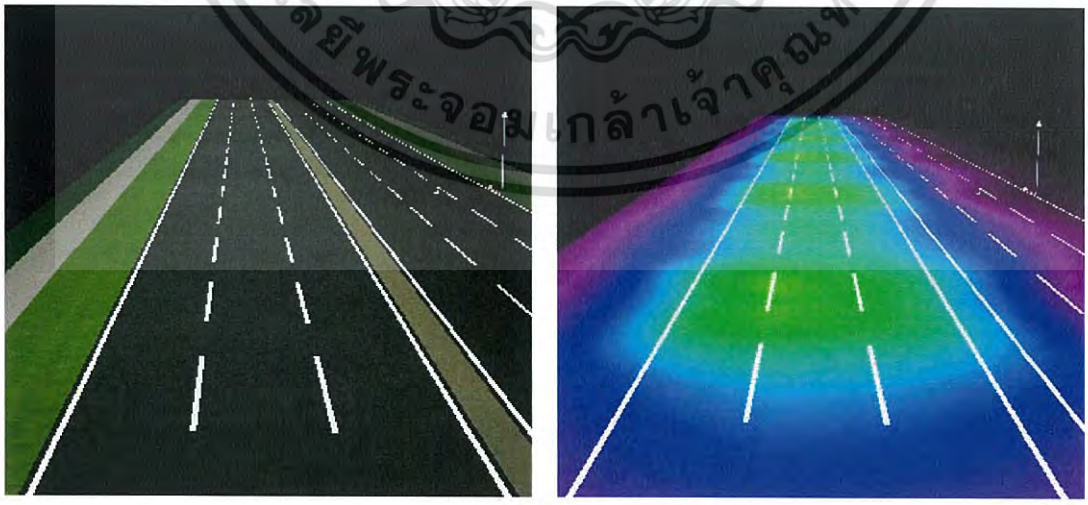
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.15 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

-0.25	-0.17	-0.14	-0.11	-0.07	0.07	0.17	0.14	0.03	-0.06	-0.11	-0.13	-0.16	-0.25
-0.15	-0.05	-0.06	-0.02	0.01	0.19	0.37	0.25	0.12	0.01	-0.03	-0.06	-0.05	-0.15
-0.07	-0.01	-0.02	0.02	0.08	0.25	0.09	0.27	0.20	0.07	0.02	-0.01	0.00	-0.07
-0.04	0.00	-0.01	0.04	0.09	0.26	0.37	0.36	0.25	0.15	0.05	0.01	0.00	-0.05
-0.05	-0.01	-0.03	0.03	0.10	0.24	0.33	0.34	0.22	0.10	0.04	-0.01	-0.02	-0.05
-0.08	-0.05	-0.05	-0.01	0.05	0.15	0.25	0.26	0.17	0.08	0.01	-0.01	-0.03	-0.07
-0.10	-0.07	-0.09	-0.04	0.00	0.06	0.14	0.15	0.10	0.01	-0.03	0.00	-0.06	-0.11
-0.14	-0.13	-0.13	-0.10	-0.07	-0.02	0.04	0.05	0.01	-0.08	-0.10	-0.08	-0.14	-0.14
-0.22	-0.19	-0.19	-0.16	-0.15	-0.10	-0.05	-0.05	-0.08	-0.16	-0.15	-0.17	-0.20	-0.22

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.24 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 25 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 150 x 25 = 3,750 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss} = 3I^2Z = 3 \times 6.01^2 \times 1.2438 = 134.78$ W (p.f. = 0.90)

$P_{consumption}$ = 3,750 + 134.78 = 3,884.78 W หรือ 3.8848 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 3.8848 x 4,380 = 17,015.42 kw-h หรือ 17,015.42 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 17,015.42 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 17,015.42 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 48,572.22 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 48,572.22 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 6.01 A x 500 / 1000 = 7.21 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD24 + VD25 = 7.49 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) span 40 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0230	0.0460	0.0691	0.0921	0.1152
VD6	VD7	VD8	VD9	VD10
0.1382	0.1612	0.1843	0.2073	0.2304
VD11	VD12	VD13	VD14	VD15
0.2534	0.2764	0.2995	0.3225	0.3456
VD16	VD17	VD18	VD19	VD20
0.3686	0.3916	0.4147	0.4377	0.4608
VD21	VD22	VD23	VD24	VD25
0.4838	0.5068	0.5299	0.5529	0.5760

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{7.21}{400} \times 100 = 1.803\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{7.49}{400} \times 100 = 1.872\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 7.49 V **หรือ 1.872 %**

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 150/40 = **3.75 W/m**
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **80.0 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 90 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

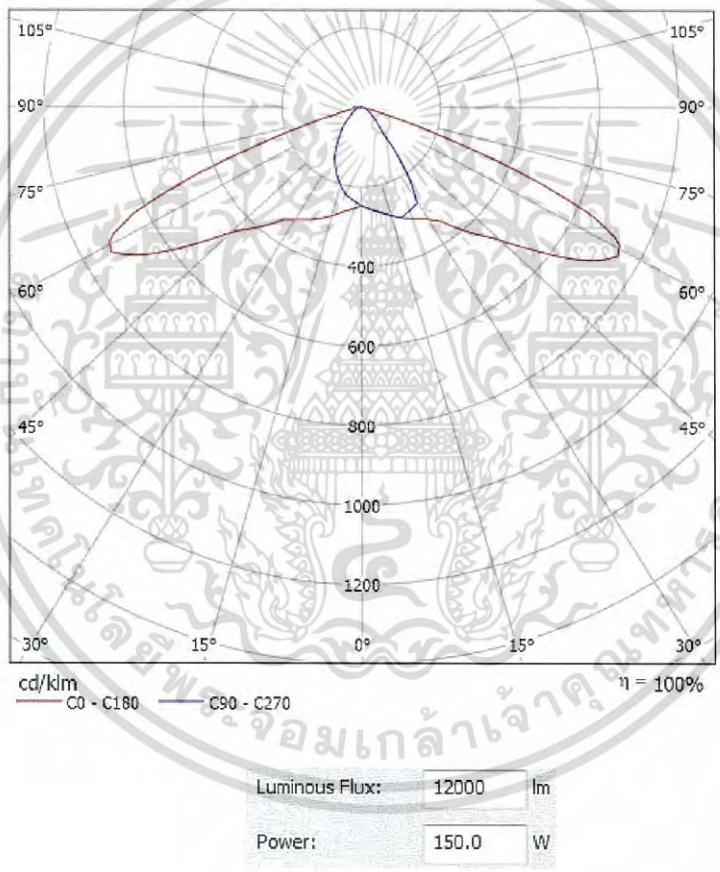
ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A)Span 40 m

รายการติดตั้ง	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**ราคา/หน่วย**	**มูลค่ารวม**
- ชุดโคมไฟถนน LED 150 watts + สายไฟ CU	25	EA	35,308.40	882,710.00
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	25	EA	27,923.64	698,091.00
รวม (บาท)				**1,580,801.00**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ A) + Optimization

- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 50 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 1 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 20 ดวง



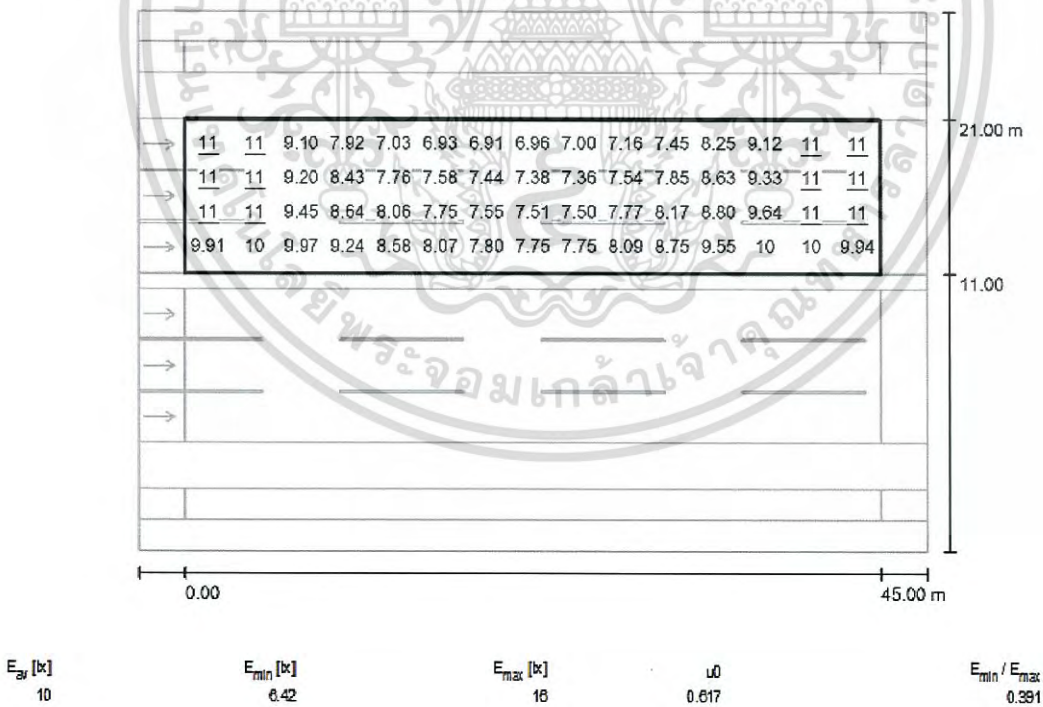
รูปที่ 4.25 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,500 K (สีขาว)

รูปที่ 4.26 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

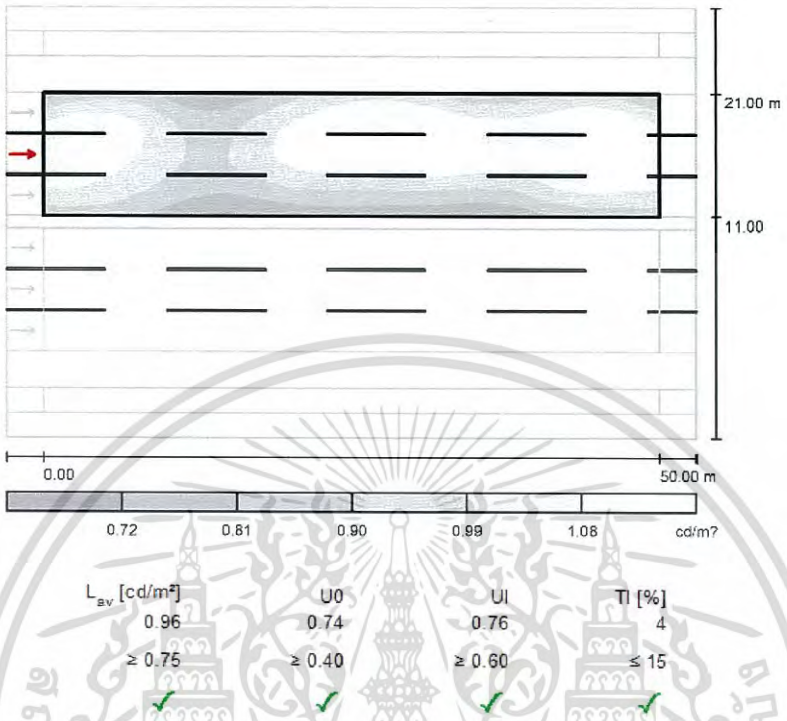


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
10	6.42	16	0.617	0.391

รูปที่ 4.27 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.28 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m

ตารางที่ 4.18 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 50 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A)

9.444	0.85	0.92	0.89	0.80	0.71	0.78	0.86	0.94	0.99	0.99	0.95	0.88	0.87	0.90	0.95	0.95	0.86
8.333	0.97	1.05	0.96	0.88	0.79	0.87	0.94	1.01	1.05	1.16	1.06	0.99	0.95	0.99	1.02	1.07	0.97
7.222	1.05	1.10	1.01	0.94	0.84	0.91	0.98	1.06	1.12	0.92	1.03	1.07	1.02	1.05	1.08	1.13	1.05
6.111	1.08	1.11	1.02	0.94	0.84	0.92	1.01	1.07	1.14	1.18	1.18	1.11	1.08	1.08	1.08	1.12	1.09
5.000	1.07	1.08	0.99	0.92	0.87	0.93	1.01	1.08	1.11	1.14	1.15	1.08	1.03	1.04	1.07	1.10	1.08
3.889	1.03	1.04	0.96	0.91	0.87	0.91	0.98	1.03	1.02	1.05	1.06	1.03	1.01	1.03	1.07	1.08	1.05
2.778	1.01	1.02	0.94	0.90	0.84	0.87	0.92	0.96	0.94	0.95	0.96	0.95	0.93	0.96	1.07	1.04	1.01
1.667	0.98	0.96	0.90	0.86	0.79	0.80	0.85	0.88	0.86	0.87	0.86	0.86	0.84	0.89	1.00	0.97	0.98
0.556	0.88	0.90	0.85	0.80	0.73	0.74	0.78	0.79	0.79	0.79	0.78	0.77	0.74	0.82	0.88	0.89	0.88
m	1.471	4.412	7.353	10.294	13.235	16.176	19.118	22.059	25.000	27.941	30.882	33.824	36.765	39.706	42.647	45.588	48.529

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

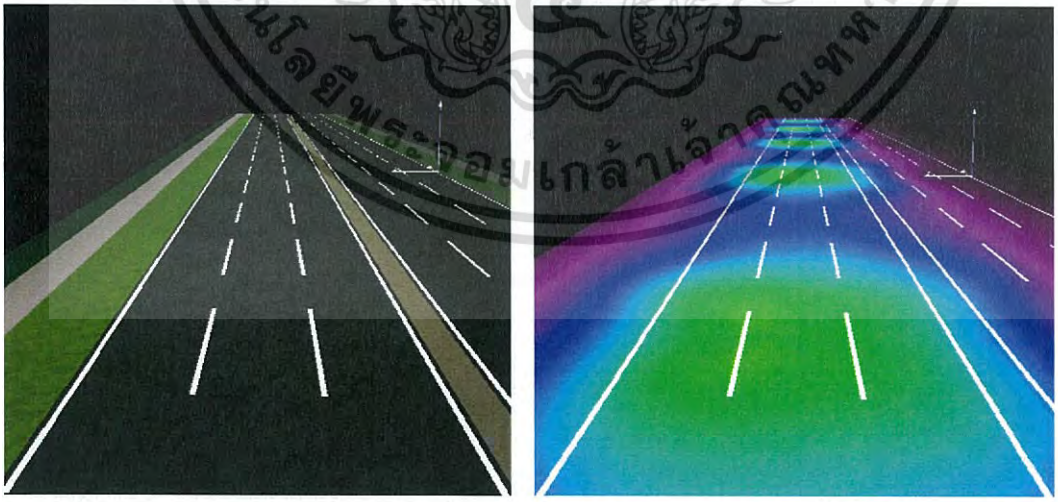
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.19 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m

-0.11	-0.04	-0.07	-0.16	-0.26	-0.18	-0.10	-0.02	0.03	0.03	-0.01	-0.08	-0.09	-0.06	-0.01	-0.01	-0.10
0.01	0.09	0.00	-0.08	-0.17	-0.09	-0.02	0.05	0.09	0.20	0.10	0.03	-0.01	0.03	0.06	0.11	0.01
0.09	0.14	0.05	-0.02	-0.12	-0.05	0.02	0.10	0.16	-0.04	0.07	0.11	0.06	0.09	0.12	0.17	0.09
0.12	0.15	0.06	-0.02	-0.12	-0.04	0.05	0.11	0.18	0.22	0.22	0.15	0.12	0.12	0.12	0.16	0.13
0.11	0.12	0.03	-0.04	-0.09	-0.03	0.05	0.12	0.15	0.18	0.19	0.12	0.07	0.08	0.11	0.14	0.12
0.07	0.08	0.00	-0.05	-0.09	-0.05	0.02	0.07	0.06	0.09	0.10	0.07	0.05	0.07	0.11	0.12	0.09
0.05	0.06	-0.02	-0.06	-0.12	-0.09	-0.04	0.00	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.03	0.00	0.11	0.08	0.05
0.02	0.00	-0.06	-0.10	-0.17	-0.16	-0.11	-0.08	-0.10	-0.09	-0.10	-0.10	-0.12	-0.07	0.04	0.01	0.02
-0.08	-0.06	-0.11	-0.16	-0.23	-0.22	-0.18	-0.17	-0.17	-0.17	-0.18	-0.19	-0.22	-0.14	-0.08	-0.07	-0.08

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.29 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span 50 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 20 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 150 x 20 = 3,000 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss} = 3I^2Z = 3 \times 4.81^2 \times 1.2438 = 86.33$ W (p.f. = 0.90)

$P_{consumption}$ = 3,000 + 86.33 = 3,086.33 W หรือ 3.0863 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 3.0863 x 4,380 = 13,518 kw-h หรือ 13,518 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 13,518 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 13,518 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 38,588.48 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 38,588.48 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 4.81 A x 500 / 1000 = 5.77 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD19 + VD20 = 6.05 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) span 50 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0288	0.0576	0.0864	0.1152	0.1440
VD6	**VD7**	**VD8**	**VD9**	**VD10**
0.1728	0.2016	0.2304	0.2592	0.2880
VD11	**VD12**	**VD13**	**VD14**	**VD15**
0.3168	0.3456	0.3744	0.4032	0.4320
VD16	**VD17**	**VD18**	**VD19**	**VD20**
0.4608	0.4896	0.5184	0.5472	0.5760

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{5.77}{400} \times 100 = 1.442\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{6.05}{400} \times 100 = 1.512\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 6.05 V หรือ 1.512 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 150/50 = 3.00 W/m
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **80.0 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 90 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

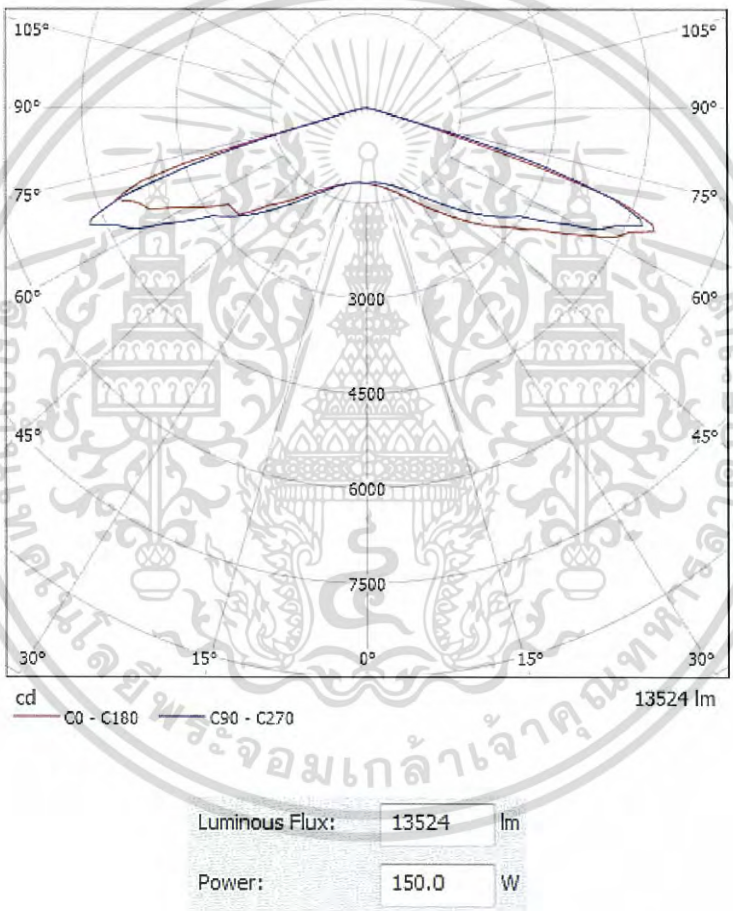
ตารางที่ 4.21 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ A) Span50 m

รายการติดตั้ง	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**ราคา/หน่วย**	**มูลค่ารวม**
- ชุดโคมไฟถนน LED 150 watts + สายไฟ CU	20	EA	35,308.40	706,168.00
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	20	EA	27,923.64	558,472.80
รวม (บาท)				**1,264,640.80**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ B)

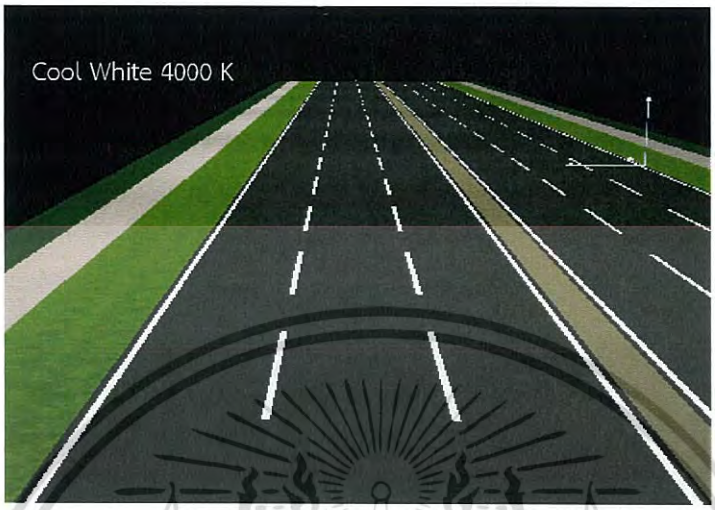
- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง



รูปที่ 4.30 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

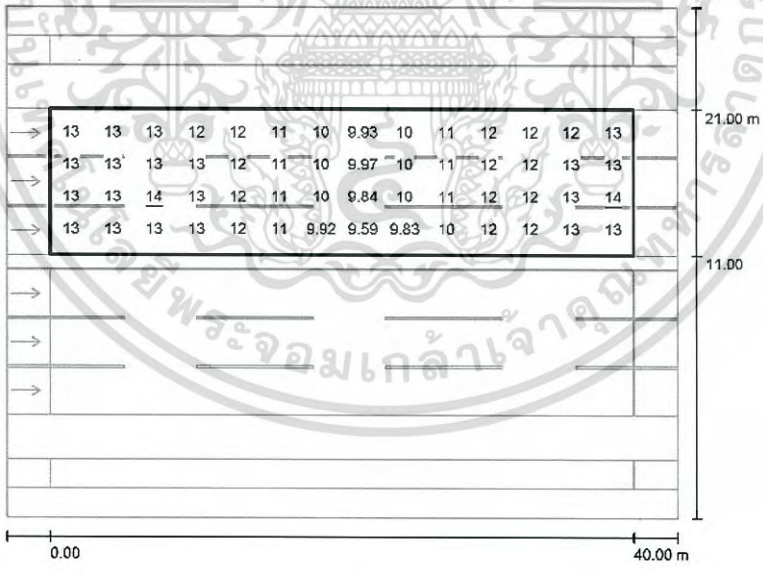
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,000 K (สีขาว)



รูปที่ 4.31 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

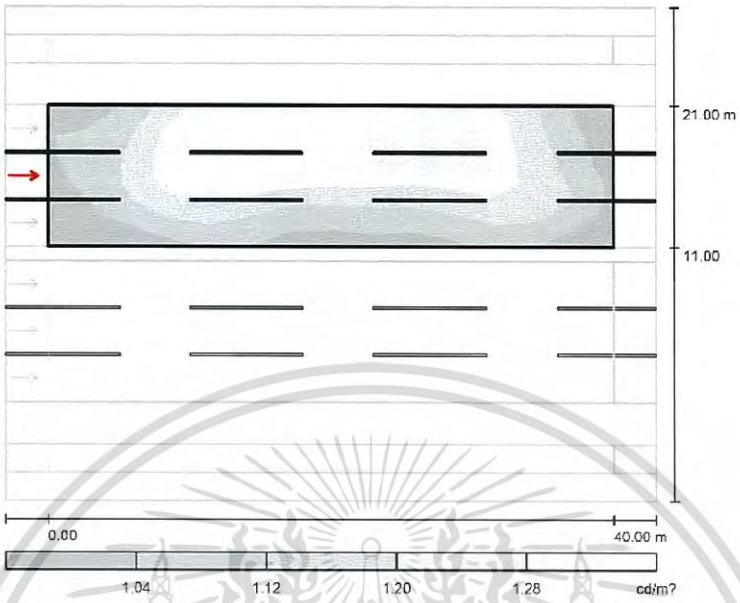


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
12	9.54	14	0.812	0.705

รูปที่ 4.32 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



L_{av} [cd/m²]	U0	Ul	Tl [%]
1.16	0.85	0.78	7
≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
✓	✓	✓	✓

รูปที่ 4.33 ค่า L_{av} , U_o , U_l , Tl ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

ตารางที่ 4.22 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B)

9.444	1.00	1.02	1.11	1.23	1.30	1.27	1.28	1.25	1.23	1.21	1.26	1.18	1.09	0.99
8.333	1.04	1.05	1.15	1.28	1.35	1.31	1.35	1.38	1.26	1.25	1.28	1.20	1.09	1.02
7.222	1.05	1.07	1.17	1.30	1.38	1.35	1.27	1.08	1.27	1.25	1.29	1.21	1.10	1.03
6.111	1.05	1.08	1.19	1.31	1.37	1.29	1.32	1.29	1.27	1.24	1.30	1.22	1.13	1.03
5.000	1.04	1.08	1.20	1.29	1.34	1.27	1.26	1.24	1.24	1.21	1.25	1.22	1.13	1.05
3.889	1.03	1.07	1.18	1.23	1.25	1.18	1.18	1.18	1.19	1.17	1.23	1.22	1.17	1.08
2.778	1.02	1.05	1.15	1.18	1.18	1.11	1.10	1.11	1.12	1.12	1.16	1.18	1.18	1.06
1.667	1.01	1.02	1.06	1.13	1.13	1.08	1.06	1.06	1.07	1.06	1.12	1.13	1.09	1.03
0.556	0.99	0.98	1.02	1.06	1.08	1.03	1.00	1.03	1.03	1.01	1.07	1.10	1.03	1.00
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

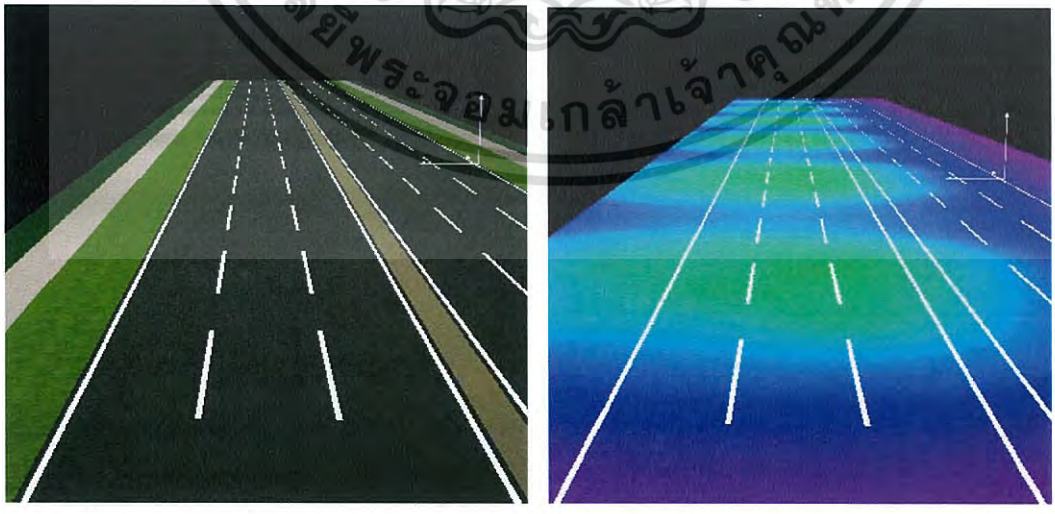
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.23 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

-0.13	-0.12	-0.04	0.06	0.12	0.09	0.10	0.07	0.06	0.04	0.08	0.01	-0.06	-0.14
-0.10	-0.09	-0.08	0.10	0.16	0.12	0.16	0.18	0.08	0.07	0.10	0.03	-0.06	-0.12
-0.09	-0.07	0.01	0.12	0.18	0.16	0.09	-0.06	0.09	0.07	0.11	0.04	-0.05	-0.11
-0.09	-0.06	0.02	0.12	0.18	0.11	0.13	0.11	0.09	0.06	0.12	0.05	-0.02	-0.11
-0.10	-0.06	0.03	0.11	0.15	0.09	0.08	0.06	0.06	0.04	0.07	0.05	-0.02	-0.09
-0.11	-0.07	0.01	0.06	0.07	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.06	0.05	0.01	-0.06
-0.12	-0.09	-0.01	0.01	0.01	-0.04	-0.05	-0.04	-0.03	-0.03	0.00	0.01	0.01	-0.08
-0.12	-0.12	-0.08	-0.02	-0.02	-0.06	-0.08	-0.08	-0.07	-0.08	-0.03	-0.02	-0.06	-0.11
-0.14	-0.15	-0.12	-0.08	-0.06	-0.11	-0.13	-0.11	-0.11	-0.12	-0.07	-0.05	-0.11	-0.13

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.34 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 25 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 150 x 25 = 3,750 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss} = 3I^2Z = 3 \times 5.70^2 \times 1.2438 = 121.23$ W (p.f. = 0.95)

$P_{consumption}$ = 3,750 + 121.23 = 3,871.23 W หรือ 3.8712 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 3.8712 x 4,380 = 16,955.86 kw-h หรือ 16,955.86 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 16,955.86 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 16,955.86 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 48,402.20 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 48,402.20 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 5.70 A x 500 / 1000 = 6.84 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD24 + VD25 = 7.18 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) span 40 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0220	0.0441	0.0662	0.0883	0.1104
VD6	**VD7**	**VD8**	**VD9**	**VD10**
0.1324	0.1545	0.1766	0.1987	0.2208
VD11	**VD12**	**VD13**	**VD14**	**VD15**
0.2428	0.2649	0.2870	0.3091	0.3312
VD16	VD17	VD18	VD19	VD20
0.3532	0.3753	0.3974	0.4195	0.4416
VD21	VD22	VD23	VD24	VD25
0.4636	0.4857	0.5078	0.5299	0.5520

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{6.84}{400} \times 100 = 1.710\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{7.18}{400} \times 100 = 1.795\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 7.18 V หรือ 1.795 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 150/40 = 3.75 W/m
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **90.16 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 80 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED **ประมาณ 50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

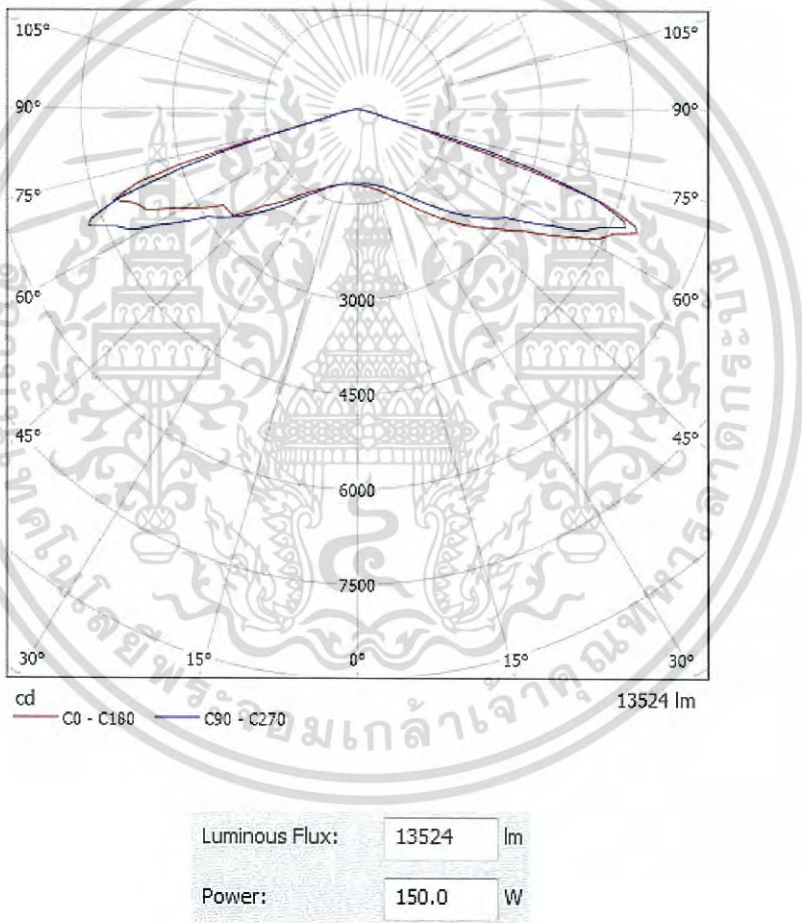
ตารางที่ 4.25 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span40 m

รายการติดตั้ง	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ชุดโคมไฟถนน LED 150 watts + สายไฟ CU	25	EA	47,008.40	1,175,210.00
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	25	EA	27,923.64	698,091.00
รวม (บาท)				**1,873,301.00**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.4 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts (ยี่ห้อ B) + Optimization

- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 45 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 22 ดวง



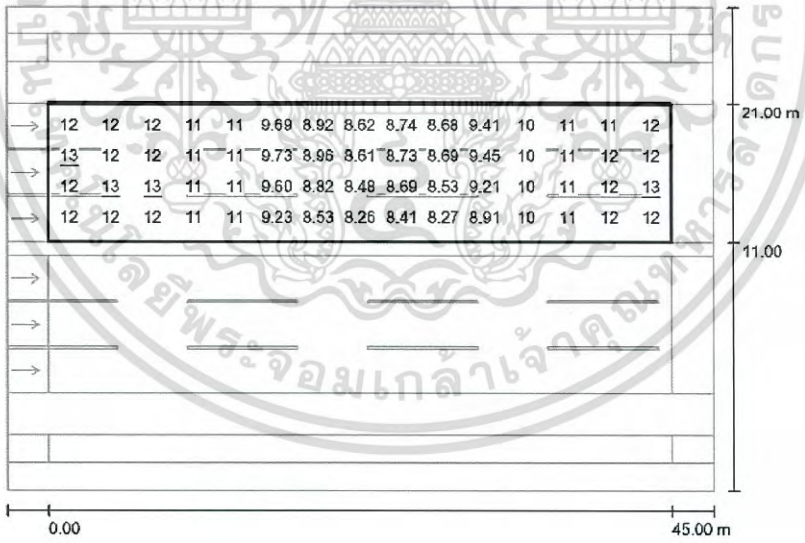
รูปที่ 4.35 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,000 K (สีขาว)

รูปที่ 4.36 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

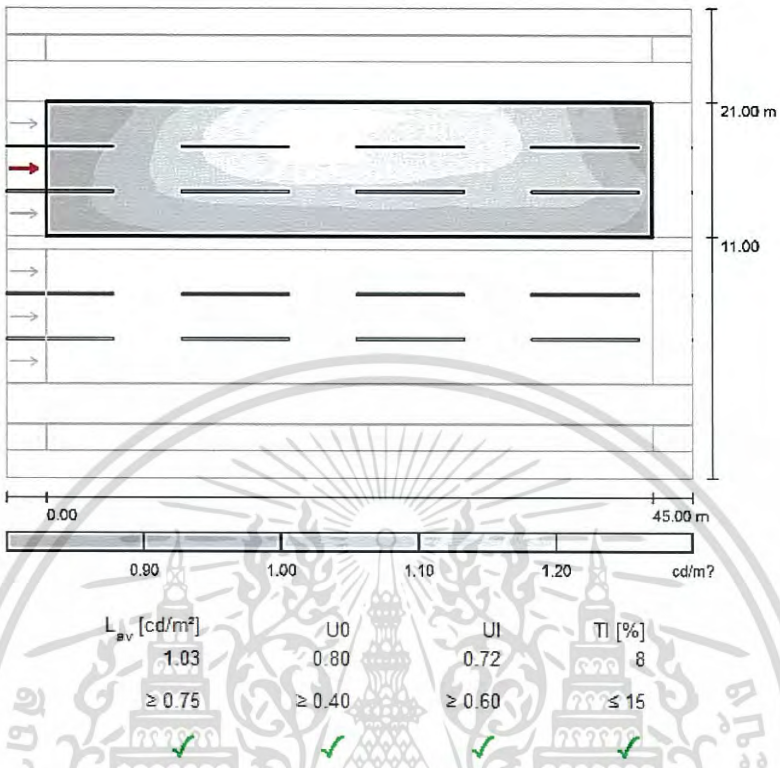


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
10	8.13	13	0.779	0.638

รูปที่ 4.37 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.38 ค่า L_{av} , U_O , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m

ตารางที่ 4.26 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 45 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B)

9.444	0.82	0.83	0.93	1.03	1.08	1.18	1.21	1.18	1.20	1.14	1.12	1.10	1.02	0.96	0.84
8.333	0.85	0.85	0.96	1.07	1.13	1.23	1.27	1.23	1.32	1.17	1.16	1.12	1.04	0.96	0.86
7.222	0.86	0.87	0.98	1.08	1.15	1.23	1.28	1.25	1.01	1.14	1.17	1.13	1.04	0.97	0.88
6.111	0.86	0.89	0.99	1.08	1.14	1.22	1.25	1.23	1.23	1.16	1.16	1.13	1.05	0.99	0.89
5.000	0.87	0.90	1.00	1.07	1.12	1.18	1.20	1.17	1.18	1.13	1.11	1.09	1.06	0.99	0.91
3.889	0.87	0.91	1.01	1.05	1.06	1.09	1.11	1.09	1.12	1.07	1.07	1.08	1.06	1.04	0.95
2.778	0.88	0.91	0.98	1.01	1.01	1.02	1.04	1.02	1.05	1.02	1.03	1.03	1.01	1.06	0.93
1.667	0.89	0.91	0.94	0.96	0.98	0.96	0.97	0.97	1.00	0.96	0.98	0.98	0.96	0.97	0.91
0.556	0.88	0.87	0.91	0.91	0.94	0.90	0.90	0.93	0.95	0.93	0.93	0.94	0.95	0.91	0.88
m	**1.500**	**4.500**	**7.500**	**10.500**	**13.500**	**16.500**	**19.500**	**22.500**	**25.500**	**28.500**	**31.500**	**34.500**	**37.500**	**40.500**	**43.500**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

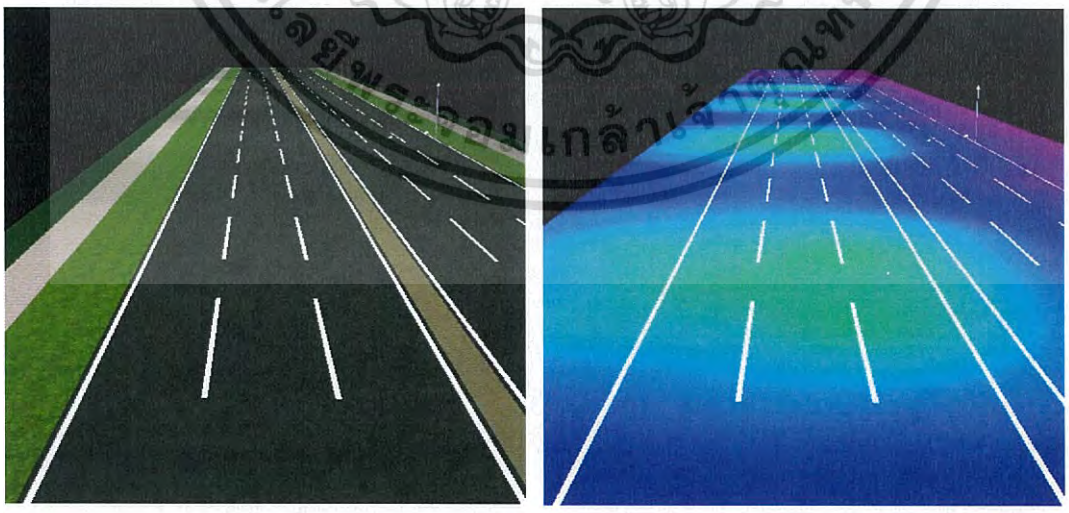
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.27 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m

-0.20	-0.19	-0.09	0.00	0.04	0.14	0.17	0.14	0.16	0.10	0.08	0.06	-0.01	-0.06	-0.18
-0.17	-0.17	-0.06	0.03	0.09	0.19	0.23	0.19	0.28	0.13	0.12	0.08	0.01	-0.06	-0.16
-0.16	-0.15	-0.04	0.04	0.11	0.19	0.24	0.21	-0.01	0.10	0.13	0.09	0.01	-0.05	-0.14
-0.16	-0.13	-0.03	0.04	0.10	0.18	0.21	0.19	0.19	0.12	0.12	0.09	0.01	-0.03	-0.13
-0.15	-0.12	-0.02	0.03	0.08	0.14	0.16	0.13	0.14	0.09	0.07	0.05	0.02	-0.03	-0.11
-0.15	-0.11	-0.01	0.01	0.02	0.05	0.07	0.05	0.08	0.03	0.03	0.04	0.02	0.01	-0.07
-0.14	-0.11	-0.04	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.02	-0.09
-0.13	-0.11	-0.08	-0.06	-0.04	-0.06	-0.05	-0.05	-0.02	-0.06	-0.04	-0.04	-0.06	-0.05	-0.11
-0.14	-0.15	-0.11	-0.11	-0.08	-0.12	-0.12	-0.09	-0.07	-0.09	-0.09	-0.08	-0.07	-0.11	-0.14

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.39 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span 45 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 22 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 150 x 22 = 3,300 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss}$ = $3I^2Z$ = 3 x 5.01^2 x 1.2438 = 93.66 W (p.f. = 0.95)

$P_{consumption}$ = 3,300 + 93.66 = 3,393.66 W หรือ 3.3937 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 3.3937 x 4,380 = 14,864.41 kw-h หรือ 14,864.41 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 14,864.41 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 14,864.41 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 42,431.94 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 42,431.94 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 5.01 A x 500 / 1000 = 6.01 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD21 + VD22 = 6.28 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) span 45 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4
0.0248	0.0496	0.0745	0.0993
VD5	**VD6**	**VD7**	**VD8**
0.1242	0.1490	0.1738	0.1987
VD9	**VD10**	**VD11**	**VD12**
0.2235	0.2484	0.2732	0.2980
VD13	**VD14**	**VD15**	**VD16**
0.3229	0.3477	0.3726	0.3974
VD17	**VD18**	**VD19**	**VD20**
0.4222	0.4471	0.4719	0.4968
	VD21	**VD22**	
	0.5216	0.5464	

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{6.01}{400} \times 100 = 1.502\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{6.28}{400} \times 100 = 1.570\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 6.28 V หรือ 1.570 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 150/45 = 3.33 W/m
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **90.16 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 80 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

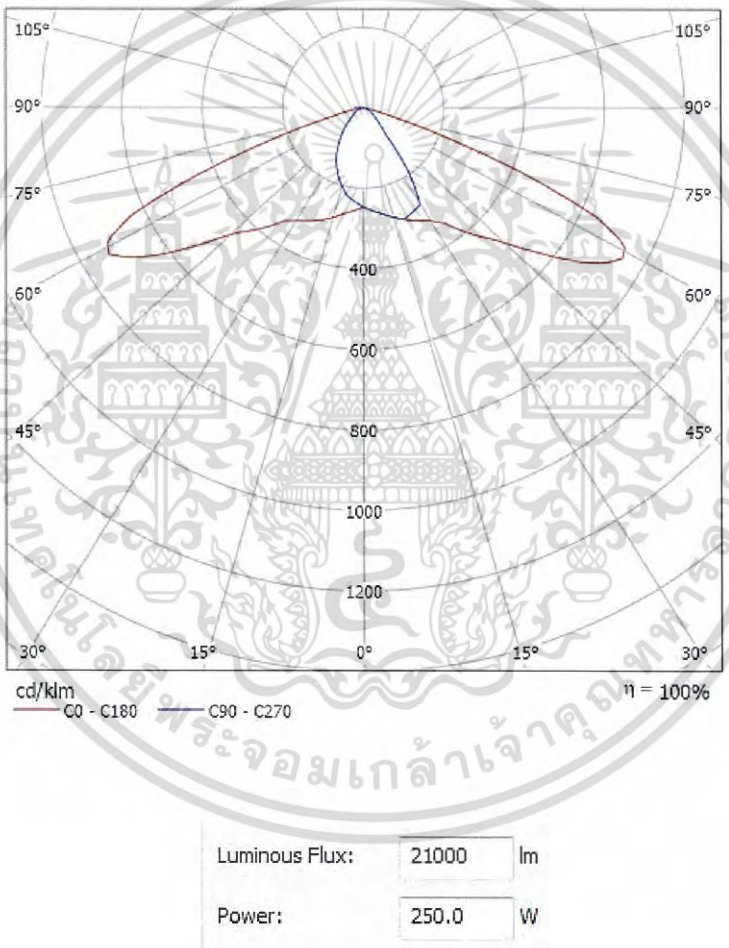
ตารางที่ 4.29 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 150 W (ยี่ห้อ B) Span45 m

รายการติดตั้ง	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ชุดโคมไฟถนน LED 150 watts + สายไฟ CU	22	EA	47,008.40	1,034,184.80
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	22	EA	27,923.64	614,320.08
รวม (บาท)				**1,648,504.88**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.5 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ A)

- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 10°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง



Luminous Flux:	21000	lm
Power:	250.0	W

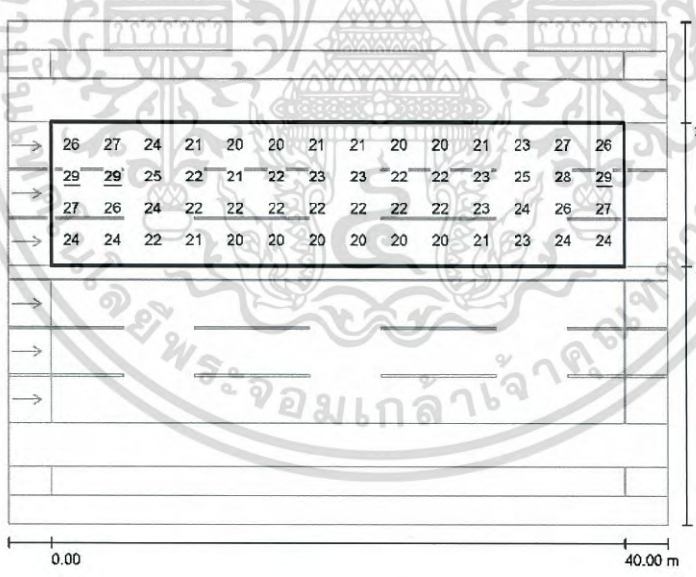
รูปที่ 4.40 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,500 K (สีขาว)

รูปที่ 4.41 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

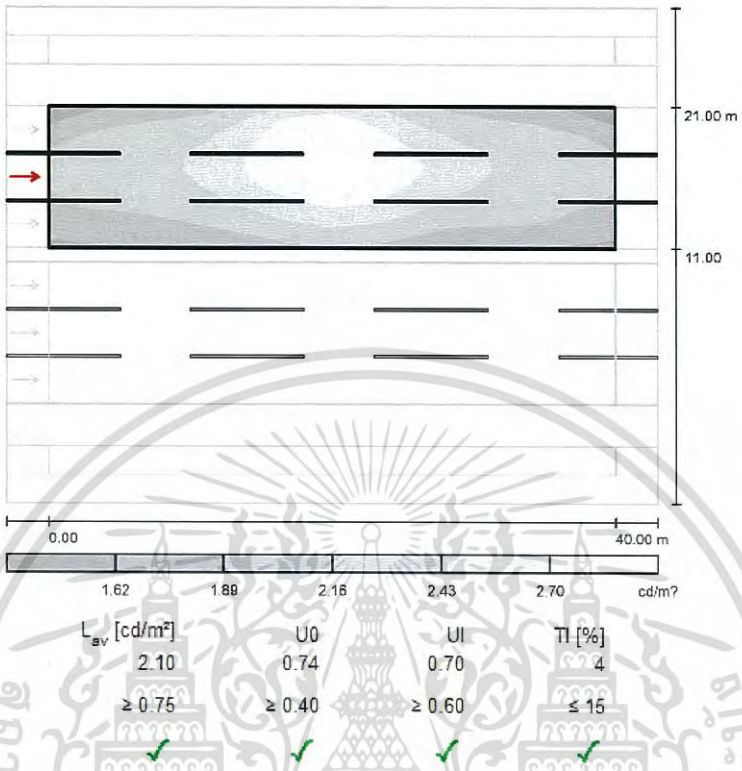


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
23	18	29	0.796	0.621

รูปที่ 4.42 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.43 ค่า L_{av} , U_o , U_l , Tl ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

ตารางที่ 4.30 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A)

9.444	1.56	1.73	1.79	1.85	1.94	2.26	2.47	2.41	2.17	1.96	1.86	1.82	1.75	1.57
8.333	1.78	1.97	1.96	2.05	2.14	2.50	2.88	2.64	2.37	2.13	2.03	1.97	1.98	1.78
7.222	1.94	2.09	2.05	2.16	2.27	2.63	2.29	2.68	2.53	2.27	2.15	2.08	2.10	1.93
6.111	2.01	2.10	2.07	2.19	2.29	2.66	2.89	2.87	2.63	2.41	2.23	2.11	2.10	2.00
5.000	1.97	2.06	2.03	2.18	2.31	2.60	2.81	2.82	2.56	2.32	2.19	2.08	2.05	1.99
3.889	1.92	2.00	1.97	2.09	2.21	2.43	2.62	2.65	2.46	2.27	2.13	2.08	2.03	1.94
2.778	1.87	1.93	1.90	2.01	2.10	2.25	2.40	2.42	2.31	2.12	2.03	2.10	1.96	1.86
1.667	1.81	1.81	1.81	1.89	1.95	2.06	2.19	2.20	2.12	1.93	1.89	1.93	1.80	1.81
0.556	1.62	1.69	1.69	1.75	1.77	1.88	1.98	2.00	1.92	1.76	1.77	1.74	1.68	1.63
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

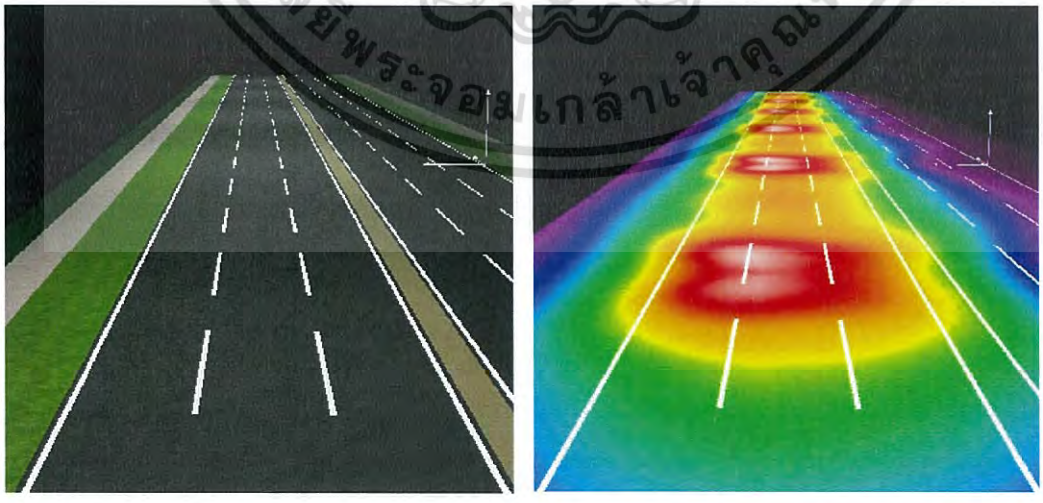
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.31 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

-0.25	-0.17	-0.14	-0.11	-0.07	0.07	0.17	0.14	0.03	-0.06	-0.11	-0.13	-0.16	-0.25
-0.15	-0.06	-0.06	-0.02	0.01	0.19	0.37	0.25	0.12	0.01	-0.03	-0.06	-0.05	-0.15
-0.07	-0.01	-0.02	0.02	0.08	0.25	0.09	0.27	0.20	0.08	0.02	-0.01	0.00	-0.08
-0.04	0.00	-0.01	0.04	0.09	0.26	0.37	0.36	0.25	0.14	0.06	0.01	0.00	-0.04
-0.06	-0.01	-0.03	0.03	0.10	0.23	0.33	0.34	0.21	0.10	0.04	-0.01	-0.02	-0.05
-0.08	-0.04	-0.06	-0.01	0.05	0.15	0.24	0.26	0.17	0.08	0.01	-0.01	-0.03	-0.07
-0.10	-0.08	-0.09	-0.04	0.00	0.07	0.14	0.15	0.10	0.01	-0.03	0.00	-0.06	-0.11
-0.13	-0.13	-0.13	-0.10	-0.07	-0.01	0.04	0.04	0.01	-0.08	-0.10	-0.08	-0.14	-0.13
-0.22	-0.19	-0.19	-0.16	-0.15	-0.10	-0.05	-0.04	-0.08	-0.16	-0.15	-0.17	-0.20	-0.22

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.44 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 25 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 250 x 25 = 6,250 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss} = 3I^2Z = 3 \times 10.02^2 \times 1.2438 = 374.63$ W (p.f. = 0.90)

$P_{consumption}$ = 6,250 + 374.63 = 6,624.63 W หรือ 6.6246 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 6.6246 x 4,380 = 29,015.75 kw-h หรือ 29,015.75 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 29,015.75 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 29,015.75 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 82,828.36 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 82,828.36 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 10.02 A x 500 / 1000 = 12.02 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD24 + VD25 = 12.48 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.32 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 40 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0384	0.0768	0.1152	0.1536	0.1920
VD6	**VD7**	**VD8**	**VD9**	**VD10**
0.2304	0.2688	0.3072	0.3456	0.3840
VD11	**VD12**	**VD13**	**VD14**	**VD15**
0.4224	0.4608	0.4992	0.5376	0.5760
VD16	**VD17**	**VD18**	**VD19**	**VD20**
0.6144	0.6528	0.6912	0.7296	0.7680
VD21	**VD22**	**VD23**	**VD24**	**VD25**
0.8064	0.8448	0.8832	0.9216	0.9600

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{12.02}{400} \times 100 = 3.005\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{12.48}{400} \times 100 = 3.120\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 12.48 V หรือ 3.120 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 250/40 = 6.25 W/m
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **84.0 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 80 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

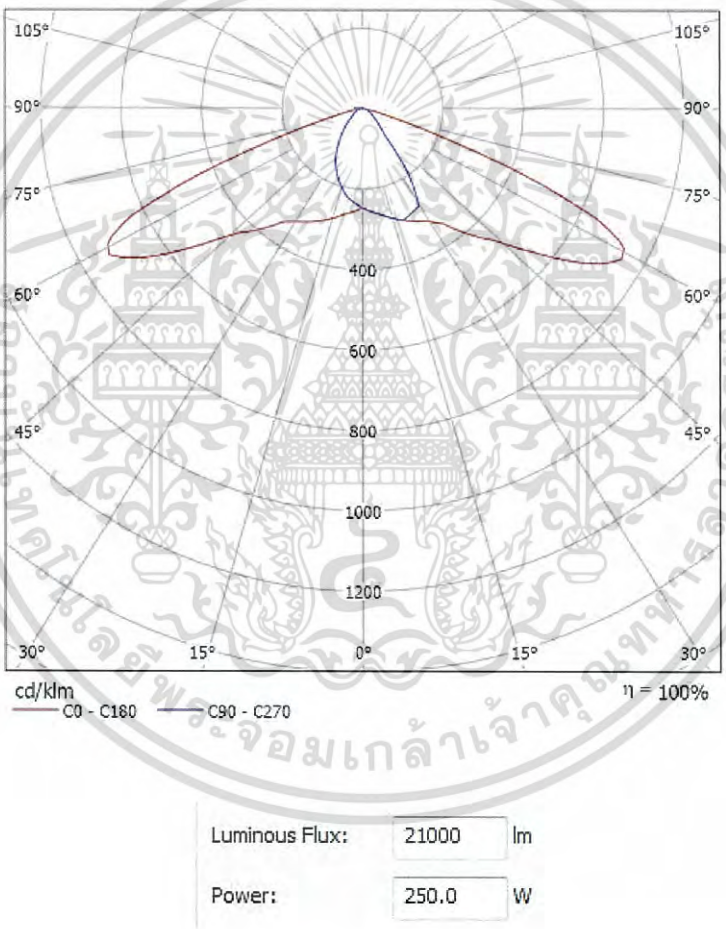
ตารางที่ 4.33 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span40 m

รายการติดตั้ง	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**ราคา/หน่วย**	**มูลค่ารวม**
- ชุดโคมไฟถนน LED 250 watts + สายไฟ CU	25	EA	61,008.4	1,525,210.00
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	25	EA	27,923.64	698,091.00
รวม (บาท)				**2,223,301.00**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.6 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ A) + Optimization

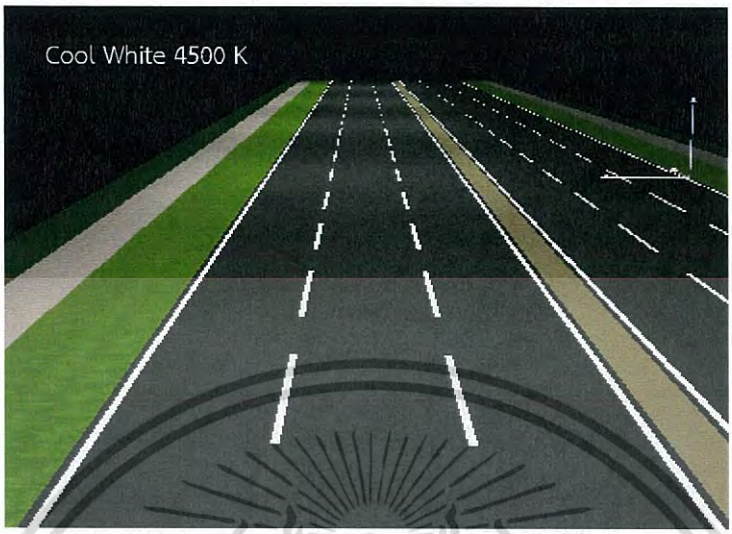
- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 55 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 1 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 18 ดวง



รูปที่ 4.45 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m

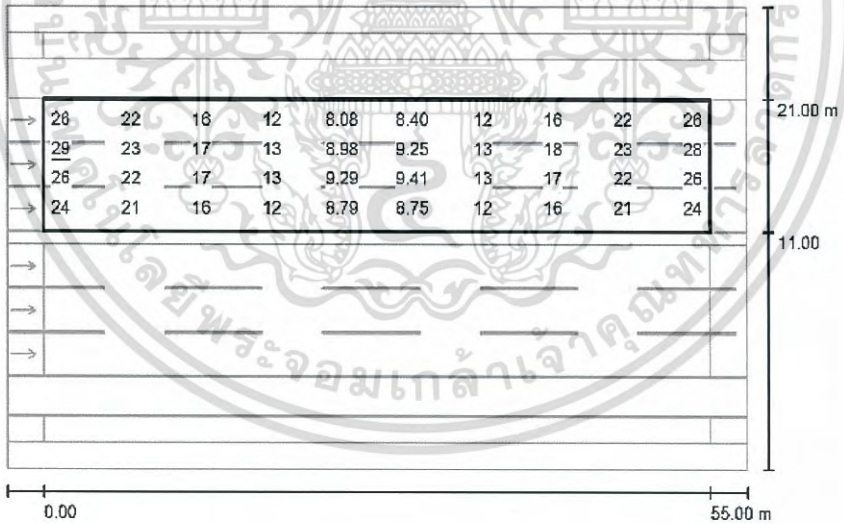
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,500 K (สีขาว)



รูปที่ 4.46 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,500 K (LED ยี่ห้อ A)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

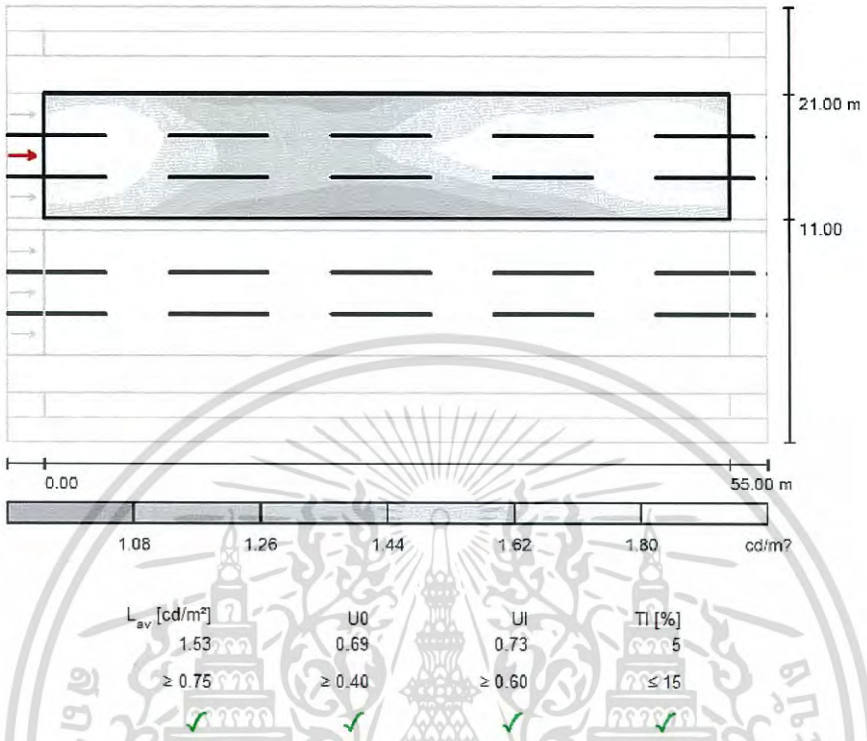


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
17	7.14	29	0.432	0.249

รูปที่ 4.47 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.48 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m

ตารางที่ 4.34 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 55 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A)

9.444	1.47	1.60	1.54	1.38	1.19	1.23	1.25	1.20	1.18	1.23	1.35	1.48	1.51	1.46	1.48	1.55	1.64	1.65	1.48
8.333	1.68	1.82	1.67	1.52	1.31	1.36	1.37	1.29	1.24	1.32	1.46	1.76	1.68	1.63	1.63	1.71	1.78	1.86	1.68
7.222	1.82	1.92	1.75	1.61	1.39	1.42	1.42	1.35	1.32	1.40	1.58	1.29	1.67	1.76	1.73	1.81	1.86	1.96	1.82
6.111	1.88	1.92	1.75	1.61	1.40	1.44	1.43	1.38	1.37	1.47	1.61	1.77	1.86	1.83	1.83	1.86	1.88	1.95	1.89
5.000	1.85	1.88	1.71	1.57	1.42	1.45	1.44	1.38	1.38	1.46	1.56	1.68	1.81	1.77	1.73	1.78	1.85	1.90	1.88
3.889	1.79	1.81	1.66	1.56	1.43	1.42	1.42	1.36	1.33	1.37	1.42	1.54	1.66	1.68	1.70	1.76	1.85	1.88	1.83
2.778	1.75	1.76	1.62	1.53	1.39	1.37	1.34	1.29	1.28	1.28	1.28	1.38	1.49	1.55	1.57	1.66	1.85	1.81	1.75
1.667	1.70	1.66	1.55	1.46	1.32	1.28	1.25	1.20	1.16	1.17	1.16	1.24	1.32	1.40	1.40	1.54	1.72	1.66	1.71
0.556	1.53	1.56	1.47	1.38	1.23	1.18	1.15	1.11	1.07	1.06	1.07	1.12	1.19	1.25	1.24	1.42	1.53	1.55	1.54
m	1.447	4.342	7.237	10.132	13.026	15.921	18.816	21.711	24.605	27.500	30.395	33.289	36.184	39.079	41.974	44.868	47.763	50.658	53.553

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

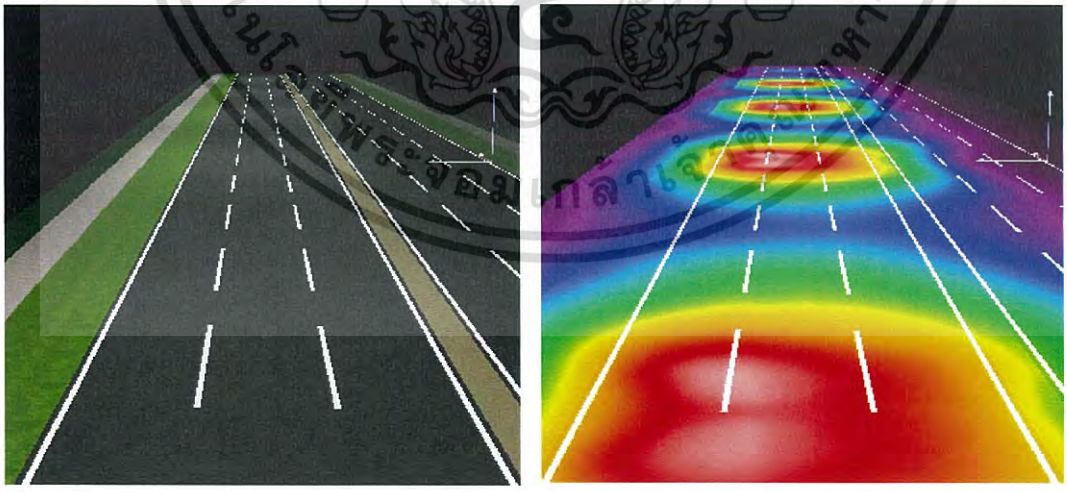
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.35 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m

-0.03	0.04	0.01	-0.09	-0.22	-0.19	-0.18	-0.21	-0.22	-0.19	-0.11	-0.03	-0.01	-0.04	-0.03	0.01	0.07	0.07	-0.03
0.09	0.18	0.09	-0.01	-0.14	-0.11	-0.10	-0.15	-0.18	-0.13	-0.04	0.15	0.09	0.06	0.06	0.11	0.16	0.21	0.09
0.18	0.25	0.14	0.05	-0.09	-0.07	-0.07	-0.11	-0.13	-0.08	0.03	-0.15	0.09	0.15	0.13	0.18	0.21	0.28	0.18
0.22	0.25	0.14	0.05	-0.08	-0.05	-0.06	-0.09	-0.10	-0.03	0.05	0.15	0.21	0.19	0.19	0.21	0.22	0.27	0.23
0.20	0.22	0.11	0.02	-0.07	-0.05	-0.05	-0.09	-0.09	-0.04	0.01	0.09	0.18	0.15	0.13	0.16	0.20	0.24	0.22
0.16	0.18	0.08	0.01	-0.06	-0.07	-0.07	-0.11	-0.13	-0.10	-0.07	0.01	0.08	0.09	0.11	0.15	0.20	0.22	0.19
0.14	0.13	0.05	0.00	-0.09	-0.10	-0.12	-0.15	-0.17	-0.16	-0.16	-0.09	-0.02	0.01	0.02	0.08	0.20	0.18	0.14
0.11	0.08	0.01	-0.04	-0.13	-0.16	-0.16	-0.21	-0.24	-0.23	-0.24	-0.16	-0.13	-0.06	-0.08	0.01	0.12	0.08	0.11
0.00	0.01	-0.03	-0.09	-0.19	-0.22	-0.24	-0.27	-0.30	-0.30	-0.30	-0.26	-0.22	-0.18	-0.18	-0.07	0.00	0.01	0.01

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.49 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 18 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 250 x 18 = 4,500 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss}$ = $3I^2Z$ = 3 x 7.22^2 x 1.2438 = 194.51 W (p.f. = 0.90)

$P_{consumption}$ = 4,500 + 194.51 = 4,694.51 W หรือ 4.6945 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 4.6945 x 4,380 = 20,561.91 kw-h หรือ 20,561.91 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 20,561.91 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 20,561.91 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 58,696.03 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 58,696.03 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 7.22 A x 500 / 1000 = 8.66 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD17 + VD18 = 9.03 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.36 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span 55 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5	VD6
0.0528	0.1056	0.1584	0.2112	0.2640	0.3168
VD7	VD8	VD9	VD10	VD11	VD12
0.3696	0.4224	0.4752	0.5280	0.5808	0.6336
VD13	VD14	VD15	VD16	VD17	VD18
0.6864	0.7392	0.7920	0.8448	0.8976	0.9504

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{8.66}{400} \times 100 = 2.165\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{9.03}{400} \times 100 = 2.257\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 9.03 V หรือ 2.257 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 250/55 = 4.54 W/m
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ 84.0 lm/w
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 80 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

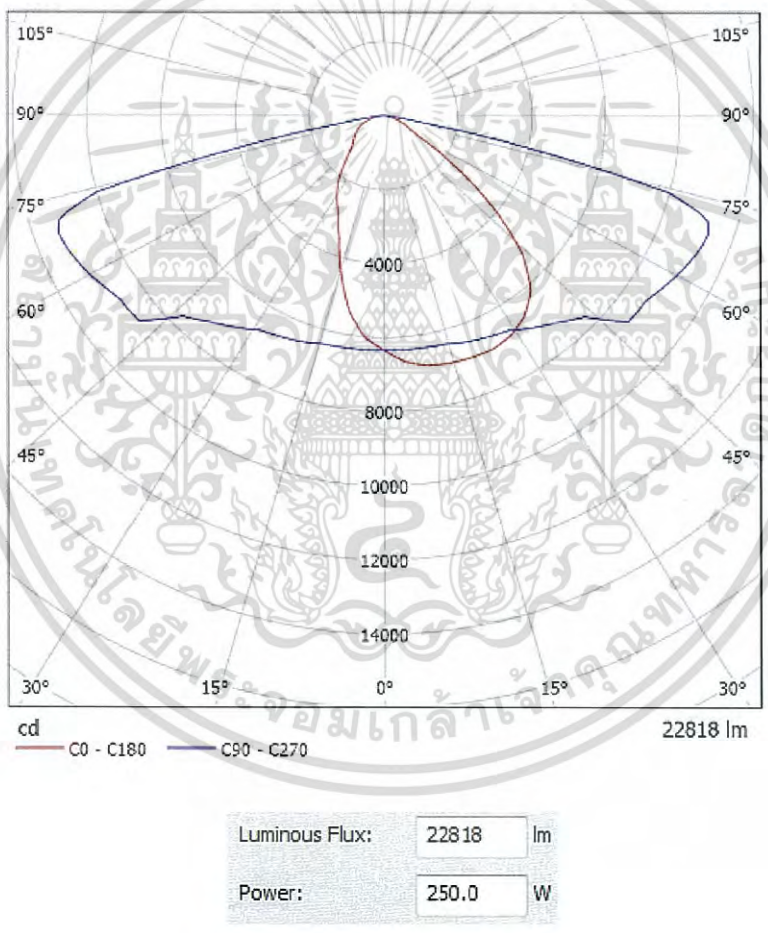
ตารางที่ 4.37 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ A) Span55 m

รายการติดตั้ง	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ชุดโคมไฟถนน LED 250 watts + สายไฟ CU	18	EA	61,008.40	1,098,151.20
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	18	EA	27,923.64	502,625.52
รวม (บาท)				**1,600,776.72**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.7 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B)

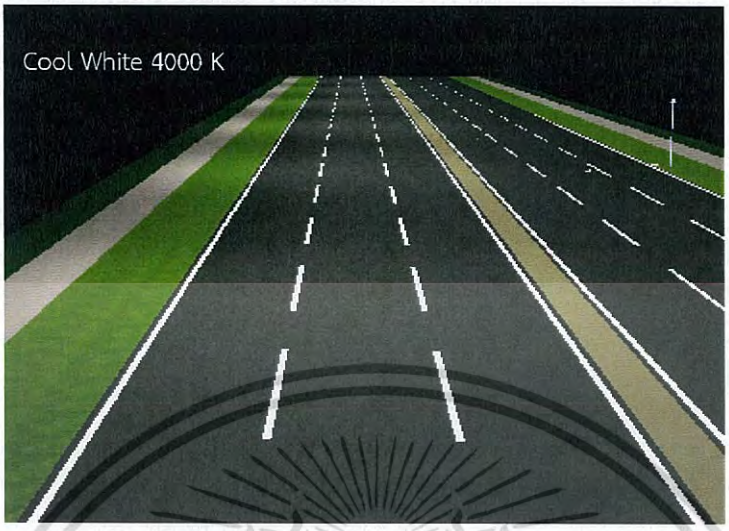
- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 1 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 10°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง



รูปที่ 4.50 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

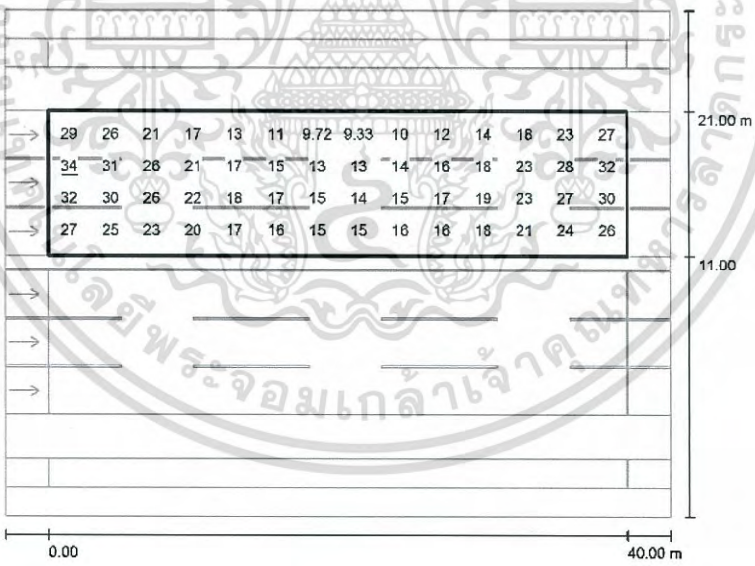
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,000 K (สีขาว)



รูปที่ 4.51 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

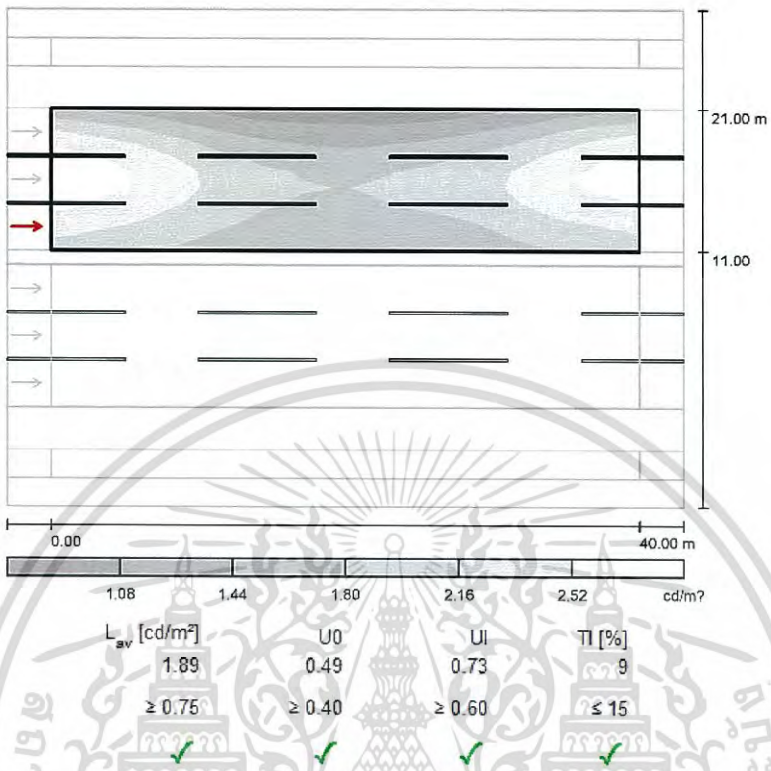


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
20	7.15	34	0.365	0.210

รูปที่ 4.52 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.53 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

ตารางที่ 4.38 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)

9.444	1.67	1.54	1.41	1.22	1.05	0.96	0.93	0.92	0.94	1.04	1.16	1.30	1.51	1.60
8.333	2.15	2.00	1.79	1.59	1.35	1.30	1.28	1.26	1.25	1.36	1.48	1.69	1.94	2.09
7.222	2.51	2.37	2.14	1.91	1.65	1.59	1.34	1.41	1.53	1.68	1.78	2.02	2.29	2.45
6.111	2.70	2.57	2.35	2.12	1.85	1.76	1.71	1.72	1.76	1.87	2.00	2.25	2.45	2.65
5.000	2.75	2.63	2.43	2.21	1.95	1.87	1.79	1.81	1.86	1.95	2.10	2.36	2.55	2.67
3.889	2.65	2.55	2.35	2.15	1.93	1.82	1.78	1.80	1.86	1.90	2.03	2.33	2.50	2.54
2.778	2.49	2.39	2.20	2.03	1.84	1.76	1.73	1.75	1.79	1.82	1.92	2.23	2.26	2.39
1.667	2.29	2.16	2.05	1.90	1.75	1.70	1.68	1.68	1.73	1.71	1.78	2.01	2.07	2.18
0.556	2.05	1.97	1.88	1.77	1.64	1.67	1.62	1.62	1.67	1.62	1.66	1.86	1.89	2.00
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

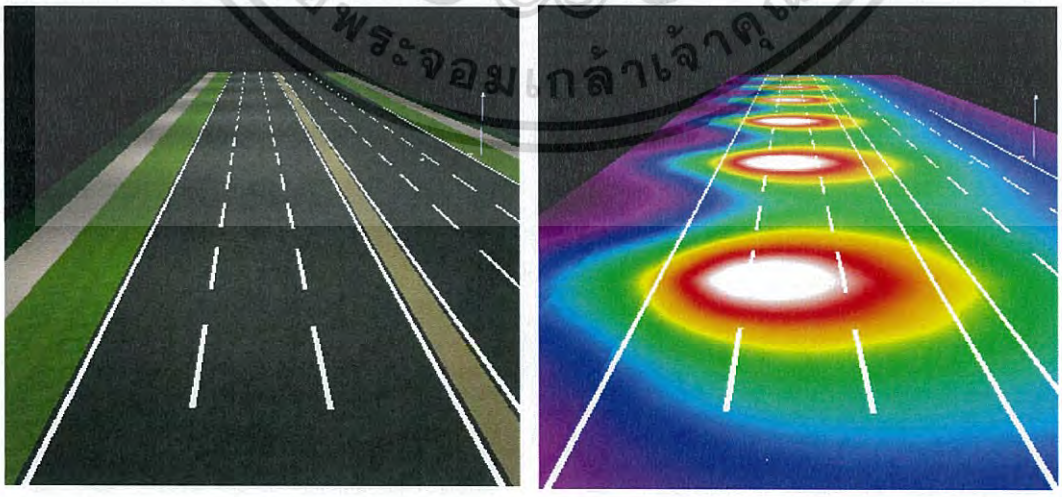
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.39 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

-0.11	-0.18	-0.25	-0.35	-0.44	-0.49	-0.50	-0.51	-0.50	-0.44	-0.38	-0.31	-0.20	-0.15
0.13	0.05	-0.05	-0.15	-0.28	-0.31	-0.32	-0.33	-0.33	-0.28	-0.21	-0.10	0.02	0.10
0.32	0.25	0.13	0.01	-0.12	-0.15	-0.29	-0.25	-0.19	-0.11	-0.05	0.06	0.21	0.29
0.43	0.35	0.24	0.12	-0.02	-0.06	-0.09	-0.08	-0.06	-0.01	0.05	0.19	0.29	0.40
0.45	0.39	0.28	0.16	0.03	-0.01	-0.05	-0.04	-0.01	0.03	0.11	0.24	0.34	0.41
0.40	0.34	0.24	0.13	0.02	-0.03	-0.05	-0.04	-0.01	0.01	0.07	0.23	0.32	0.34
0.31	0.26	0.16	0.07	-0.02	-0.06	-0.08	-0.07	-0.05	-0.03	0.01	0.17	0.19	0.26
0.21	0.14	0.08	0.01	-0.07	-0.10	-0.11	-0.11	-0.08	-0.09	-0.05	0.06	0.09	0.15
0.08	0.04	-0.01	-0.06	-0.13	-0.11	-0.14	-0.14	-0.11	-0.14	-0.12	-0.01	0.00	0.05

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ
- ค่า c ที่สูงเกินความจำเป็น = การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย



รูปที่ 4.54 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- **ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า** (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 25 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 250 x 25 = 6,250 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss}$ $= 3I^2Z = 3 \times 9.50^2 \times 1.2438 = 336.76$ W (p.f. = 0.95)

$P_{consumption}$ = 6,250 + 336.76 = 6,586.76 W หรือ 6.5868 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 6.5868 x 4,380 = 28,850.18 kw-h หรือ 28,850.18 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 28,850.18 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 28,850.18 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 82,355.72 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 82,355.72 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 9.50 A x 500 / 1000 = 11.40 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD24 + VD25 = 11.86 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.40 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 40 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0364	0.0729	0.1094	0.1459	0.1824
VD6	**VD7**	**VD8**	**VD9**	**VD10**
0.2188	0.2553	0.2918	0.3283	0.3648
VD11	**VD12**	**VD13**	**VD14**	**VD15**
0.4012	0.4377	0.4742	0.5107	0.5472
VD16	**VD17**	**VD18**	**VD19**	**VD20**
0.5836	0.6201	0.6566	0.6931	0.7296
VD21	**VD22**	**VD23**	**VD24**	**VD25**
0.7660	0.8025	0.8390	0.8755	0.9120

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{11.40}{400} \times 100 = 2.850\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{11.86}{400} \times 100 = 2.965\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 11.86 V หรือ 2.965 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 250/40 = 6.25 W/m
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **91.27 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 75 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

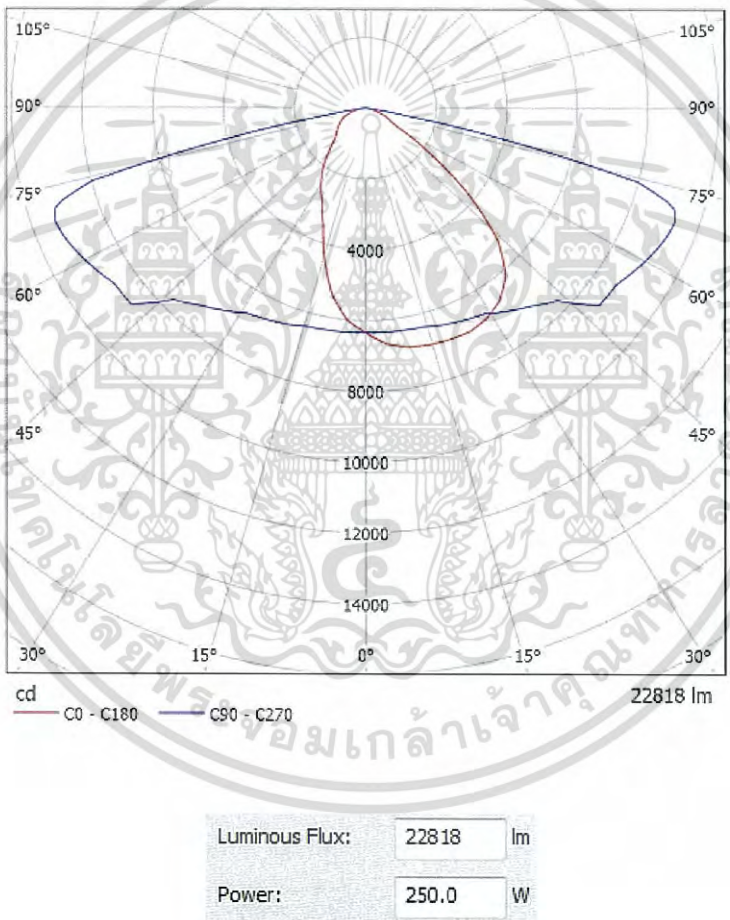
ตารางที่ 4.41 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span40 m

รายการติดตั้ง	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ชุดโคมไฟถนน LED 250 watts + สายไฟ CU	25	EA	62,008.4	1,550,210.00
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	25	EA	27,923.64	698,091.00
รวม (บาท)				**2,248,301.00**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.8 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 250 Watts (ยี่ห้อ B) + Optimization

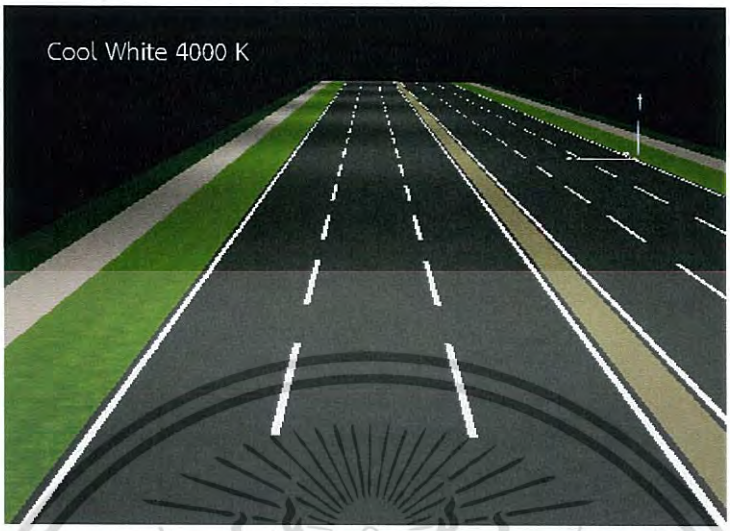
- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 50 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 1 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 20 ดวง



รูปที่ 4.55 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m

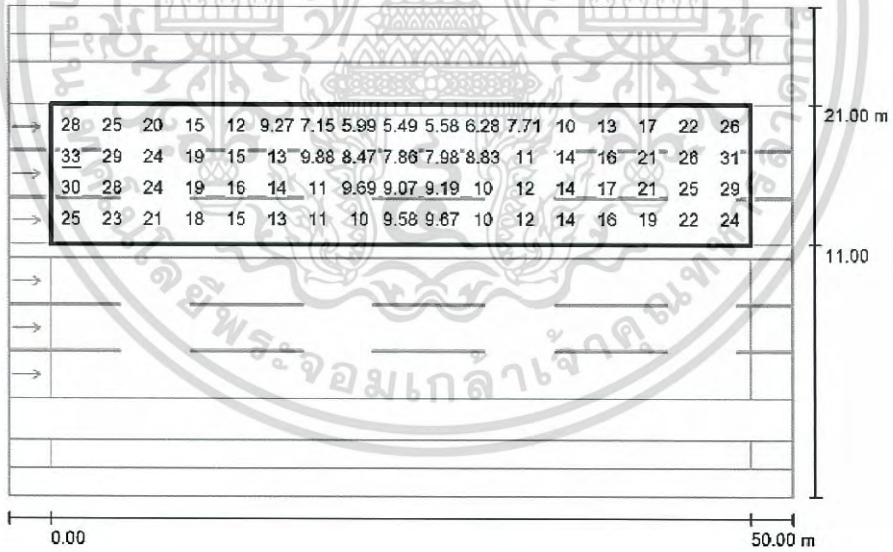
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Cool White 4,000 K (สีขาว)



รูปที่ 4.56 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 4,000 K (LED ยี่ห้อ B)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

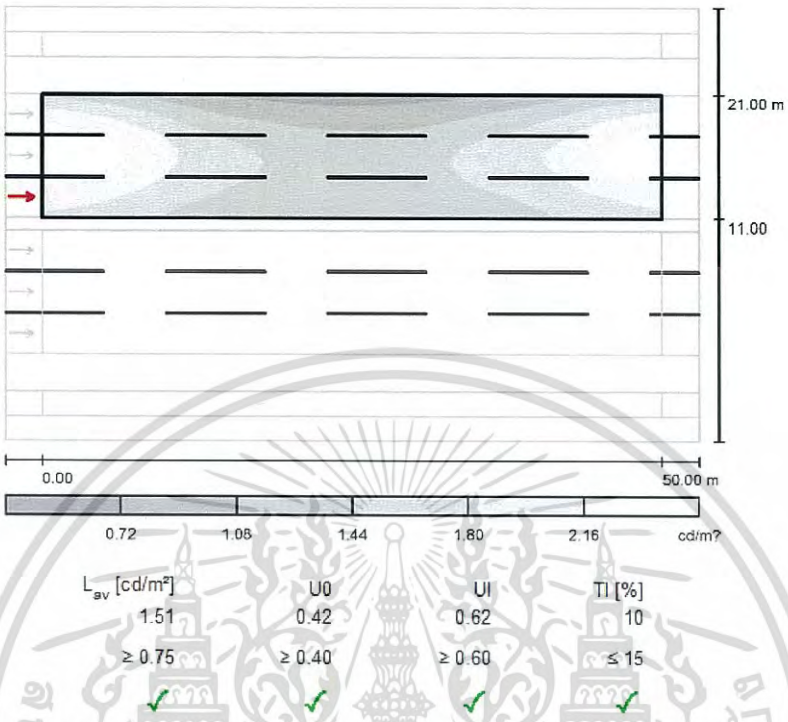


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
16	4.25	33	0.271	0.130

รูปที่ 4.57 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.58 ค่า L_{av} , U_O , U_l , Tl ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m

ตารางที่ 4.42 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 50 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B)

9.444	1.52	1.39	1.25	1.05	0.87	0.76	0.70	0.67	0.64	0.66	0.71	0.75	0.87	1.01	1.16	1.36	1.45
8.333	1.94	1.79	1.59	1.37	1.12	1.03	0.94	0.88	0.83	0.88	0.95	1.01	1.17	1.26	1.48	1.72	1.86
7.222	2.23	2.12	1.90	1.65	1.38	1.27	1.15	1.10	1.07	1.01	1.07	1.22	1.40	1.50	1.73	2.00	2.16
6.111	2.40	2.30	2.08	1.83	1.54	1.44	1.32	1.26	1.19	1.25	1.31	1.40	1.55	1.68	1.91	2.11	2.32
5.000	2.44	2.35	2.13	1.90	1.62	1.51	1.39	1.35	1.29	1.30	1.37	1.48	1.61	1.73	1.99	2.19	2.33
3.889	2.36	2.28	2.03	1.83	1.59	1.50	1.40	1.34	1.27	1.29	1.36	1.47	1.60	1.68	1.97	2.16	2.24
2.778	2.21	2.12	1.89	1.72	1.50	1.44	1.35	1.31	1.24	1.26	1.32	1.40	1.52	1.57	1.88	1.93	2.10
1.667	2.01	1.87	1.75	1.59	1.41	1.38	1.31	1.27	1.24	1.24	1.28	1.36	1.42	1.46	1.70	1.78	1.91
0.556	1.78	1.70	1.60	1.46	1.30	1.31	1.25	1.22	1.20	1.21	1.24	1.33	1.37	1.36	1.58	1.63	1.74
m	1.471	4.412	7.353	10.294	13.235	16.176	19.118	22.059	25.000	27.941	30.882	33.824	36.765	39.706	42.647	45.588	48.529

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

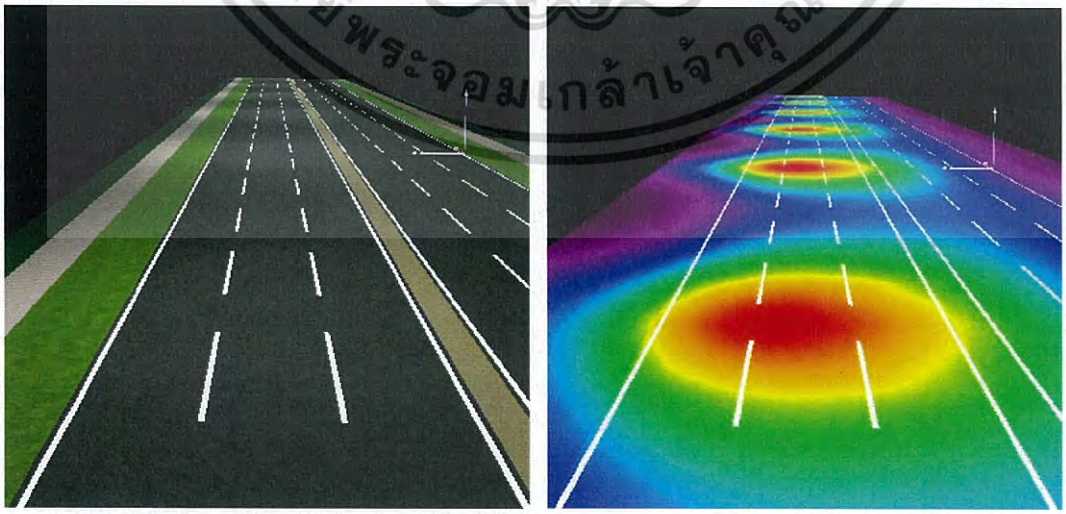
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.43 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m

0.01	-0.07	-0.17	-0.30	-0.42	-0.49	-0.53	-0.55	-0.57	-0.56	-0.52	-0.50	-0.42	-0.33	-0.23	-0.09	-0.03
0.28	0.18	0.05	-0.09	-0.25	-0.31	-0.37	-0.41	-0.45	-0.41	-0.37	-0.33	-0.22	-0.16	-0.01	0.13	0.23
0.47	0.40	0.25	0.09	-0.08	-0.15	-0.23	-0.27	-0.29	-0.33	-0.29	-0.19	-0.07	-0.01	0.14	0.32	0.43
0.58	0.52	0.37	0.21	0.01	-0.04	-0.12	-0.16	-0.21	-0.17	-0.13	-0.07	0.02	0.11	0.26	0.39	0.53
0.61	0.55	0.41	0.25	0.07	0.00	-0.07	-0.10	-0.14	-0.13	-0.09	-0.01	0.06	0.14	0.31	0.45	0.54
0.56	0.49	0.34	0.21	0.05	-0.01	-0.07	-0.11	-0.15	-0.14	-0.09	-0.02	0.05	0.11	0.30	0.43	0.48
0.46	0.40	0.25	0.13	-0.01	-0.04	-0.10	-0.13	-0.17	-0.16	-0.12	-0.07	0.01	0.03	0.24	0.27	0.39
0.33	0.23	0.15	0.05	-0.06	-0.08	-0.13	-0.15	-0.17	-0.17	-0.15	-0.09	-0.05	-0.03	0.12	0.17	0.26
0.17	0.12	0.05	-0.03	-0.13	-0.13	-0.17	-0.19	-0.20	-0.19	-0.17	-0.11	-0.09	-0.09	0.04	0.07	0.15

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ
- ค่า c ที่สูงเกินความจำเป็น = การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย
-



รูปที่ 4.59 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 20 หลอด

$P_{lamp,loss}$ = 250 x 20 = 5,000 W

$P_{ballast,loss}$ = 0 W

$P_{line,loss}$ = $3I^2Z$ = 3 x 7.60^2 x 1.2438 = 215.53 W (p.f. = 0.95)

$P_{consumption}$ = 5,000 + 215.53 = 5,215.53 W หรือ 5.2155 kw

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 5.2155 x 4,380 = 22,843.89 kw-h หรือ 22,843.89 หน่วย

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 22,843.89 kw-h

- ค่าไฟต่อหน่วยโดยเฉลี่ยคือ 2.8546 บาทต่อหน่วย

จะได้ 22,843.89 หน่วย x 2.8546 บาทต่อหน่วย = 65,210.17 บาทต่อปี

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 65,210.17 บาทต่อปี

- แรงดันตก (Voltage drop) สำหรับสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 คือ 2.4 mV/A/m

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \times L$$

ค่าโดยประมาณ VD = 2.4 mV x 7.60 A x 500 / 1000 = 9.120 V

ค่าจริง VD = VD1 + VD2 + VD3 +...+ VD19 + VD20 = 9.576 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.44 ค่าแรงดันตกของโคมไฟหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span 50 m ในระยะทาง 1 km

VD1	VD2	VD3	VD4	VD5
0.0456	0.0912	0.1368	0.1824	0.2280
VD6	**VD7**	**VD8**	**VD9**	**VD10**
0.2736	0.3192	0.3648	0.4104	0.4560
VD11	**VD12**	**VD13**	**VD14**	**VD15**
0.5016	0.5472	0.5928	0.6384	0.6840
VD16	**VD17**	**VD18**	**VD19**	**VD20**
0.7296	0.7752	0.8208	0.8664	0.9120

$$\%VD_{(estimate)} = \frac{9.12}{400} \times 100 = 2.280\ \%$$

$$\%VD_{(real)} = \frac{9.576}{400} \times 100 = 2.394\ \%$$

ดังนั้นแรงดันตกสำหรับสายไฟฉนวน PVC ขนาด 16mm^2 ในระยะทาง 1 km คือ 9.576 V หรือ 2.394 %

- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 250/50= **5.0 W/m**
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **91.27 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 75 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **50,000 ชั่วโมง**

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

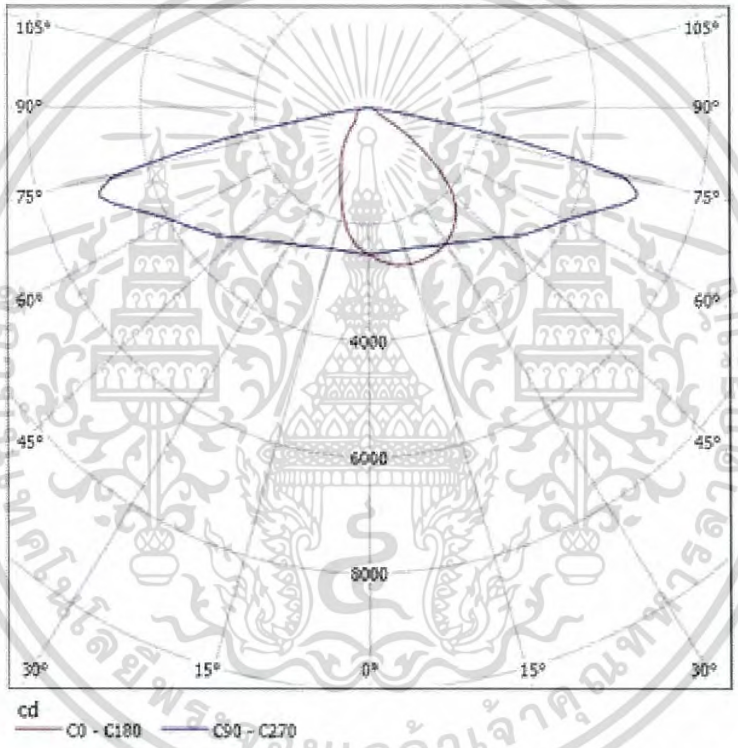
ตารางที่ 4.45 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 250 W (ยี่ห้อ B) Span50 m

รายการติดตั้ง	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**ราคา/หน่วย**	**มูลค่ารวม**
- ชุดโคมไฟถนน LED 250 watts + สายไฟ CU	20	EA	62,008.4	1,240,168.00
- ชุดเสาไฟถนนพร้อมกราวด์	20	EA	27,923.64	558,472.80
รวม (บาท)				**1,798,640.80**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.9 โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 120 Watts + Solar Energy (ยี่ห้อ C)

- ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม (Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 1 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 10°
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง

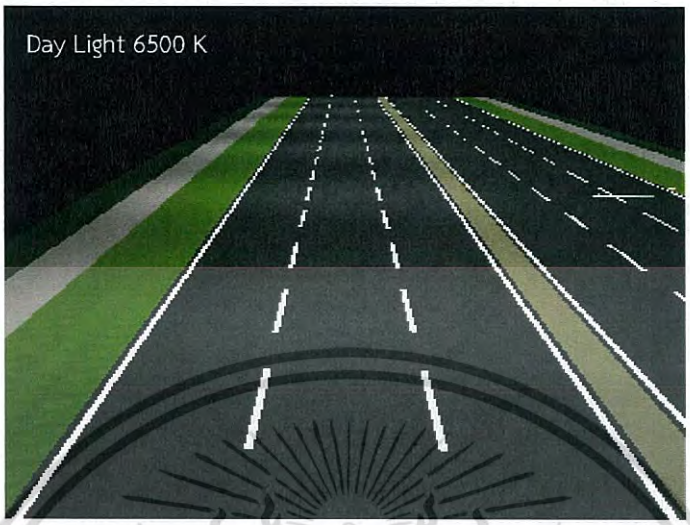


Luminous Flux:	14400	lm
Power:	120.0	W

รูปที่ 4.60 การกระจายความเข้มส่องสว่างลักษณะเส้นโค้งโพลาร์ไดอะแกรมของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)

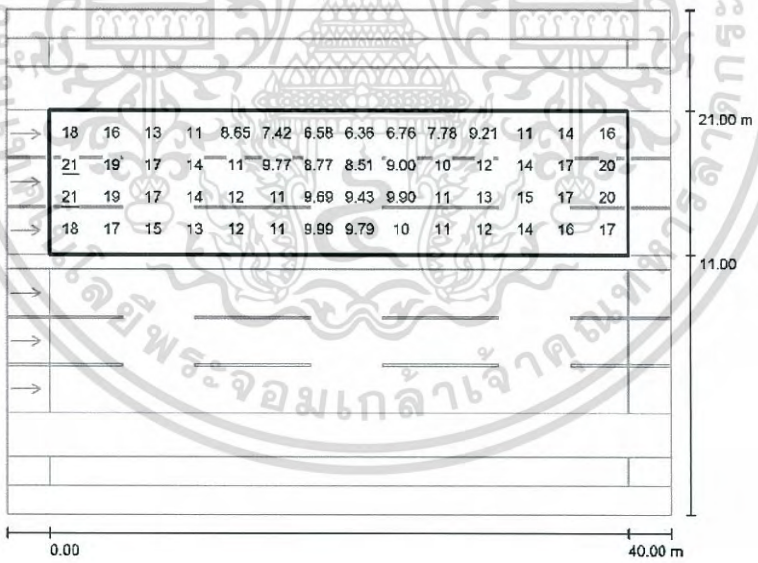
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสี (Color Temperature) คือ Day Light 6,500 K (สีขาว)



รูปที่ 4.61 อุณหภูมิสีของแสงไฟถนน 6,500 K (LED ยี่ห้อ C)

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

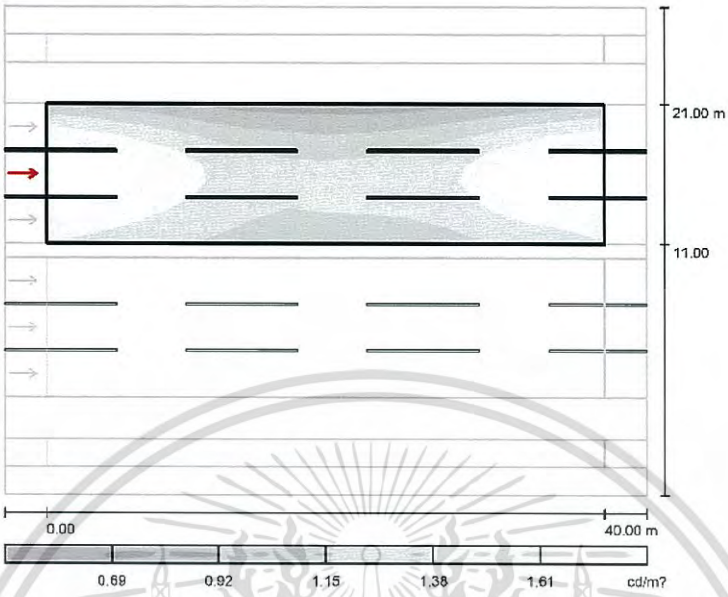


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
13	4.91	21	0.389	0.230

รูปที่ 4.62 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.63 ค่า L_{av} , U_O , U_l , TI ของเคมเพหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)

ตารางที่ 4.46 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)

9.444	1.05	0.99	0.90	0.81	0.72	0.67	0.66	0.65	0.66	0.70	0.79	0.86	0.96	1.01
8.333	1.39	1.29	1.18	1.07	0.93	0.89	0.92	0.90	0.87	0.93	1.02	1.13	1.26	1.34
7.222	1.63	1.53	1.41	1.29	1.13	1.09	0.94	0.95	1.06	1.13	1.22	1.35	1.49	1.57
6.111	1.76	1.68	1.56	1.43	1.26	1.18	1.18	1.18	1.19	1.25	1.36	1.49	1.64	1.72
5.000	1.79	1.72	1.61	1.48	1.31	1.24	1.21	1.22	1.24	1.28	1.38	1.55	1.66	1.76
3.889	1.75	1.69	1.57	1.44	1.28	1.20	1.19	1.20	1.22	1.27	1.39	1.55	1.64	1.69
2.778	1.67	1.59	1.47	1.37	1.24	1.16	1.16	1.17	1.17	1.23	1.30	1.48	1.55	1.62
1.667	1.56	1.48	1.36	1.29	1.19	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.22	1.40	1.38	1.51
0.556	1.42	1.33	1.26	1.20	1.13	1.09	1.09	1.10	1.09	1.08	1.14	1.25	1.30	1.37
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

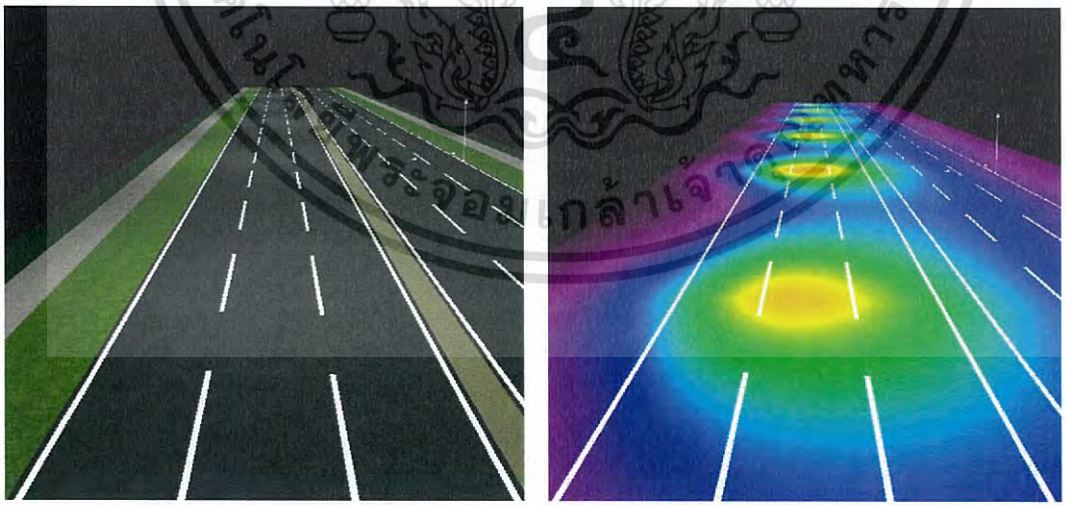
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.47 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)

-0.16	-0.21	-0.28	-0.35	-0.42	-0.46	-0.47	-0.48	-0.47	-0.44	-0.37	-0.31	-0.23	-0.19
0.10	0.02	-0.06	-0.15	-0.26	-0.29	-0.26	-0.28	-0.30	-0.26	-0.19	-0.10	0.00	0.06
0.29	0.21	0.11	0.02	-0.10	-0.13	-0.25	-0.24	-0.15	-0.10	-0.03	0.07	0.18	0.24
0.39	0.33	0.23	0.13	0.00	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05	-0.01	0.07	0.18	0.30	0.36
0.42	0.36	0.27	0.17	0.03	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	0.01	0.09	0.23	0.31	0.39
0.38	0.34	0.24	0.14	0.01	-0.04	-0.05	-0.04	-0.03	0.01	0.10	0.23	0.30	0.34
0.32	0.26	0.16	0.08	-0.01	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.02	0.03	0.17	0.23	0.28
0.23	0.17	0.07	0.02	-0.05	-0.11	-0.10	-0.09	-0.10	-0.09	-0.03	0.11	0.09	0.19
0.12	0.05	0.00	-0.04	-0.10	-0.13	-0.13	-0.12	-0.13	-0.14	-0.09	-0.01	0.03	0.08

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ



รูปที่ 4.64 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 120 W (ยี่ห้อ C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ประสิทธิภาพทางพลังงาน(Energy efficiency)

- ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Power consumption)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ + กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์
+ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของสายไฟ (ระยะทาง 1 km)

$P_{consumption} = P_{lamp,loss} + P_{ballast,loss} + P_{line,loss}$ (per 1 km)

ในระยะทาง 1 km มีจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 25 หลอด

$P_{ballast,loss} = 0$ W $P_{line,loss} = 0$ W

$P_{lamp,loss} = 120 \times 25 = 3{,}000$ W (No Dimmer)

$P_{lamp,loss} = 82.09 \times 25 = 2{,}052.05$ W (Dimmer)

จะได้ $P_{consumption} = 3{,}000$ W หรือ 3.0 kw (No Dimmer)

$P_{consumption} = 2{,}052.05$ W หรือ 2.052 kw (Dimmer)

ในช่วงระยะเวลาในการติดตั้ง 1 ปี เฉลี่ยวันละ 12 ชั่วโมง รวม 4,380 ชั่วโมง

จะได้ 3.0 x 4,380 = 13,140 kw-h หรือ 13,140 หน่วย (No Dimmer)

2.052 x 4,380 = 8,987.76 kw-h หรือ 8,987.76 หน่วย (Dimmer)

ดังนั้น ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 13,140 kw-h (No Dimmer)

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละปี 8,987.76 kw-h (Dimmer)

- ค่าไฟต่อหน่วย เท่ากับ 0.00 บาทต่อปี เนื่องจากติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์
- แรงดันตก (Voltage drop) เท่ากับ 0 V เนื่องจากไม่มีการใช้สายไฟในระบบจำหน่าย
- ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (Lighting performance index; LPI) เท่ากับ 120/40= **3.0 W/m** (ลดลง 57.95% เมื่อเทียบกับหลอด HPS 250 W)
- ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ LED เท่ากับ **120.0 lm/w**
- ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering index : CRI) **ประมาณ 95 %**
- อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ประมาณ **80,000 ชั่วโมง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Installation Costs)

ตารางที่ 4.48 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนของหลอด LED ขนาด 120 W + Solar (ยี่ห้อ C)

รายการติดตั้ง	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย	มูลค่ารวม
- ชุดโคมไฟถนน LED 120 watts + Solar Panel 240W + Solar Battery 250 Ah + Solar Controller 20A/24V	25	EA	55,162.87	1,379,071.75
รวม (บาท)				1,379,071.75

* เพิ่มการติดตั้ง Solar Energy (ไม่คิดค่าติดตั้งอุปกรณ์และสายไฟระยะทาง1กิโลเมตร+ไม่คิดค่าไฟฟ้า)

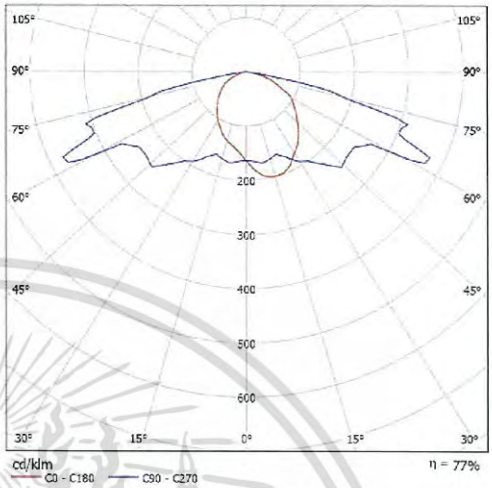
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การพิจารณาเงื่อนไขเพิ่มเติมในสภาวะถนนเปียก (Wet road condition)

4.2.3.1 TRADITIONAL MODEL

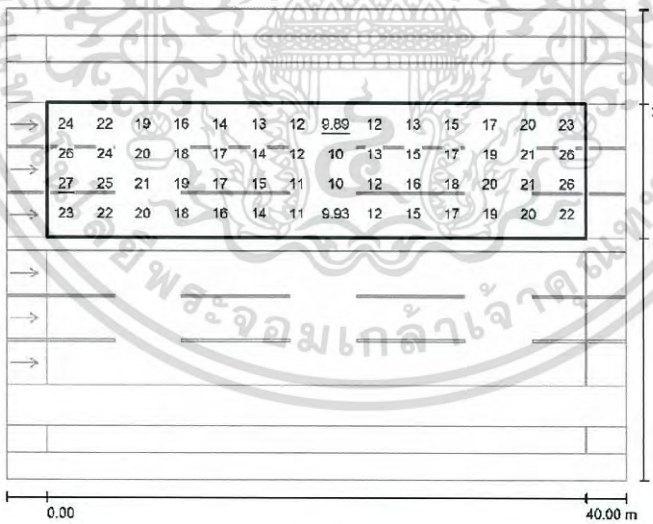
โคมไฟชนิดหลอด HPS ขนาด 250 Watts บนเสาเหล็กไฟถนน (ยี่ห้อ B)

- ความสูงในการติดตั้ง(Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม(Span) 40 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 2 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ความกว้างถนน 10 เมตร จำนวน 3 เลน
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 25 ดวง



Luminous Flux:	29000	lm
Power:	285,4	W

1.) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

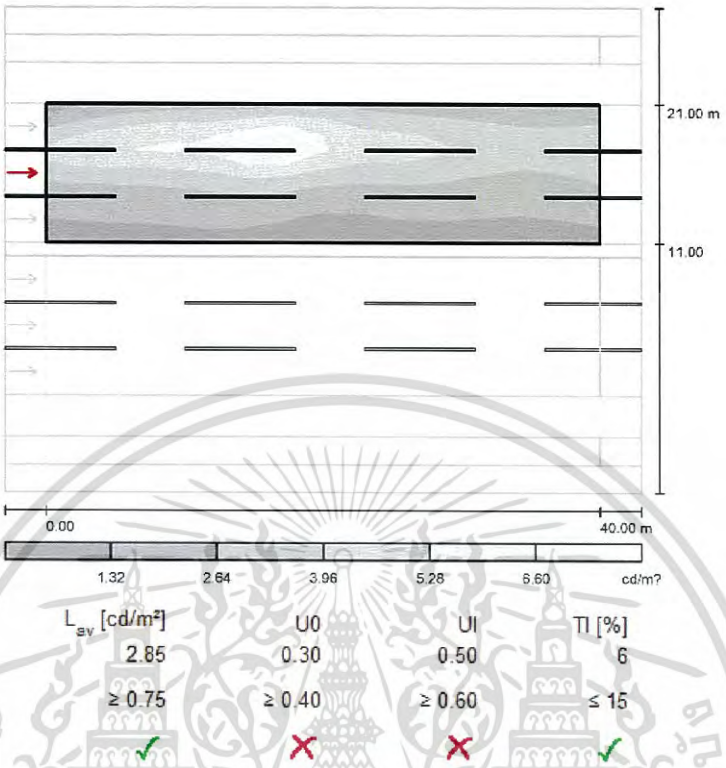


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
17	9.89	27	0.575	0.370

รูปที่ 4.65 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.66 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

ตารางที่ 4.49 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 40 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

9.444	1.62	2.15	2.60	2.93	2.81	3.10	3.71	3.04	2.57	2.43	2.20	2.01	1.76	1.83
8.333	2.74	3.77	4.35	4.61	4.33	5.70	5.64	4.01	3.81	3.52	3.14	2.85	2.55	2.80
7.222	4.57	5.36	5.68	5.87	5.70	7.46	6.79	4.64	4.86	4.43	4.05	3.63	3.34	3.76
6.111	4.62	5.09	5.07	4.90	5.32	6.69	5.87	4.31	4.48	4.18	3.87	3.17	3.07	3.51
5.000	3.25	3.47	3.42	3.53	4.04	4.72	3.85	3.10	3.33	3.28	2.97	2.47	2.37	2.90
3.889	2.21	2.23	2.41	2.55	2.91	3.08	2.48	2.29	2.33	2.38	2.11	1.87	1.79	2.11
2.778	1.70	1.70	1.67	1.80	1.98	2.08	1.58	1.47	1.61	1.72	1.57	1.57	1.50	1.77
1.667	1.27	1.37	1.38	1.49	1.55	1.47	1.15	1.12	1.24	1.36	1.30	1.26	1.22	1.35
0.556	1.07	1.09	1.10	1.16	1.22	1.14	0.85	0.84	0.93	1.07	1.00	0.99	0.98	1.12
m	**1.429**	**4.286**	**7.143**	**10.000**	**12.857**	**15.714**	**18.571**	**21.429**	**24.286**	**27.143**	**30.000**	**32.857**	**35.714**	**38.571**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

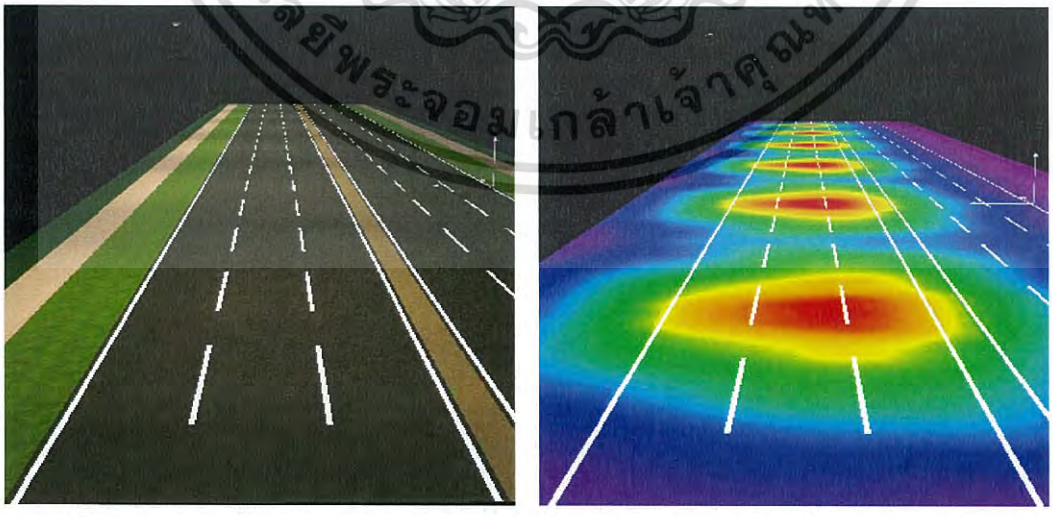
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.50 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

-0.43	-0.24	-0.08	0.02	-0.01	0.08	0.30	0.06	-0.09	-0.14	-0.22	-0.29	-0.38	-0.32
-0.03	0.32	0.52	0.61	0.51	1.00	0.97	0.40	0.33	0.23	0.10	0.00	-0.10	-0.01
0.60	0.88	0.99	1.05	1.00	1.61	1.38	0.62	0.70	0.55	0.42	0.27	0.17	0.31
0.62	0.78	0.77	0.71	0.86	1.34	1.05	0.51	0.57	0.46	0.35	0.11	0.07	0.23
0.14	0.21	0.20	0.23	0.41	0.65	0.35	0.08	0.16	0.15	0.04	-0.13	-0.16	0.01
-0.22	-0.21	-0.15	-0.10	0.02	0.08	-0.12	-0.19	-0.18	-0.16	-0.25	-0.34	-0.37	-0.25
-0.40	-0.40	-0.41	-0.36	-0.30	-0.27	-0.44	-0.48	-0.43	-0.39	-0.44	-0.44	-0.47	-0.37
-0.55	-0.51	-0.51	-0.47	-0.45	-0.48	-0.59	-0.60	-0.56	-0.52	-0.54	-0.55	-0.57	-0.52
-0.62	-0.61	-0.61	-0.59	-0.57	-0.60	-0.70	-0.70	-0.67	-0.62	-0.64	-0.65	-0.65	-0.60

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ
- ค่า c ที่สูงเกินความจำเป็น = การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย



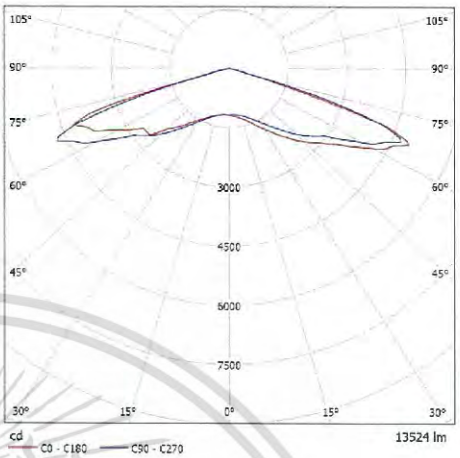
รูปที่ 4.67 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด HPS ขนาด 250 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 INNOVATIVE MODEL

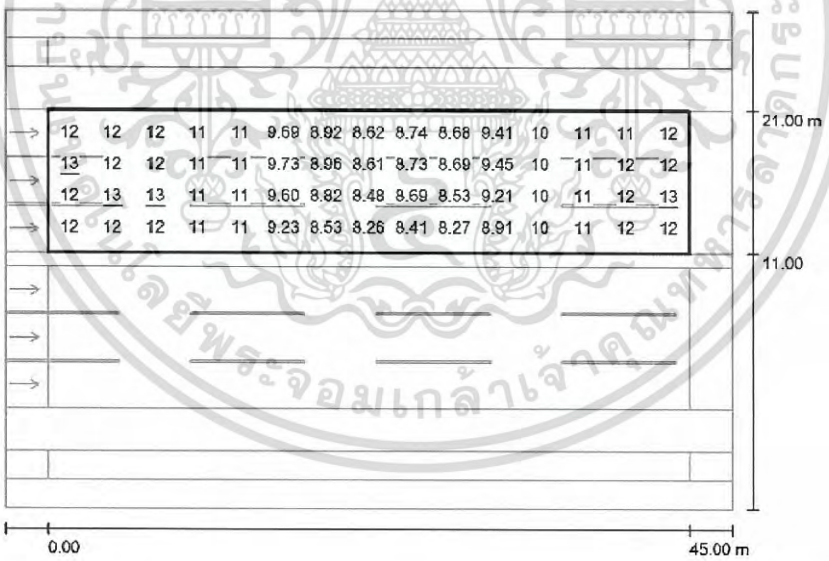
โคมไฟชนิดหลอด LED ขนาด 150 Watts บนเสาเหล็กไฟถนน (ยี่ห้อ B)

- ความสูงในการติดตั้ง(Mounting Height) 12 เมตร
- ระยะห่างระหว่างดวงโคม(Span) 45 เมตร
- ระยะช่วงยื่น (Overhang) 1 เมตร
- มุมเงย (Tilt angle) 5°
- ความกว้างถนน 10 เมตร จำนวน 3 เลน
- ระยะทาง 1 กิโลเมตร จำนวนดวงโคม 22 ดวง



Luminous Flux: 13524 lm

1) ค่าความสว่าง (Illuminance : E , Lux)

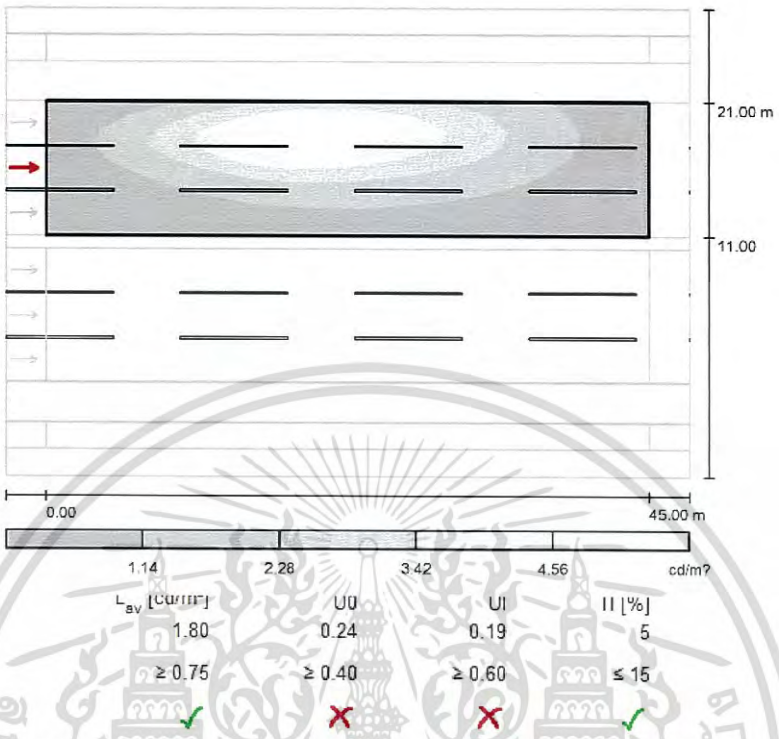


E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
10	8.13	13	0.779	0.638

รูปที่ 4.68 ค่าความสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความส่องสว่าง (Luminance : L , cd/m^2)



รูปที่ 4.69 ค่า L_{av} , U_o , U_l , TI ของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

ตารางที่ 4.51 ค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ในพื้นที่ย่อย ที่ระยะ Span 45 m ความกว้างถนน 10 m ของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

9.444	0.55	0.69	1.13	1.64	2.32	3.04	3.42	3.38	3.23	2.74	2.31	1.80	1.25	0.85	0.61
8.333	0.67	0.98	1.80	2.67	3.71	4.69	5.09	4.80	4.39	3.60	2.94	2.20	1.45	0.97	0.68
7.222	0.81	1.25	2.34	3.45	4.75	5.86	6.16	5.54	4.91	3.93	3.12	2.31	1.53	1.05	0.74
6.111	0.79	1.17	2.06	2.96	4.05	4.92	5.10	4.52	4.08	3.30	2.69	2.02	1.39	0.98	0.71
5.000	0.65	0.87	1.40	1.93	2.63	3.24	3.45	3.23	2.89	2.44	2.04	1.62	1.16	0.86	0.65
3.889	0.55	0.65	0.95	1.27	1.75	2.06	2.17	2.06	1.99	1.71	1.50	1.26	0.95	0.74	0.58
2.778	0.50	0.57	0.76	0.93	1.13	1.30	1.38	1.42	1.38	1.21	1.12	0.96	0.78	0.64	0.54
1.667	0.46	0.50	0.59	0.73	0.88	0.97	1.01	0.99	1.02	0.91	0.84	0.79	0.64	0.57	0.50
0.556	0.44	0.46	0.54	0.60	0.69	0.72	0.78	0.77	0.76	0.69	0.67	0.64	0.55	0.49	0.45
m	**1.500**	**4.500**	**7.500**	**10.500**	**13.500**	**16.500**	**19.500**	**22.500**	**25.500**	**28.500**	**31.500**	**34.500**	**37.500**	**40.500**	**43.500**

Attention: The coordinates refer to the image above. Values in Candela/m².

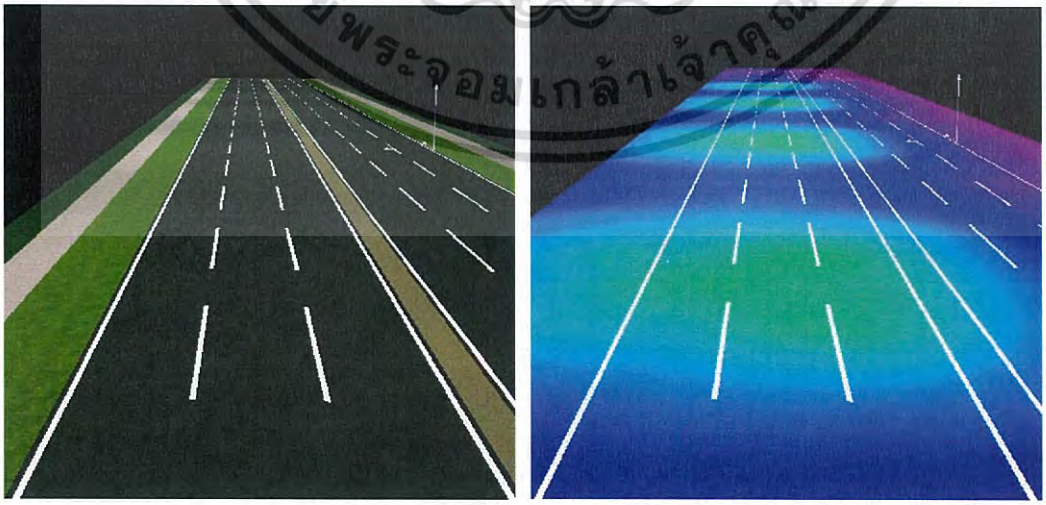
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance Contrast : C)

ตารางที่ 4.52 ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยของโคมไฟถนนหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

-0.69	-0.61	-0.37	-0.08	0.28	0.68	0.90	0.87	0.79	0.52	0.28	0.00	-0.30	-0.52	-0.66
-0.62	-0.45	0.00	0.48	1.06	1.60	1.82	1.66	1.43	1.00	0.63	0.22	-0.19	-0.46	-0.62
-0.55	-0.30	0.30	0.91	1.63	2.25	2.42	2.07	1.72	1.18	0.73	0.28	-0.15	-0.41	-0.58
-0.56	-0.35	0.14	0.64	1.25	1.73	1.83	1.51	1.26	0.83	0.49	0.12	-0.22	-0.45	-0.60
-0.63	-0.51	-0.22	0.07	0.46	0.80	0.91	0.79	0.60	0.35	0.13	-0.10	-0.35	-0.52	-0.63
-0.69	-0.63	-0.47	-0.29	-0.02	0.14	0.20	0.14	0.10	-0.05	-0.16	-0.30	-0.47	-0.58	-0.67
-0.72	-0.68	-0.57	-0.48	-0.37	-0.27	-0.23	-0.21	-0.23	-0.32	-0.37	-0.46	-0.56	-0.64	-0.70
-0.74	-0.72	-0.67	-0.59	-0.51	-0.46	-0.43	-0.45	-0.43	-0.49	-0.53	-0.56	-0.64	-0.68	-0.72
-0.75	-0.74	-0.70	-0.66	-0.61	-0.60	-0.56	-0.57	-0.57	-0.61	-0.62	-0.64	-0.69	-0.72	-0.75

- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.16 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจนมากกว่า 90%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0.12 = การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ดีมากกว่า 50%
- ค่า c ที่มีค่ามากกว่า 0 (+) = วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ
- ค่า c ที่มีค่าน้อยกว่า 0 (-) = วัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ
- ค่า c ที่สูงเกินความจำเป็น = การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย



รูปที่ 4.70 การกระจายความสว่างของโคมไฟหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B (Wet Road)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์และอภิปรายผล

5.1 การพิจารณาด้านความปลอดภัย

การส่องสว่างของโคมไฟถนนในช่วงเวลากลางคืนเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นต่อการขับขี่ยานพาหนะบนท้องถนนอย่างมาก เนื่องจากผู้ขับขี่ยานพาหนะทุกคนจำเป็นจะต้องใช้สายตาในการมองแนวถนนไปข้างหน้าตลอดเส้นทางการขับขี่ จึงเป็นเหตุให้แสงสว่างที่เกิดจากการติดตั้งโคมไฟถนนมีบทบาทในการเข้ามาช่วยให้เราขับขี่ยานพาหนะโดยสามารถมองเห็นวัตถุต่างๆบนท้องถนนได้ชัดเจนและถูกต้อง อันจะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้รถบนท้องถนนมากยิ่งขึ้น

เกณฑ์การพิจารณาค่าสมรรถนะการส่องสว่างให้เป็นไปตามมาตรฐานการส่องสว่างของ การไฟฟ้านครหลวง (MEA Standard) อ้างอิงจากมาตรฐาน CIE และมาตรฐานการส่องสว่างถนนของประเทศไทย โดยค่าสมรรถนะการส่องสว่างประกอบไปด้วย ค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนน(Eav) , ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน(Lav) , ค่าความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนน(Uo) , ค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน(Ul) และส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน(TI) นอกจากนี้ยังพิจารณาเพิ่มเติมถึงอุณหภูมิสีของแสง(CCT) และค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง(C) ในแต่ละรูปแบบการทดสอบ โดยรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิมแสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิม

List	MEA Standard	HPS 250 W Warm White 2000K	HPS 250 W Warm White 2500K	MH 250 W Cool White 4000K	MH 250 W Cool White 4500K
Illuminance (Eav : lux)	≥ 9.70	17.0	12.0	14.0	10.0
Luminance (Lav : cd/m^2)	≥ 0.75	1.69	1.16	1.34	1.00
Overall Uniformity (Uo)	≥ 0.40	0.66	0.66	0.74	0.74
Longitudinal Uniformity (Ul)	≥ 0.60	0.62	0.62	0.79	0.79
Threshold increment (TI :%)	≤ 15	7.0	7.0	6.0	6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 รูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิม โดยภายใต้เงื่อนไขความกว้างถนน 10 เมตร จำนวน 3 เลน, ความสูงในการติดตั้ง 12 เมตร, ระยะห่างระหว่างดวงโคม 40 เมตร, ระยะช่วงยื่น 2 เมตรและมุมเงย 5° ความยาวเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยได้เปรียบเทียบชนิดของหลอดไฟระหว่างหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS) กับหลอดเมทัลฮาไลด์ (MH) พร้อมกับเปรียบเทียบอุณหภูมิสีของแสงที่เปลี่ยนไปซึ่งทั้ง 4 รูปแบบการจำลองมีค่าการส่องสว่างทางแสงเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ โดยจะสังเกตเห็นว่าเมื่อหลอด HPS และหลอด MH มีการปรับอุณหภูมิสีของแสงที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อค่า ฟลักซ์การส่องสว่าง(lm) ลดน้อยลง นั่นหมายถึงอุณหภูมิสีของแสงจะแปรผกผันกับฟลักซ์การส่องสว่าง ทำให้ค่าความสว่าง (lux) ลดน้อยลงไปด้วย จึงส่งผลต่อค่าความส่องสว่าง (cd/m^2) ลดลงเช่นกัน แต่ในทางกลับกันค่าความสม่ำเสมอรวมและความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนนและค่าส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากโพลาร์ไดอะแกรม (Polar diagram) แสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างของแต่ละชนิดหลอดไฟมีการกระจายแสงที่คงที่ อีกทั้งความสูงในการติดตั้งและระยะห่างระหว่างดวงโคมมีค่าที่เหมาะสม ทำให้เกิดความสม่ำเสมอในการกระจายแสงบนพื้นผิวถนน และเมื่อค่าความส่องสว่างคือค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางที่มองของพื้นที่ย่อยนั้น หารด้วยพื้นที่ของส่วนย่อยนั้นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่มอง นั่นคือความรู้สึกของตาในความส่องสว่างของพื้นผิวที่ถูกส่องสว่าง ซึ่งเมื่อค่าความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยนั้นลดลง ทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยลดน้อยลงเป็นสัดส่วนที่เท่าๆกัน ส่งผลทำให้ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (C) ในแต่ละพื้นที่ย่อยเปลี่ยนแปลงไป นั่นหมายถึง เมื่อปรับค่าอุณหภูมิสีของแสงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อยลดลง แต่จะมีค่า C ที่เป็นบวกบริเวณกว้างมากยิ่งขึ้น โดยถ้าวัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองจะทำให้เห็นวัตถุเป็นเงาดำ ซึ่งค่า C จะมีค่าเป็นลบ และถ้าวัตถุสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบค่า C จะเป็นบวก ถ้าต้องการมองเห็นวัตถุบนท้องถนนได้ดีมากกว่า 50% ค่า C จะต้องมีค่ามากกว่า 0.12 และถ้าต้องการมองเห็นวัตถุบนท้องถนนได้ดีมากกว่า 90% ค่า C จะต้องมีค่ามากกว่า 0.16 ขึ้นไป [11] โดยในแต่ละพื้นที่ส่วนย่อยนั้นก็จะมีค่า C ที่แตกต่างกันไปซึ่งสอดคล้องกับค่าความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ส่วนย่อยนั้นๆด้วย ซึ่งแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงหลอด HPS จะมีอุณหภูมิสีต่ำประมาณ 2,000 K สีของแสงเป็นสีเหลืองทองซึ่งมีดัชนีการให้สีค่อนข้างต่ำ (Ra = 25) และมีหลอดโซเดียมซึ่งให้แสงสีขาวเหลือง มีอุณหภูมิสีประมาณ 2,500 K มีดัชนีการให้สีดีขึ้น (Ra = 85) แต่ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/w) ลดลง ส่วนแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงหลอด MH จะมีอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง Cool White 4,000 – 4,500K เนื่องจาก ทำงานด้วยไอปรอทที่ความดันสูง ซึ่งภายในหลอดถ่ายประจุมีการเติมสารประกอบจำพวกฮาไลด์ เพื่อทำให้สีของแสงดีขึ้น โดยอุณหภูมิสีของแสงขึ้นอยู่กับสารประกอบฮาไลด์ที่เติมเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่

List	MEA Standard	Traditional Model	Replacement				New Installation				
		HPS 250 W Warm White 2000K (span40m) Ref.	LED 150 W ยี่ห้อ A (span40m)	LED 150 W ยี่ห้อ B (span40m)	LED 250 W ยี่ห้อ A (span40m)	LED 250 W ยี่ห้อ B (span40m)	LED 150 W ยี่ห้อ A (Max span 50m)	LED 150 W ยี่ห้อ B (Max span 45m)	LED 250 W ยี่ห้อ A (Max span 55m)	LED 250 W ยี่ห้อ B (Max span 50m)	LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C (Max span 40 m)
Illuminance (Eav : lux)	≥ 9.70	17.0	13.0	12.0	23.0	20.0	10.0	10.0	17.0	16.0	13.0
Luminance (Lav : cd/m^2)	≥ 0.75	1.69	1.20	1.16	2.10	1.89	0.96	1.03	1.53	1.51	1.26
Overall Uniformity (Uo)	≥ 0.40	0.66	0.74	0.85	0.74	0.49	0.74	0.80	0.69	0.42	0.51
Longitudinal Uniformity (Ul)	≥ 0.60	0.62	0.70	0.78	0.70	0.73	0.76	0.72	0.73	0.62	0.68
Threshold increment (TI :%)	≤ 15	7.0	4.0	7.0	4.0	9.0	4.0	8.0	5.0	10.0	9.0

ตารางที่ 5.3 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ A

LED 150 W ยี่ห้อ A	MEA Std.	ระยะห่างระหว่างดวงโคม (span : m)																			
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Eav : lux	≥ 9.70	13.0	13.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0	10.0	10.0	9.81	9.63	9.45	9.28	9.12	8.96	8.81	8.66
Lav : cd/m^2	≥ 0.75	1.20	1.17	1.14	1.12	1.09	1.07	1.05	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.84	0.83	0.82	0.80
Uo	≥ 0.40	0.74	0.76	0.77	0.78	0.79	0.78	0.76	0.76	0.76	0.74	0.74	0.76	0.75	0.74	0.72	0.69	0.66	0.63	0.60	0.56	0.53
Ul	≥ 0.60	0.70	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.74	0.75	0.74	0.76	0.77	0.77	0.77	0.76	0.73	0.68	0.63	0.59	0.55	0.50
TI :%	≤ 15	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

ตารางที่ 5.4 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด 150 W ยี่ห้อ B

LED 150 W ยี่ห้อ B	MEA Std.	ระยะห่างระหว่างดวงโคม (span : m)																			
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Eav : lux	≥ 9.70	12.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0	10.0	10.0	9.79	9.59	9.40	9.21	9.04	8.86	8.70	8.54	8.39	8.24	8.10	7.96	7.83
Lav : cd/m^2	≥ 0.75	1.16	1.13	1.10	1.08	1.05	1.03	1.01	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.81	0.80	0.79	0.77
Uo	≥ 0.40	0.85	0.83	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.74	0.73	0.72	0.71
Ul	≥ 0.60	0.78	0.76	0.74	0.73	0.73	0.72	0.73	0.73	0.72	0.76	0.76	0.75	0.77	0.75	0.74	0.73	0.71	0.69	0.67	0.68	0.68
TI :%	≤ 15	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0

ตารางที่ 5.5 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด 250 W ยี่ห้อ A

LED 250 W ยี่ห้อ A	MEA Std.	ระยะห่างระหว่างดวงโคม (span : m)																				
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Eav : lux	≥ 9.70	23.0	22.0	22.0	21.0	21.0	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	18.0	18.0	17.0	17.0	17.0	17.0	16.0	16.0	16.0	15.0	15.0
Lav : cd/m^2	≥ 0.75	2.10	2.05	2.00	1.96	1.91	1.87	1.83	1.79	1.75	1.72	1.68	1.65	1.62	1.59	1.56	1.53	1.51	1.48	1.45	1.43	1.40
Uo	≥ 0.40	0.74	0.76	0.77	0.78	0.79	0.78	0.76	0.76	0.76	0.74	0.74	0.76	0.75	0.74	0.72	0.69	0.66	0.63	0.60	0.56	0.53
Ul	≥ 0.60	0.70	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.74	0.75	0.74	0.76	0.77	0.77	0.77	0.76	0.73	0.68	0.63	0.59	0.55	0.50
TI :%	≤ 15	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0

ตารางที่ 5.6 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ของหลอด LED ขนาด 250 W ยี่ห้อ B

LED 250 W ยี่ห้อ B	MEA Std.	ระยะห่างระหว่างดวงโคม (span : m)																				
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Eav : lux	≥ 9.70	20.0	19.0	19.0	18.0	18.0	17.0	17.0	17.0	16.0	16.0	16.0	15.0	15.0	15.0	15.0	14.0	14.0	14.0	14.0	13.0	13.0
Lav : cd/m^2	≥ 0.75	1.89	1.84	1.80	1.75	1.71	1.68	1.64	1.61	1.57	1.54	1.51	1.48	1.45	1.42	1.40	1.37	1.35	1.32	1.30	1.28	1.26
Uo	≥ 0.40	0.49	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.38	0.38	0.38
Ul	≥ 0.60	0.73	0.72	0.70	0.69	0.67	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.62	0.60	0.59	0.59	0.58	0.56	0.57	0.56	0.54	0.54	0.53
TI :%	≤ 15	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	12.0

จากตารางที่ 5.2 รูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ โดยภายใต้เงื่อนไขความกว้างถนน 10 เมตร จำนวน 3 เลน, ความสูงในการติดตั้ง 12 เมตร, ระยะช่วงยื่น 1 เมตรและมุมเงย 5° ความยาวเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร ซึ่งเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างดวงโคมแบบเก่าคือ 40 เมตร และรูปแบบใหม่ที่มีระยะห่างระหว่างดวงโคมที่เหมาะสมแตกต่างกันไป โดยได้เปรียบเทียบชนิดของหลอดไฟแอลอีดี 150 W กับ 250 W ทั้งยี่ห้อ A และ B รวมถึงพิจารณารูปแบบติดตั้งเพิ่มเติมของหลอดแอลอีดีที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งทั้ง 9 รูปแบบ การทดสอบมีค่าการส่องสว่างทางแสงเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ โดยจะสังเกตเห็นว่าหลอด LED ทั้ง 150 W และ 250W ของยี่ห้อ A จะมีค่าความสว่างและค่าความส่องสว่างที่ดีกว่ายี่ห้อ B อยู่เล็กน้อย เมื่อมีการทดสอบโคมไฟถนนที่ใช้หลอดแอลอีดีที่มีระยะห่างระหว่างดวงโคมเท่าเดิมคือ 40 เมตรซึ่งจะมีค่าทางแสงที่สูงเกินความจำเป็น จึงทำให้มีการปรับรูปแบบของระยะห่างระหว่างดวงโคมให้เหมาะสมดังตารางที่ 5.3ถึง 5.6 ซึ่งจะต้องให้ค่าทางแสงเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ในด้านอุณหภูมิสีของแสงที่พิจารณามี 3 ช่วงคือ Cool White 4000K , Cool White 4500K และ Day Light 6500K ถ้าปรับอุณหภูมิสีเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างที่ดีขึ้น และเมื่อมองลึกลงไปในพื้นที่ส่วนย่อยนั้นๆจะสังเกตเห็นว่าพื้นที่ส่วนย่อยโดยรวมจะมีค่า C เป็นบวก นั่นหมายความว่า วัตถุมีความส่องสว่างกว่าบริเวณที่มองโดยรอบ จึงทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ยานพาหนะบนท้องถนนมากยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED 120W + Solar ยี่ห้อ C จะให้อุณหภูมิสีของแสงเป็น Day Light 6500K ซึ่งให้แสงสีขาว โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Panel) มีตัวควบคุม (Solar Controller) เก็บพลังงานในแบตเตอรี่ (Solar Battery) ถือว่าเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นทางเลือกที่ดีในการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนในอนาคต

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการติดตั้งโคมไฟถนนทั้ง 2 รูปแบบจะสังเกตเห็นว่าโคมไฟถนนที่เลือกใช้ชนิดหลอดไฟแบบ HPS 250W ที่อุณหภูมิสี 2,000K จะมีค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนนและค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนนที่ดีที่สุด เนื่องจากหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้ประสิทธิผลความส่องสว่างที่สูง แต่ในทางกลับกันโคมไฟถนนที่ใช้หลอดไฟแบบ LED จะมีความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างถนนและค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนนที่ดีกว่า โดยโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED 150 W ยี่ห้อ B จะมีความสม่ำเสมอในการกระจายแสงที่ดีที่สุด ซึ่งจะมีค่าเข้าใกล้เคียง 1 มากที่สุด นั่นหมายความว่าความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างต่ำสุดบนพื้นถนนกับค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้เกิดความสบายตาในการขับขี่ยานพาหนะบนท้องถนน ซึ่งถนนที่มีความสว่างน้อยแต่มีความสม่ำเสมอในการกระจายแสงยังจะดีกว่าถนนที่สว่างและมืดสลับกันเป็นช่วงๆ เสียอีก และเมื่อเปรียบเทียบทางด้านอุณหภูมิสีของแสงของโคมไฟที่ใช้หลอด HPS จะอยู่ในช่วง Warm White 2000-2500 K ซึ่งให้แสงโทนสีเหลือง, หลอด MH จะอยู่ในช่วง Cool White 4000-4500 K ซึ่งให้แสงสีขาว และหลอด LED จะอยู่ในช่วง 4000-6500 K ซึ่งให้แสงสว่างโทนสีเหลืองไปยังแสงสีขาวตามลำดับ โดยอุณหภูมิสีของแสงเป็นสีที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุสีดำ หรือเผาไหม้วัตถุสีดำ เมื่อมีความร้อนเกิดขึ้นที่วัตถุสีดำวัตถุนั้นๆก็จะมีการดูดซับความร้อนจนได้ในระดับสีต่างๆ จากนั้นก็จะแปลงไปตามอุณหภูมิที่ได้รับ โดยโคมไฟถนนที่ให้แสงสีส้มอมเหลืองจะนิยมใช้ในไฟถนนทางหลวง เหตุผลที่เป็นที่นิยมนั้นเพราะว่ามันมีราคาถูก เนื่องจากลำแสงสีนี้เป็นหลอดไฟที่มีโซเดียมความเข้มข้นสูง เพียงแค่ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไป โซเดียมก็จะเกิดปฏิกิริยาเปล่งแสงสีส้มอมเหลืองออกมาให้ความสว่างบนถนน ถึงแม้ว่าหลอด HPS จะสามารถประหยัดต้นทุนในการพัฒนาสาธารณูปโภคได้แต่ก็ไม่ใช่สิ่งที่ดีเสมอไป เนื่องจากมีผลการวิจัยพบว่าคุณภาพแสงสีส้มนั้นมีประสิทธิภาพในการเพิ่มการมองเห็นของผู้ใช้รถใช้ถนนต่ำกว่าโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED ที่ให้แสงสีขาว ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่สามารถควบคุมทิศทางการเปล่งแสงให้พุ่งไปตามที่กำหนดได้มากกว่าและมีราคาที่สูงกว่าเช่นกัน โดยแสงสีขาวจะทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกว่ามองเห็นได้ชัดขึ้นถึงสองเท่าซึ่งจะช่วยลดเวลาในการเบรกลงไปได้ถึง 25% เมื่อเปรียบเทียบกับโคมไฟถนนที่ให้แสงสีส้ม [12] นี่จึงเป็นเหตุผลในการนำโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED มาติดตั้งบนถนนตัดใหม่ เนื่องจากการเพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้รถใช้ถนนนั้นมีค่าเกินกว่าที่จะนำมาประเมินเป็นตัวเลขเพียงเพื่อที่จะคำนวณส่วนต่างนั้นๆว่ามันคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการเลือกซื้อหลอดไฟ LED หรือไม่

จากผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความไวของตาในการรับแสงในที่มืดโดยใช้หลอดไฟ LED ที่อุณหภูมิสีของแสงเปลี่ยนแปลงไปจะพบว่า อุณหภูมิสีของแสงที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อความไวของตาในการรับแสงในที่มืดลดลง แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิสีของแสงที่ต่ำกว่าที่อยู่ในช่วง Warm White จะมีความยาวคลื่นของแสงที่ยาวกว่าทำให้มีความไวของตาในการรับแสงในที่มืดที่เร็วกว่า [13] และเมื่อพิจารณาในด้านการแยกแยะความถูกต้องของสีนั้น อุณหภูมิสีของแสงที่สูงกว่าทำให้ความสามารถในการมองเห็นความถูกต้องของสีที่ดีกว่าอุณหภูมิต่ำ โดยอุณหภูมิสีของแสงที่มากกว่า 3000K ขึ้นไปจะสามารถให้ความถูกต้องของสีได้เกือบ 100% ซึ่งก็จะมีค่า ดัชนีการตอบสนองสี (CRI) ที่สูง ช่วยให้ตาคนเราสามารถบอกความถูกต้องของสีได้ดีขึ้น เมื่อทดสอบในเงื่อนไขที่มีเมฆหมอกลงหรือไอน้ำความสว่างบนถนนจะลดลง นั่นหมายถึงแสงที่ส่งผ่านทะลุหมอกลดลง เมื่ออุณหภูมิสีของแสงที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้การส่งผ่านของแสงทะลุหมอกลดต่ำลง ดังนั้นเพื่อความไวของตาในการรับแสงในที่มืดและความสามารถในการตอบสนองสีของแสงที่ถูกต้องควรออกแบบให้โคมไฟถนน LED มีอุณหภูมิราวๆ 4,000 K เพื่อค่าประสิทธิผลการส่องสว่างที่สูงและทำให้เกิดความปลอดภัยในการส่องสว่างบนถนนที่เหมาะสม

จากผลการวิจัยข้างต้นนั้น พอจะประมาณได้ว่าโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED จะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ยาพาหนะบนท้องถนนได้มากกว่าหลอด HPS แต่ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดได้ว่าแสงสีเหลืองหรือแสงสีขาวน่าจะเหมาะสมมากกว่ากัน ซึ่งจะต้องพิจารณาปัจจัยในการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนหลายอย่างและจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการติดตั้งเพื่ออะไร โดยโคมไฟถนนที่ติดตั้งเพื่อให้เห็นวัตถุบนท้องถนน ซึ่งจะต้องการให้คนขับรถเห็นและแยกแยะวัตถุได้อย่างชัดเจนต่อสายตามากที่สุด ดังนั้นในการเลือกอุณหภูมิสีของแสงจะต้องเลือกให้ค่าของแสงไปที่สีขาวเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะสนใจค่าความสว่างเสียอีก และแน่นอนว่าถ้าหาก แหล่งกำเนิดแสงนั้นมีค่า CRI ที่ดีกว่า ก็จะทำให้ spectrum ของแสงนั้นสูงขึ้น ส่งผลให้การมองเห็นวัตถุบนท้องถนนที่ชัดเจนและถูกต้อง สำหรับโคมไฟถนนที่ติดตั้งเพื่อให้รถวิ่งผ่านด้วยความเร็วสูงนั้น ควรเลือกใช้หลอดไฟ LED ที่ให้แสงสีเหลือง ที่อุณหภูมิสีต่ำ เนื่องจากความเร็วของรถจะทำให้วัตถุเบลอในมุมของสายตาองศาใกล้ๆ แต่จะเน้นโฟกัสของสมาธิเกือบทั้งหมดไปที่ท้องถนนด้านหน้าที่มีความเร็วสัมพัทธ์เข้าใกล้ศูนย์ได้มากกว่าวัตถุที่มีความเร็วสัมพัทธ์สูงขึ้น ดังนั้นสิ่งต่างๆที่อยู่รอบข้างถนนถือว่าเป็นวัตถุที่รบกวนทั้งหมดเพราะอาจทำให้เสียสมาธิในการขับรถได้ เราจึงไม่จำเป็นต้องรับรู้รายละเอียดสภาพแวดล้อมที่ต้องการความชัดเจนและถูกต้องมากนัก เนื่องด้วยการเดินรถที่มีความเร็วสูงเช่นนี้ ถ้าสมาธิหลุดออกจากถนนเพียงเสี้ยววินาทีเท่านั้น นั่นหมายถึงอันตรายต่อชีวิต รวมถึงมีวัตถุริมทางให้สมองประมวลผลน้อยกว่า ทำให้อาจลดความเครียดของผู้ขับขี่ยานพาหนะลงได้ สำหรับโคมไฟถนนที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีฝุ่นหมอก ไอน้ำ หรือสสารในอากาศฟุ้งกระจายนั้น แสงที่มีโอกาสทะลุผ่านอุปสรรคต่อการขับขี่ไปยังพื้นถนนที่เหมาะสมควรเป็นแสงสีเหลือง เนื่องมาจากแสงสีขาวสามารถทำให้แยกแยะวัตถุได้ชัดเจนและมีการฟุ้งกระจายของคลื่นเมื่อกระทบกับละอองต่างๆในอากาศ ซึ่งคนเดินรถบนท้องถนนไม่ต้องการเห็นสิ่งต่างๆเหล่านี้กลางตาระหว่างขับรถ เพื่อเป็นการลดวัตถุที่ต้องประมวลผลในการขับขี่ โดยทั้งนี้ทั้งนั้นไม่ได้หมายความว่าแสงสีเหลืองจะทะลุผ่านได้ดีกว่าแสงสีขาว แต่กลับหมายความว่าแสงสีเหลืองนั้นมองเห็นวัตถุได้ด้อยกว่า แค่มองได้ไม่เห็นหรือมองได้ไม่ชัดเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบในสภาวะถนนเปียก โดยโคมไฟถนนที่ใช้หลอด HPS ที่ให้แสงสีเหลือง (อุณหภูมิสีของแสงต่ำ) ยังมีค่าความสว่างและความส่องสว่างที่ดีกว่าหลอด LED ที่ให้แสงสีขาว (อุณหภูมิสีของแสงสูง)แต่เมื่อพิจารณาค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสงทั้งหลอด HPS และ LED มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของหลอดไฟในสภาวะถนนเปียกเช่นนี้ จะทำให้การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย เนื่องจากมีค่า C ที่สูงเกินกว่าควรจะเป็น อีกทั้งยังมีค่า C ติดลบเป็นบริเวณกว้าง ทำให้การมองเห็นวัตถุเป็นเงาดำเพราะวัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองโดยรอบดังนั้นจะทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ สำหรับโคมไฟถนนที่ติดตั้งบนท้องถนนที่รถวิ่งผ่านด้วยความเร็วต่ำนั้น น้ำหนักของเหตุผลในการเลือกใช้แสงของคนเดินรถจะน้อยกว่าคนเดินถนน โดยมุ่งเน้นไปที่ความปลอดภัยของคนเดินถนนแทนเพราะเป็นพื้นที่ชุมชน ควรให้แสงสีขาว แม้ว่าจะมีวัตถุให้ประมวลผลมากแต่ก็ไม่น่าจะก่อให้เกิดความเครียดในการเดินรถมากนัก เนื่องด้วยความเร็วในการขับขี่ที่ต่ำเป็นหลัก

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขสภาวะถนนเปียกเพิ่มเติม จะพบว่า เมื่อผิวถนนเปียกจะเกิดการสะท้อนแสงโดยตรงของผิวถนนเปียกที่ส่องสว่างไสวมากเป็นหย่อมๆ ทำให้ความส่องสว่างของผิวถนนมีความสม่ำเสมอลดระดับลงอย่างรุนแรงและเกิดความจ้าตาเพิ่มขึ้น มีผลลัพธ์ทางลบต่อทัศนวิสัยส่วนใหญ่ของถนน ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ วิธีแก้ไขสมรรถนะทางแสงในภาวะถนนเปียกให้ดีขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนการติดตั้งที่ออกแบบสำหรับถนนในภาวะแห้ง และการใช้ผิวถนนที่มีคุณสมบัติ

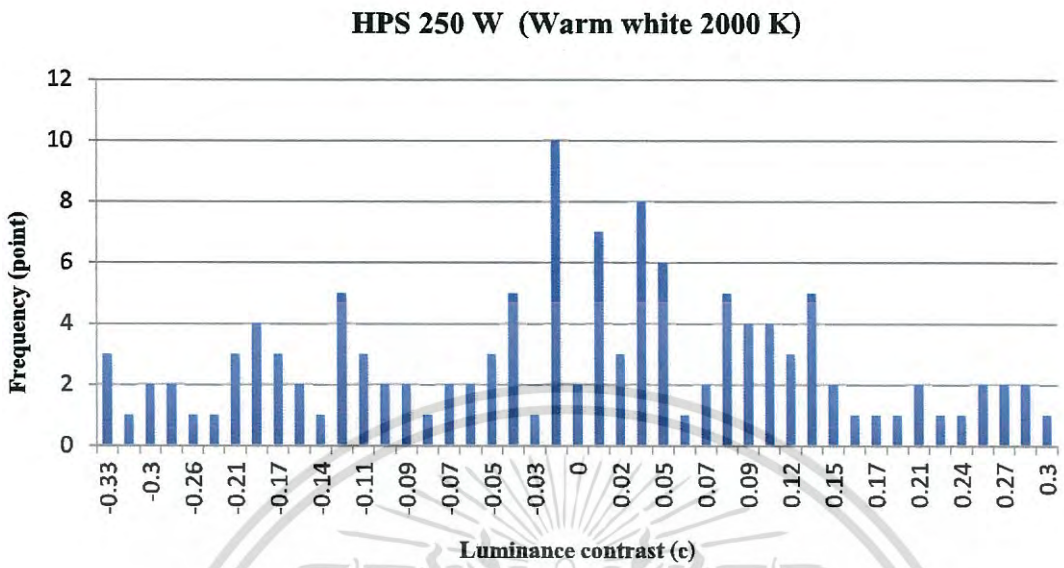
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนแสงดีขึ้น วิธีแก้ไขเช่นนี้จะทำให้ค่าติดตั้งระบบไฟส่องสว่างถนนและค่าก่อสร้างถนนสูงขึ้น โดยควรเลือกผิวถนนชั้น R1 (concrete) ซึ่งจะมีความมันผิวที่สะท้อนแสงโดยตรงต่ำและให้การกระจายความส่องสว่างดีที่สุด ดังนั้นการออกแบบระบบไฟส่องสว่างถนนที่มีพื้นผิวถนนเปียกหรือชื้นเป็นส่วนใหญ่ในรอบปี ต้องเลือกการกระจายแสงของโคมไฟถนนที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นั้นๆ เพื่อลดความจ้าตาให้เหลือน้อยที่สุดและให้ค่าติดตั้งระบบไฟถนนไม่สูงจนเกินไป

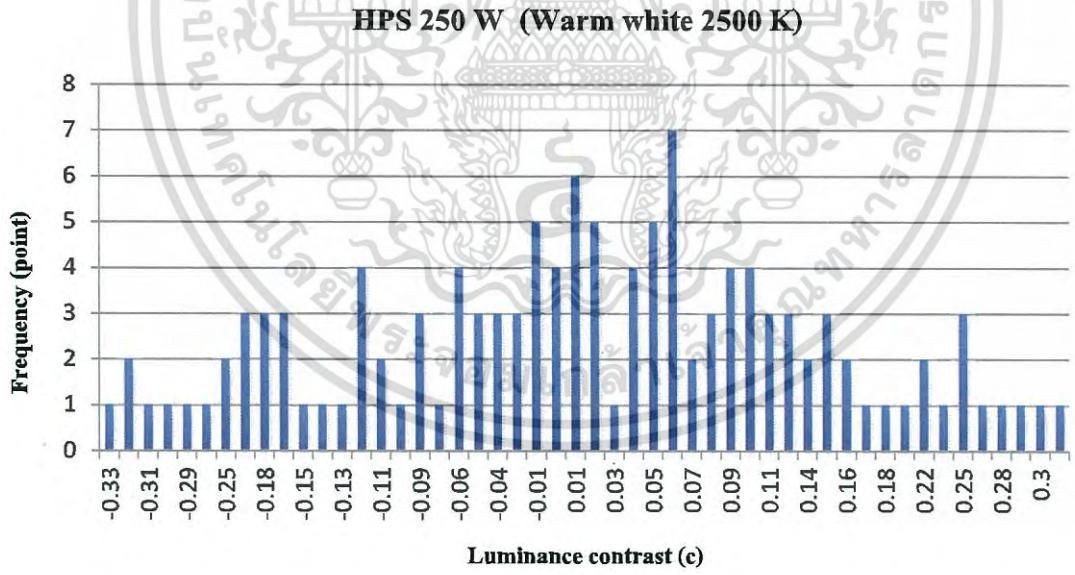
โคมไฟส่องสว่างถนนที่ให้แสงสีเหลืองหรือแสงสีขาวนั้น ควรพิจารณาที่ดัชนีการตอบสนองของสี (CRI) เป็นหลัก ถ้าหากต้องการให้ความสามารถในการแยกแยะได้ของสีที่วัตถุบนท้องถนนน้อยลงก็ควรเลือกใช้โคมไฟที่ให้แสงสีเหลืองคือมีค่า CRI ต่ำๆ ประมาณ 20 นั่นคือหลอด LED ที่มีอุณหภูมิสีของแสงต่ำ ในทางกลับกันถ้าต้องการความสามารถในการแยกแยะสีของวัตถุได้ชัดเจนและถูกต้องควรเลือกใช้โคมไฟที่ให้แสงสีขาวคือมีค่า CRI สูงๆ นั่นคือ หลอด LED ที่มีอุณหภูมิสีของแสงสูง ซึ่งจะต้องพิจารณาว่าเป็นการเดินรถความเร็วสูงหรือต่ำ จะเน้นการรับรู้หลักของคนเดินเท้าหรือคนเดินถนน โดยน้ำหนักส่วนใดมากกว่ากัน เนื่องด้วยในระดับโลกนั้นยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานใดๆ กำหนดไว้ว่าแสงสีใดจะชนะทุกเงื่อนไขได้ โดยแสงสีที่เลือกนั้นต้องถูกต้องเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของถนนนั้นๆ อย่างแท้จริง

การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง(C) ของโคมไฟถนนทั้งรูปแบบดั้งเดิมและรูปแบบใหม่แสดงได้ดังรูปที่ 5.1ถึง 5.15 จะสังเกตเห็นว่าในสภาวะถนนปกติที่มีการติดตั้งโคมไฟถนนรูปแบบใหม่ที่ใช้หลอด LED โดยมีการปรับค่าตัวแปรที่เหมาะสมจะทำให้ค่า C มีแนวโน้มที่ดีขึ้น นั่นหมายถึงทำให้การมองเห็นวัตถุบนท้องถนนได้ชัดเจนขึ้น ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ แต่ในทางตรงกันข้ามในสภาวะถนนเปียก โคมไฟถนนรูปแบบดั้งเดิมที่ใช้หลอด HPS จะมีค่า C ที่ดีกว่า นั่นหมายถึงอุณหภูมิสีของแสงที่ค่อนไปโทนเหลืองส้ม จะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

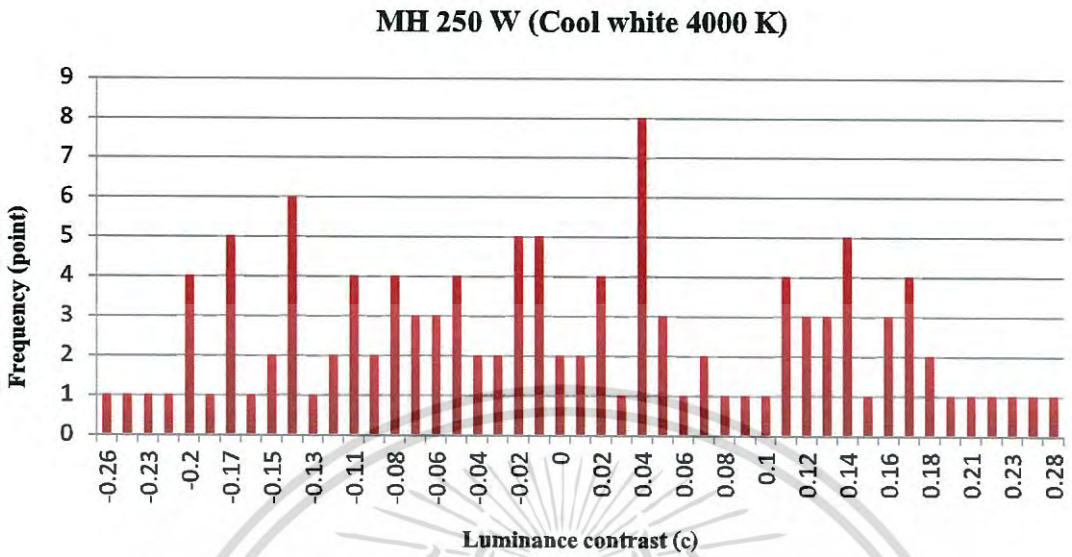


รูปที่ 5.1 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS 250 W ยี่ห้อ B (2000 K)

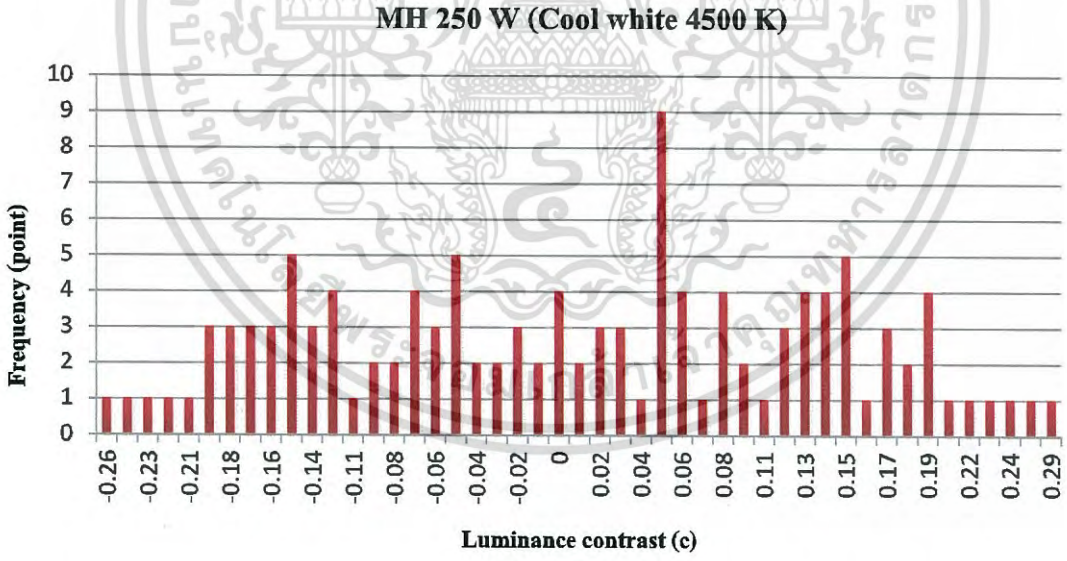


รูปที่ 5.2 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS 250 W ยี่ห้อ B (2500 K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

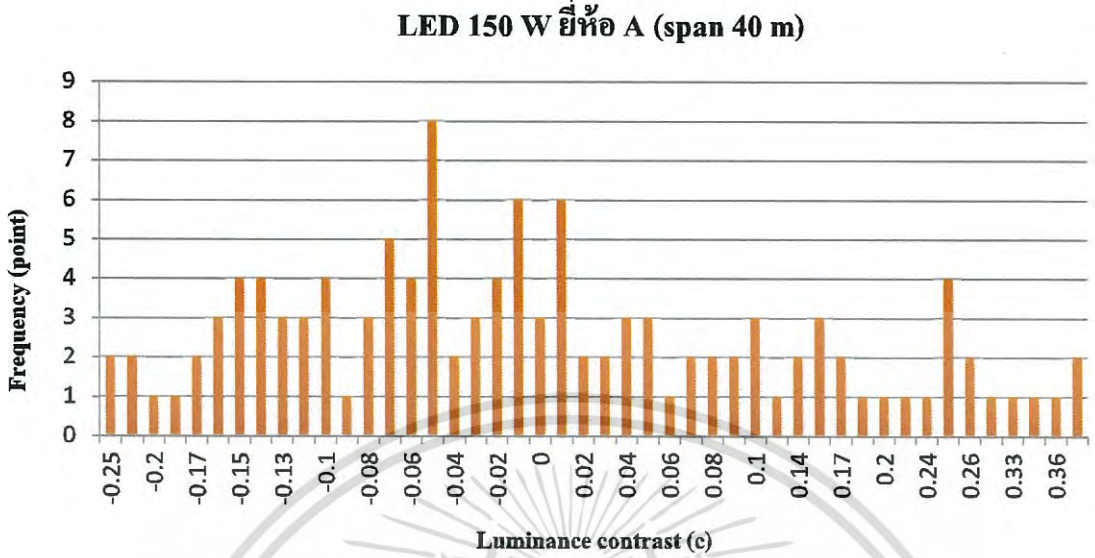


รูปที่ 5.3 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด MH 250 W ยี่ห้อ B (4000 K)

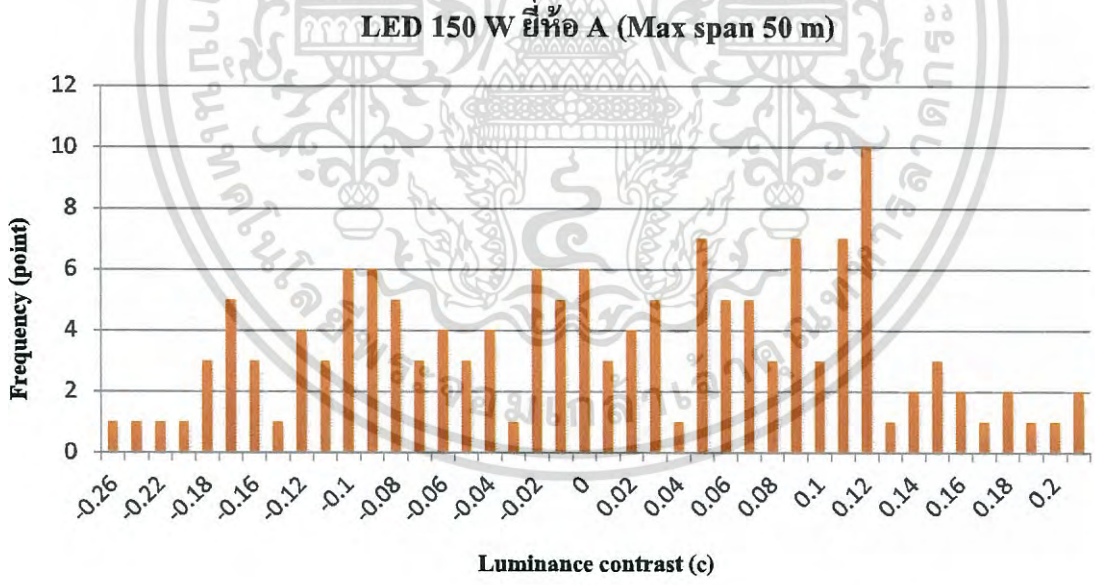


รูปที่ 5.4 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนน หลอดMH 250 W ยี่ห้อ B (4500 K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

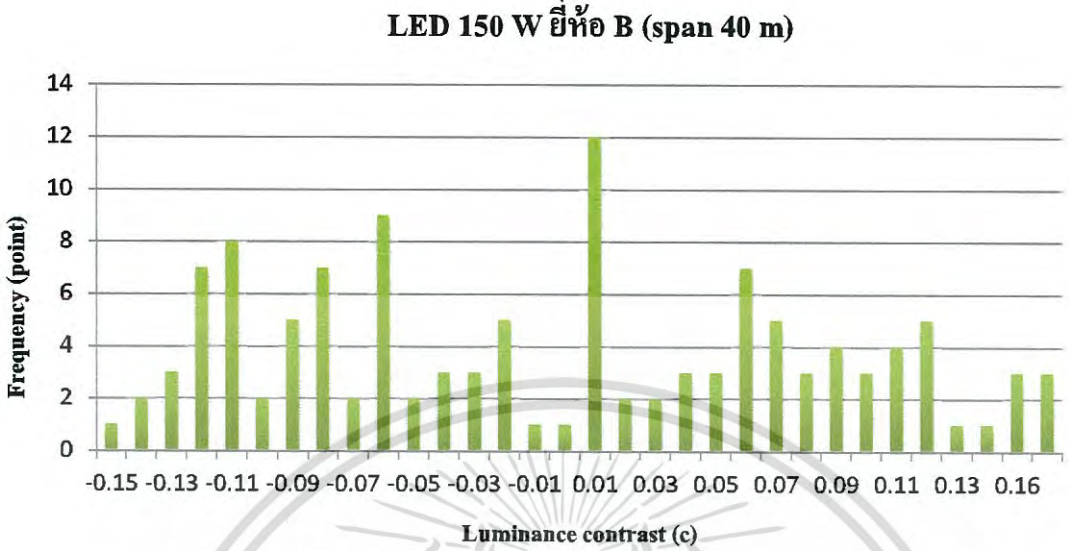


รูปที่ 5.5 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 150 W ยี่ห้อ A (span 40 m)

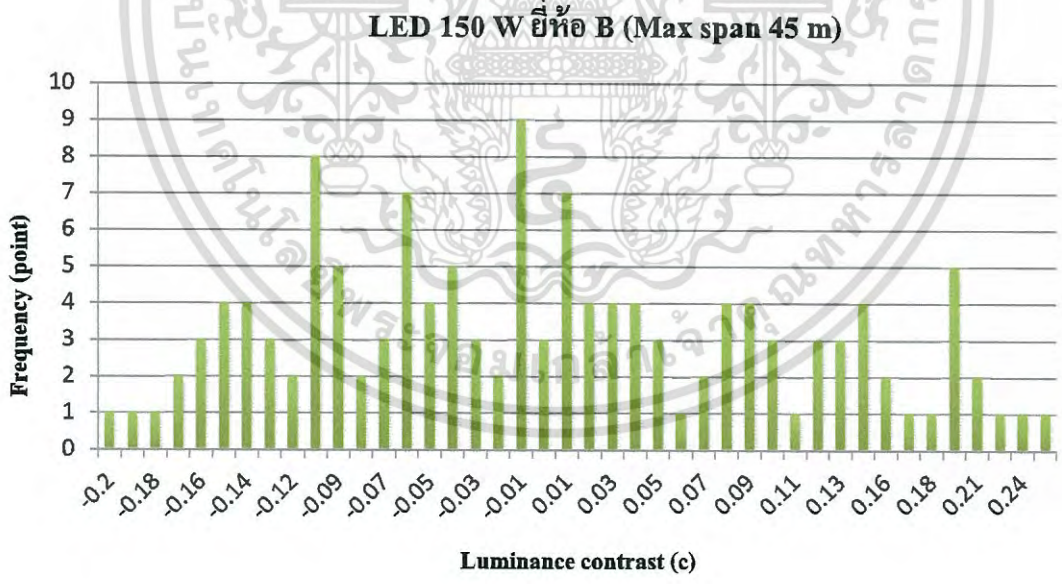


รูปที่ 5.6 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 150 W ยี่ห้อ A (Max span 50 m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

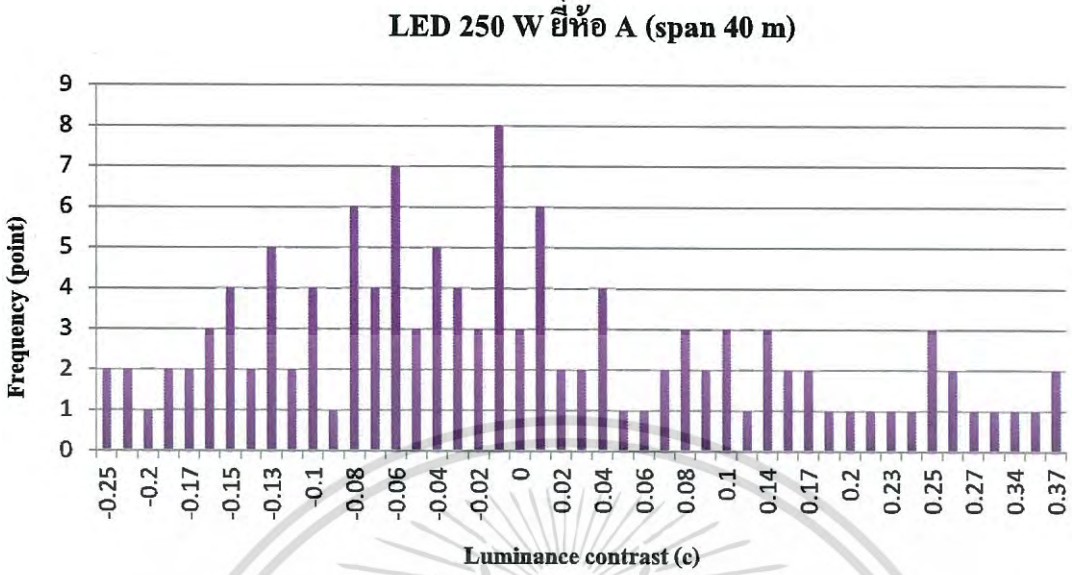


รูปที่ 5.7 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 150 W ยี่ห้อ B (span 40 m)

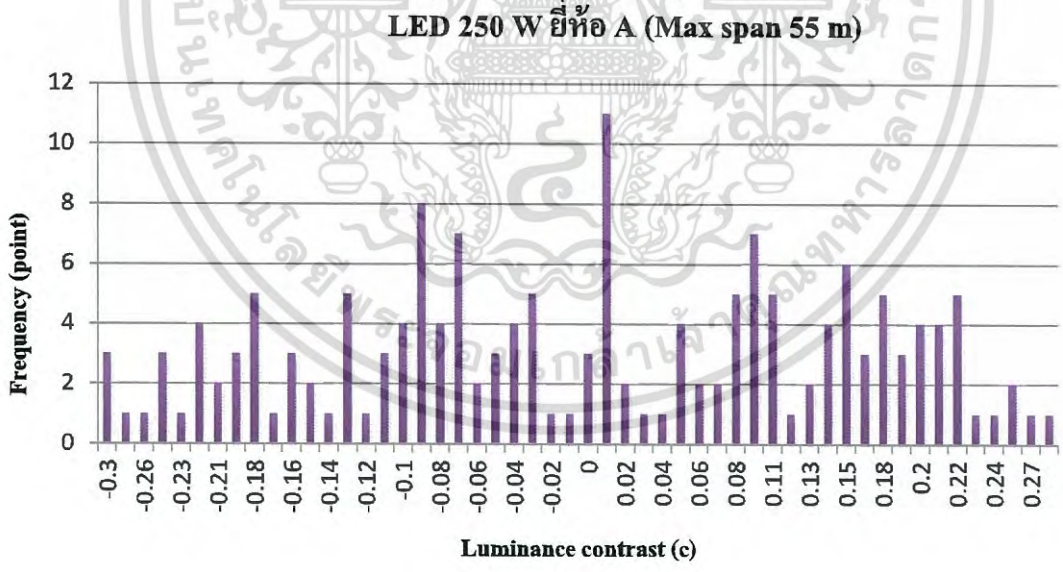


รูปที่ 5.8 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 150 W ยี่ห้อ B (Max span 45 m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

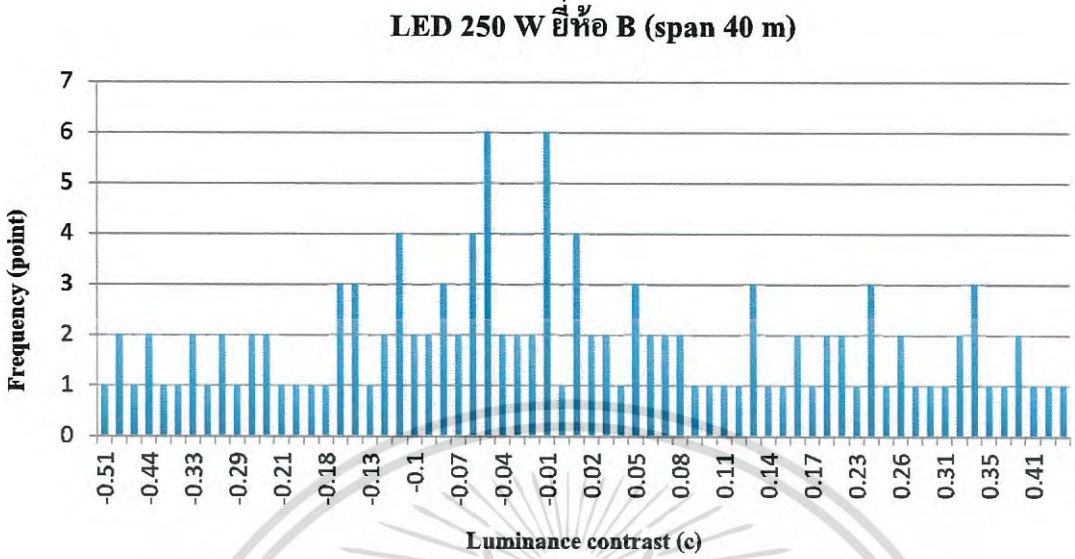


รูปที่ 5.9 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 250 W ยี่ห้อ A (span 40 m)

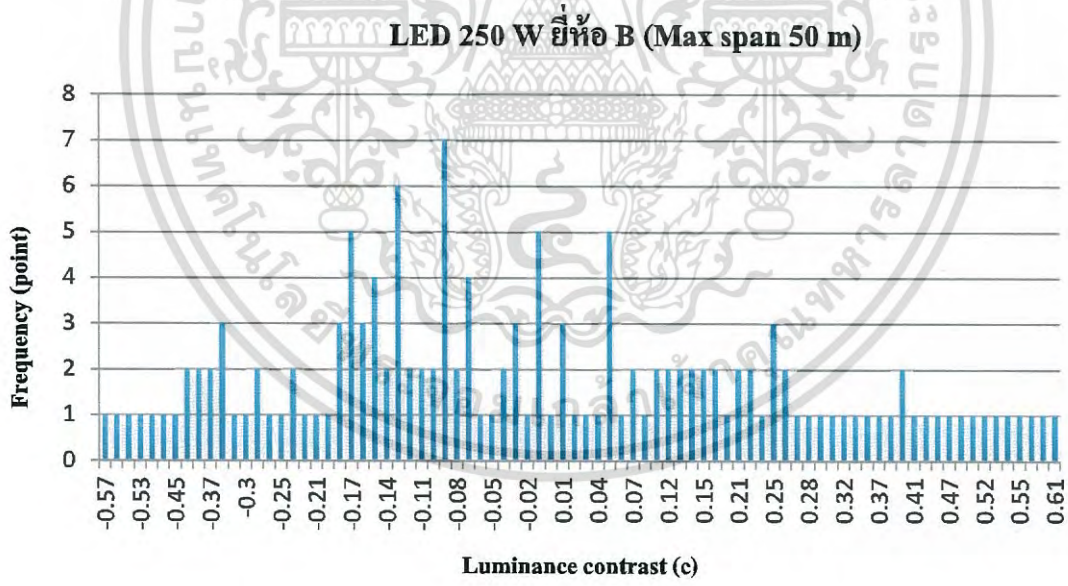


รูปที่ 5.10 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 250 W ยี่ห้อ A (Max span 55 m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

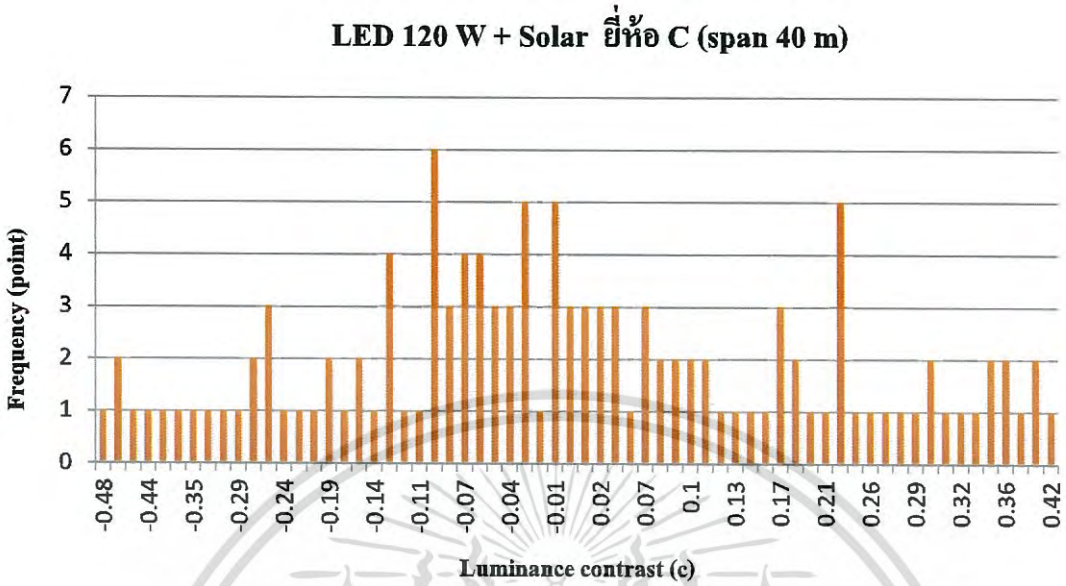


รูปที่ 5.11 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 250 W ยี่ห้อ B (span 40 m)



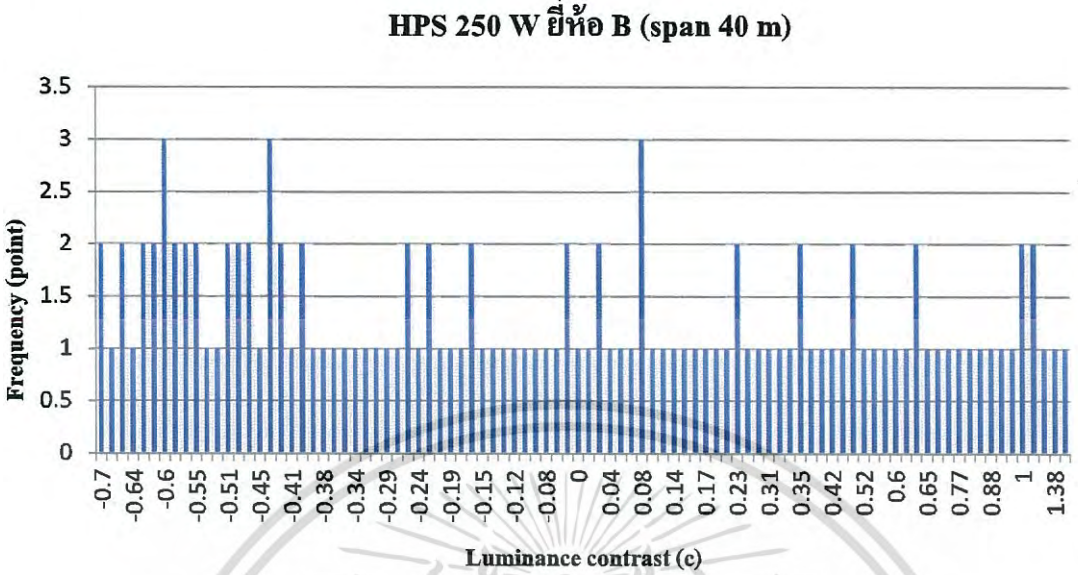
รูปที่ 5.12 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 250 W ยี่ห้อ B (Max span 50 m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

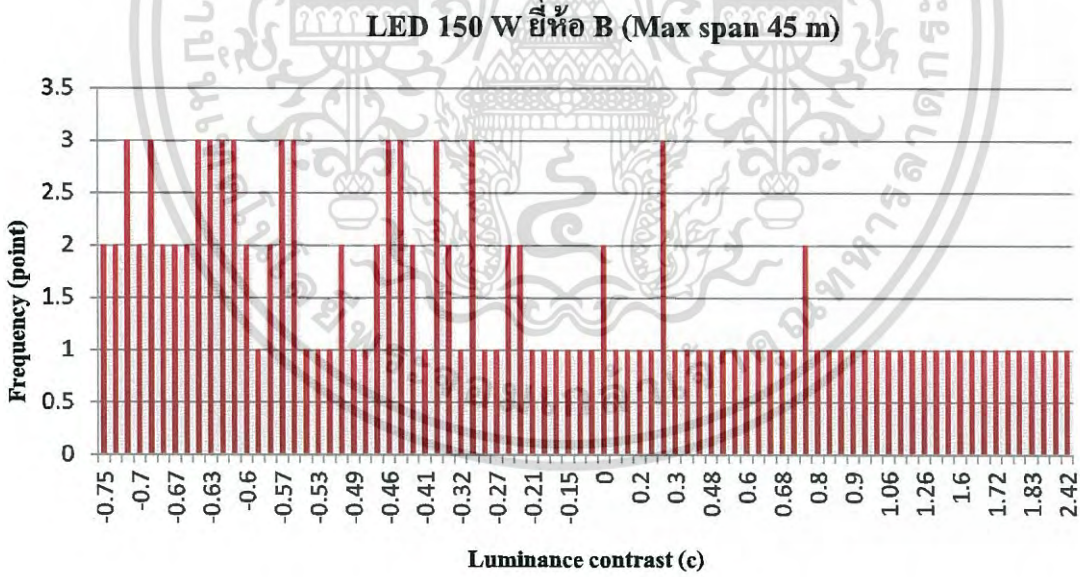


รูปที่ 5.13 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C (span 40 m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด HPS 250 W ยี่ห้อ B span 40 m (Wet Road)



รูปที่ 5.15 การกระจายข้อมูลค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของโคมไฟถนนหลอด LED 150 W ยี่ห้อ B span 45 m (Wet Road)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

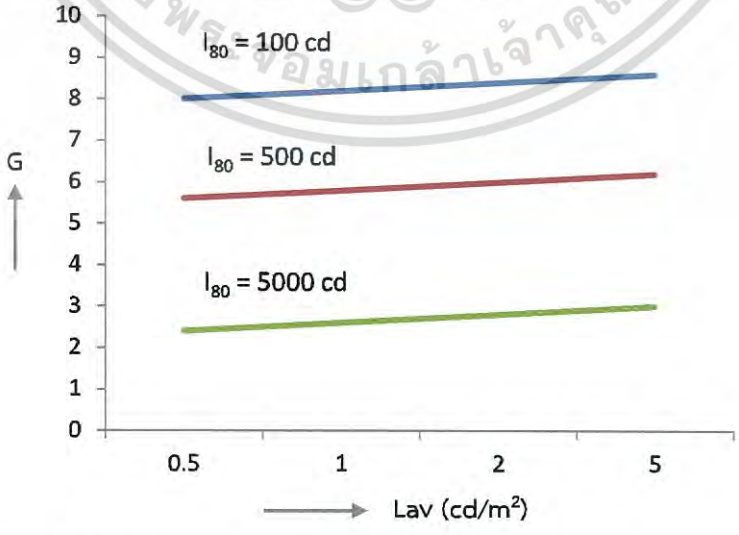
เมื่อพิจารณาถึงค่าแสงจ้าระคายตา (Discomfort glare) คือแสงจ้าที่ทำให้ความสามารถในการมองเห็นวัตถุลดลง และทำให้ไม่สบายตา ซึ่งจะมีคะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา(G) เป็นตัวกำหนด ซึ่งจะพบว่าค่า G แปรผันตรงกับค่าความส่องสว่างเฉลี่ย(L_{av}) และแปรผกผันกับจำนวนดวงโคมต่อระยะทาง 1 km นั่นหมายความว่า เมื่อค่า L_{av} เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า G เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะ span มากขึ้นทำให้จำนวนดวงโคมต่อระยะทาง 1 km ลดลง ส่งผลให้ค่า G สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งจะทำให้ผู้สังเกตมีความรู้สึกสบายตามากยิ่งขึ้น แสดงได้ดังตารางที่ 5.7 และ 5.8 และความสัมพันธ์ของคะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา(G) กับ ความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) แสดงดังรูปที่ 5.16

ตารางที่ 5.7 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย(L_{av}) ที่มีการปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอด LED และระยะ span ที่เหมาะสม

L_{av} (cd/m^2)	Span 40 m	Max span 50,55 m
LED 150 W	1.20	0.96
LED 250 W	2.10	1.53

ตารางที่ 5.8 ค่าคะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา(G) ที่มีการปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอด LED และระยะ span ที่เหมาะสม

Glare (G)	Span 40 m	Max span 50,55 m
LED 150 W	5.93	5.98
LED 250 W	6.17	6.24



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ของคะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา(G) กับความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การพิจารณาด้านประสิทธิภาพทางพลังงาน

การออกแบบระบบแสงสว่างสำหรับโคมไฟถนนนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นจากการขับขี่ยวดยาน ซึ่งการออกแบบไฟถนนจะคำนึงถึงความส่องสว่างและความสว่างเป็นหลักใหญ่ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องพิจารณาโคมไฟถนนในด้านประสิทธิภาพทางพลังงานในการออกแบบระบบแสงสว่างด้วย เนื่องจากในแต่ละรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนและการเลือกใช้หลอดไฟมีหลากหลายประเภทให้เลือกใช้งาน การพิจารณาประสิทธิภาพทางพลังงานจึงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการออกแบบระบบไฟส่องสว่างถนนโดยจะคำนึงถึงค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิผลของหลอดไฟที่เลือกใช้งาน ดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง ดัชนีความถูกต้องของสี อายุการใช้งานของหลอดไฟ รวมถึงพิจารณาด้านแรงดันตกของสายไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ซึ่งค่าต่างๆแสดงได้ดังตารางที่ 5.9 และตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพทางด้านพลังงานของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิมและแบบใหม่ ตามลำดับ

ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพทางพลังงานของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิม

List	HPS 250 W Warm White 2000K	HPS 250 W Warm White 2500K	MH 250 W Cool White 4000K	MH 250 W Cool White 4500K
Lamp luminous efficacy (lm/W)	101.61	87.60	73.53	55.15
Color Rendering index (CRI :%)	20	40	70	90
Lighting performance index (W/m)	7.13		6.80	
Power consumption (kw-h /km/yr)	33,651.98		31,964.36	
Voltage drop (V) (estimate)	14.54		13.86	
% Voltage drop (estimate)	3.635		3.465	
Voltage drop (V) (real)	15.12		14.41	
% Voltage drop (real)	3.780		3.602	
life (hr)	16,000		8,000	
Energy save (%)	0.00		-5.01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพทางพลังงานของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิม จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบโคมไฟถนน HPS 250 W และ MH 250 W ที่ปรับอุณหภูมิสีของแสงเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลต่อค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า (lm/W) และค่าดัชนีความถูกต้องของสี (CRI) โดยเมื่ออุณหภูมิสีของแสงเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดไฟลดลง นั่นหมายถึงอุณหภูมิสีของแสงจะแปรผกผันกับประสิทธิผลการส่องสว่าง โดยเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งเป็นหลอด MH ซึ่งให้สเปกตรัมแสงทุกสี ทำให้สีของแสงที่มองเห็นดีขึ้นและมีค่าดัชนีความถูกต้องของสีที่ดีกว่าหลอด HPS แต่ในทางกลับกันหลอด MH ซึ่งให้แสงสีขาวอยู่ในช่วงอุณหภูมิสี Cool White จะให้ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างที่ต่ำกว่าหลอด HPS ซึ่งให้แสงสีโทนเหลืองโดยอยู่ในช่วงอุณหภูมิสี Warm White นั่นหมายความว่าอุณหภูมิสี Warm White จะให้ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างที่ดีกว่าอุณหภูมิสี Cool White และเมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของหลอดไฟหลอด HPS จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอด MH โดยถ้าติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนที่ใช้หลอด MH จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าโคมไฟที่ใช้หลอด HPS ประมาณ 5.01 % อันเนื่องมาจากในการทำงานของหลอดไฟทั้งสองชนิดนี้จะต้องใช้บัลลาสต์และอิกนิเตอร์ในการจุดหลอด บัลลาสต์จะทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าและเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงพอในการสตาร์ท จะทำให้มีการสูญเสียพลังงานในตัวบัลลาสต์ ซึ่งทำให้ประสิทธิผลของระบบ (หลอดไฟฟ้ารวมบัลลาสต์) ต่ำกว่าประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้า โดยการติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด MH จะสูญเสียพลังงานที่ตัวบัลลาสต์น้อยกว่าหลอดไฟ HPS เล็กน้อย ทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีสมรรถนะการส่องสว่าง (LPI) ยิ่งค่าดัชนีต่ำจะทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาค่าแรงดันตก (Voltage drop) สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V ของโคมไฟถนนที่ใช้หลอด HPS และ MH เมื่อเลือกเดินสายไฟฟ้าฉนวน PVC ขนาด 16 mm^2 ในระยะทาง 1 km จะสังเกตเห็นว่า ค่าแรงดันตกของระบบจำหน่ายไฟที่เลือกใช้โคมไฟถนนหลอด MH จะมีค่าน้อยว่าหลอด HPS เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรต่ำกว่า ทำให้ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์แรงดันตกที่น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามข้อกำหนดมาตรฐาน วสท. พ.ศ.2556 แรงดันตกในวงจรย่อย (branch circuit) จะต้องไม่เกิน 3% ซึ่งเมื่อพิจารณาโคมไฟถนนที่ใช้หลอด HPS และ MH มีค่าแรงดันตกเกินกว่ามาตรฐาน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้ง Capacitor ในแต่ละดวงโคมของไฟถนน เพื่อรักษาระดับการจ่ายแรงดันให้เป็นไปตามมาตรฐานและทำให้ระบบแรงดันปลายทางมีแรงดันเกือบเทียบเท่ากับแรงดันต้นทาง หรืออีกวิธีหนึ่งอาจเลือกขนาดของสายไฟในระบบการจ่ายไฟถนนให้โตขึ้น เพื่อลดเปอร์เซ็นต์แรงดันตกของระบบลงได้ แต่ค่าใช้จ่ายก็เพิ่มสูงขึ้นตามเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพทางพลังงานของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่

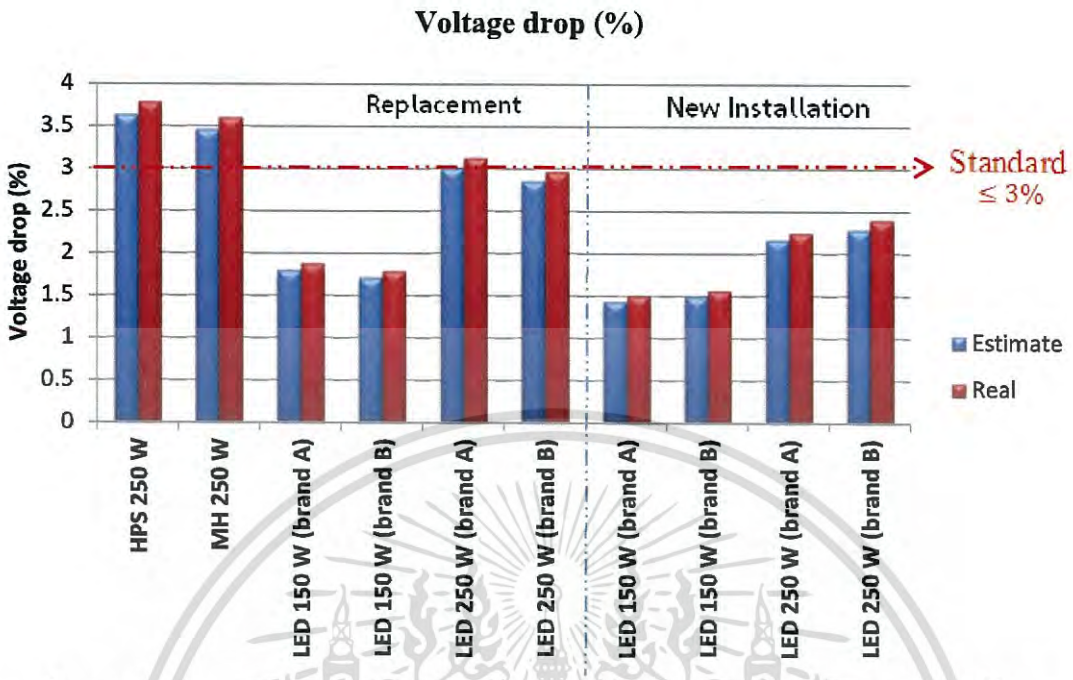
List	Traditional Model	REPLACEMENT				NEW INSTALLATION				
	HPS 250 W Warm White 2000K (span40m) Ref.	LED 150 W ยี่ห้อ A (span40m)	LED 150 W ยี่ห้อ B (span40m)	LED 250 W ยี่ห้อ A (span40m)	LED 250 W ยี่ห้อ B (span40m)	LED 150 W ยี่ห้อ A (Max span 50m)	LED 150 W ยี่ห้อ B (Max span 45m)	LED 250 W ยี่ห้อ A (Max span 55m)	LED 250 W ยี่ห้อ B (Max span 50m)	LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C (Max span 40m)
Lamp luminous efficacy (lm/W)	101.61	80.00	90.16	84.00	90.16	80.00	90.16	84.00	91.27	120.0
Color Rendering index (CRI :%)	20	90	80	80	75	90	80	80	75	95
Lighting performance index (W/m)	7.13	3.75		6.25		3.00	3.33	4.54	5.00	3.00
life (hr)	16,000	50,000		50,000		50,000		50,000		80,000
Power consumption (kw-h /km/yr)	33,651.98	17,015.42	16,955.86	29,015.75	28,850.18	13,518.00	14,864.41	20,561.91	22,843.89	13,140 8,987.76 *
Voltage drop (V) (real)	15.12	7.49	7.18	12.48	11.86	6.05	6.28	9.03	9.58	0.00
% Voltage drop (real)	3.780	1.872	1.795	3.120	2.965	1.512	1.570	2.257	2.394	0.00
Energy save (%)	0.00	-49.44	-49.61	-13.78	-14.27	-59.83	-55.83	-38.90	-32.12	-60.95

* Dimmer

จากตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพทางพลังงานของรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนแบบใหม่ จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบการติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED ทั้งขนาด 150 W และ 250 W ของยี่ห้อ A และยี่ห้อ B จะพบว่า โคมไฟถนนยี่ห้อ B มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดไฟที่ดีกว่ายี่ห้อ A อันเนื่องมาจากค่าฟลักซ์การส่องสว่างของยี่ห้อ B ที่สูงกว่า ทำให้ส่งผลต่อค่าดัชนีความถูกต้องของสีที่ต่ำกว่า นั่นหมายความว่าโคมไฟถนนยี่ห้อ B มีอุณหภูมิสีของแสงที่ต่ำกว่ายี่ห้อ A ดังนั้น การเลือกใช้โคมไฟถนนในแต่ละอุณหภูมิสีของแสงมีผลต่อค่าประสิทธิผลการส่องสว่างกับค่าดัชนีความถูกต้องของสี เมื่อพิจารณาในรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED ขนาด 150 W กับ 250 W จะพบว่า ค่าดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างของหลอด 150 W ดีกว่า 250 W อันเนื่องมาจากขนาดวัตต์ที่เลือกใช้งานที่ต่ำกว่าและระยะห่างระหว่างช่วงเสาในการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนที่เหมาะสม ทำให้โคมไฟขนาด 150 W ประหยัดพลังงานได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของโคมไฟถนนที่ใช้หลอด 150 W ที่ต่ำกว่า จากการทดสอบโคมไฟถนนเมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างดวงโคม(span) เท่าเดิมคือ 40 เมตร จะต้องใช้จำนวนดวงโคมเท่ากันกับหลอด HPS และหลอด MH คือ 25 ดวง ต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร ทำให้มีปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าโดยรวมที่สูงเกินความจำเป็น จึงสามารถปรับระยะห่างระหว่างดวงโคมในรูปแบบใหม่ให้เหมาะสมกับขนาดวัตต์ 150 W และ 250 W ทำให้จำนวนดวงโคมที่ใช้ต่อระยะทาง 1 กิโลเมตรลดลง ซึ่งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED 150 W สามารถลดจำนวนดวงโคมลงเหลือ 20 ดวง ส่วนหลอด LED 250 W สามารถลดจำนวนดวงโคมลงเหลือ 18 ดวง ทำให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น ส่งผลทำให้มีสมรรถนะการส่องสว่างของดวงโคมที่ดีขึ้น อีกทั้งทำให้ค่าแรงดันตกของวงจรการจ่ายไฟลดน้อยลง โดยค่าแรงดันตกสามารถแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์แรงดันตกสำหรับระบบแรงดัน 230/400 V ได้ดังรูปที่ 5.16 ซึ่งเปรียบเทียบทั้งการติดตั้งโคมไฟถนนรูปแบบดั้งเดิมกับรูปแบบใหม่ในแต่ละชนิดของโคมไฟถนน

การพิจารณาประสิทธิภาพทางพลังงานของโคมไฟถนนจะต้องคำนึงถึงค่าแรงดันตก (Voltage drop) ด้วย เนื่องจากเป็นความแตกต่างระหว่างขนาดแรงดันไฟฟ้าปลายทางกับต้นทาง แรงดันตกเกิดขึ้นเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟฟ้าซึ่งมีค่าอิมพิแดนซ์ (Impedance) ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าก็ขึ้นอยู่กับขนาดโหลดที่ต่ออยู่กับวงจรมีปริมาณมากน้อยเพียงใด โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ซึ่งสอดคล้องตาม BS 7671 ซึ่งผลกระทบของแรงดันตกอันได้แก่ ความสว่างของหลอดไฟฟ้า ทำให้สตาร์ทยาก บัลลาสต์ร้อนและอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้ไม่เต็มที่ โดยตามข้อกำหนดของ วสท. แรงดันตกในวงจรย่อยจะมีค่าไม่เกิน 3% จากแรงดันที่ระบุไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์แรงดันตกระหว่างการติดตั้งโคมไฟถนนรูปแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับรูปแบบใหม่ในแต่ละชนิดของโคมไฟถนน

จากรูปที่ 5.17 จะสังเกตเห็นว่า ค่าแรงดันตกที่ได้จากการประมาณมีค่าที่น้อยกว่าแรงดันตกที่ได้จากการคำนวณค่าจริงอยู่เล็กน้อย เนื่องจากการประมาณมีความละเอียดไม่เพียงพอ โดยเมื่อสังเกตการติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด HPS 250 W และ MH 250 W จะมีค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกสูงกว่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ และเมื่อเปลี่ยนมาใช้โคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED จะมีเปอร์เซ็นต์แรงดันตกที่ลดลง เนื่องจากขนาดวัตต์ของหลอดไฟและจำนวนของดวงโคมไฟถนนลดน้อยลง นั่นหมายถึงโหลดที่ต่ออยู่กับวงจรลดลง และเมื่อมีการปรับรูปแบบระยะห่างการติดตั้งโคมไฟถนนให้เหมาะสมกับขนาดของดวงโคมก็จะทำให้เปอร์เซ็นต์แรงดันตกลดน้อยลงไปอีก ทำให้ระบบการจ่ายไฟเพื่อความส่องสว่างของโคมไฟถนนมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาการติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED ขนาด 120 W ยี่ห้อ C ที่ติดตั้งพร้อมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างที่ต่ำและค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดไฟที่สูง เนื่องมาจากค่าฟลักซ์การส่องสว่างที่สูงและขนาดวัตต์ที่เลือกใช้งานต่ำอีกทั้งมีระยะห่างระหว่างดวงโคมในการติดตั้งที่เหมาะสม ในด้านการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเป็นศูนย์ เนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแสงมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ไม่ต้องใช้สายไฟ ในการเดินสายสำหรับไฟส่องสว่างถนนเป็นระยะทางหลายๆกิโลเมตร นั่นหมายถึงไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่างถนน โดยคุณสมบัติที่โดดเด่นนี้ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 60.95 % ซึ่งเมื่อพิจารณาในด้านการควบคุมแสงสว่าง (Dimmer) ของหลอดไฟ LED ที่แหล่งพลังงานมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

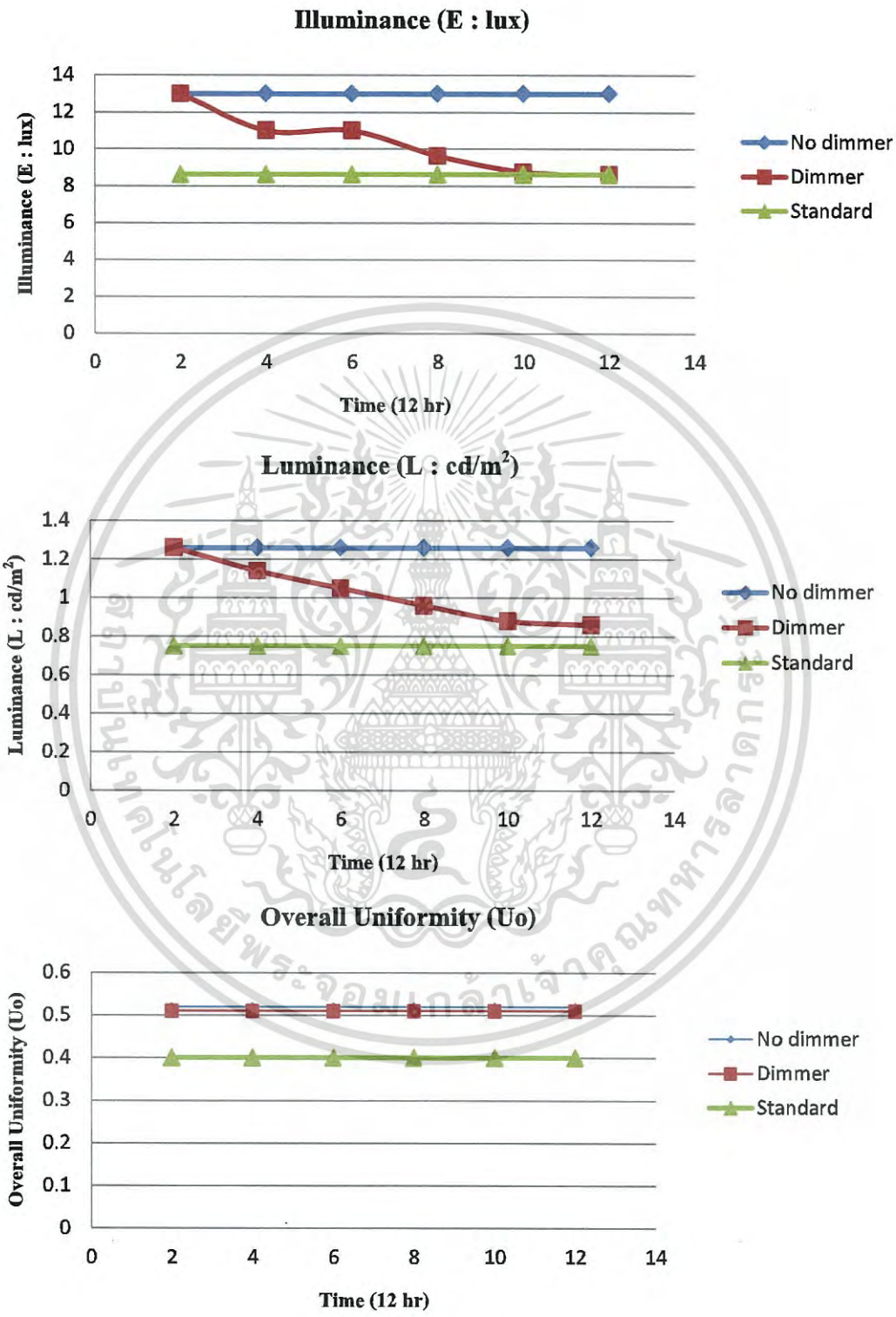
แสงอาทิตย์นั้นเปรียบเทียบกันกับที่ไม่มีการควบคุมแสงสว่าง (No dimmer) จะพบว่า เมื่อมีการควบคุมความสว่างของแสงที่เปล่งออกจากหลอด LED ด้วยชุด controller จะมีการลดลงของค่าฟลักซ์การส่องสว่าง(lm) ตามช่วงระยะเวลาทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยสอดคล้องกับข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุของการจราจรบนท้องถนนว่า ช่วงเวลาที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุดอยู่ระหว่าง 16.00 – 22.00 น. ซึ่งทำให้ช่วงเวลาตั้งแต่ 22.00 น.เป็นต้นไปจนถึง 06.00 น. มีการปรับค่า ฟลักซ์การส่องสว่างลดลงตามลำดับ ตามความเหมาะสมของปริมาณรถบนท้องถนนแต่ยังซึ่งไว้ด้วยค่าทางแสงที่เป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้แสดงดังรูปที่ 5.18 และเมื่อค่าฟลักซ์การส่องสว่างลดน้อยลง ทำให้ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าโดยรวมทั้งหมดลดน้อยลง แสดงได้ดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ค่าสมรรถนะการส่องสว่างและค่าปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าช่วงเวลา 18.00–06.00 น. ของการติดตั้งไฟถนน LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C เมื่อมีตัวควบคุมแสงสว่าง (Dimmer)

List	MEA Std.	Time (12 hr.)					
		18.00 - 20.00	20.00 - 22.00	22.00 - 24.00	00.00 - 02.00	02.00 -04.00	04.00 - 06.00
Illuminance (Eav : lux)	≥ 9.70	13.00	11.00	11.00	9.63	8.75	8.62
Luminance (Lav : cd/m^2)	≥ 0.75	1.26	1.14	1.05	0.96	0.88	0.86
Overall Uniformity (Uo)	≥ 0.40	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
Luminous flux (lm)		14,400	13,000	12,000	11,000	10,000	9,850
Power save (Watts/lamp)		0.00	-11.67	-8.33	-8.33	-8.33	-1.25

จากตารางที่ 5.11 จะพบว่าเมื่อมีการควบคุมความสว่างของแสงให้เหมาะสมจะสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในระยะทาง 1 kmต่อปี ทำให้ลดลงจาก 13,140 kw-h เหลือเพียง 8,987.76 kw-h ลดลงคิดเป็น 31.6 % ทำให้ภาพรวมเมื่อมีการติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED โดยมีแหล่งกำเนิดแสงจากพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมกับติดตั้งตัวควบคุมความสว่างของแสงจะสามารถประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นจาก 60.95% เป็น 73.29 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 กราฟความสัมพันธ์ของค่า Eav , Lav , Uo ของโคมไฟถนน LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C (Dimmer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการติดตั้งโคมไฟถนนทั้ง 2 รูปแบบจะสังเกตเห็นว่า โคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED ขนาด 120 W ยี่ห้อ C ที่มีแหล่งกำเนิดแสงมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพทางพลังงานที่ดีที่สุด อันเนื่องมาจากไม่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างและดัชนีความถูกต้องของสีที่สูง เพราะมีอุณหภูมิสีของแสงที่เลือกใช้งานประมาณ 6500 K ซึ่งให้แสงสีขาว ทำให้การมองเห็นวัตถุบนท้องถนนชัดเจนและถูกต้อง อีกทั้งมีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 80,000 ชั่วโมง โดยมีค่าดัชนีสมรรถนะการส่องสว่างที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับโคมไฟถนนรูปแบบดั้งเดิมที่ใช้หลอด HPS ขนาด 250 W ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 73.29 % เมื่อพิจารณาด้านคุณสมบัติของโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED ขนาด 120 W ยี่ห้อ C ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จะต้องประกอบไปด้วยกันทั้งหมด 5 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ชุดโคมไฟส่องสว่างถนน 120W 24V LED 14400LM 6500K ส่วนที่ 2 แผงโซล่าเซลล์ (Solar Panal) 240W x 2PCS for 24V Lighting, Crystalline Silicon อายุการใช้งาน 20-25ปี ส่วนที่ 3 แบตเตอรี่ (Battery) 250 Ah 12V x 2PCS ชนิด gelled, deep cycle battery ส่วนที่ 4 เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge Controller) 20A/24V , IP 68 water-proof อายุการใช้งาน 5-8 ปี มีตัวควบคุมแสงอัตโนมัติและระบบควบคุมเวลาปิดเปิด และส่วนที่ 5 เสาไฟถนน (Pole) 12M pole, steel, Hot-Dip Galvanized, Plastic Coated, Rust Proof อายุการใช้งานมากกว่า 20ปี ซึ่งข้อดีของระบบไฟส่องสว่างพลังงานแสงอาทิตย์มีมากมาย โดยไฟส่องสว่างถนนที่ใช้หลอด LED ขึ้นอยู่กับพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในเวลากลางวันแผงโซล่าเซลล์จะแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและจะเก็บอยู่ในแบตเตอรี่ พอช่วงเวลากลางคืนหรือฝนตกหรือสภาพอากาศที่มืดครึ้ม แบตเตอรี่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับชุดโคมไฟถนนทำให้เกิดแสงสว่างขึ้น อีกทั้งเครื่องควบคุมการชาร์จสามารถปรับความสว่างของแสง (Dimmer) และมีระบบปิดเปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะทำงานในโหมดอัตโนมัติจึงไม่จำเป็นต้องใช้คนในการควบคุม ทำให้เกิดประสิทธิภาพทางด้านพลังงานอย่างคุ้มค่า

ในการปรับปรุงสมรรถนะระบบส่องสว่างถนนเพื่อเพิ่มศักยภาพในการประหยัดพลังงานสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้ [6]

1) เพิ่มประสิทธิผลของหลอดไฟฟ้า เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานขั้นแรกและได้ผลสูง คือการไม่ใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำ เช่น หลอดไอปรอทความดันสูง (40-50 lm/W)
2) การใช้หลอดปล่อยประจุความเข้มสูงที่พัฒนาใหม่แทนหลอดแบบเก่า เช่น หลอดเซรามิคเมทัลฮาไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เพิ่มประสิทธิภาพของบัลลาสต์ การใช้บัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ ซึ่งใช้ลวดตัวนำโตขึ้น แกนเหล็กโตขึ้นและเป็นแผ่นเหล็กซิลิกอนที่เกรดสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของบัลลาสต์สูงขึ้น
4) เพิ่มแฟคเตอร์การบำรุงรักษาของโคมไฟถนน ควรใช้โคมไฟถนนชั้น IP65 และใช้เทคโนโลยีการทำความสะอาดตัวเองที่ผิวด้านนอกของฝาครอบ
5) เพิ่มประสิทธิภาพออปติคส์และประสิทธิผลของโคมไฟฟ้า โดยการใช้แต่หลอดไฟฟ้ารูปทรงกระบอกไส ทำให้ขนาดของพื้นที่ส่องแสงของหลอดไฟฟ้าเล็กลง ประสิทธิภาพออปติคส์และแฟคเตอร์การใช้ประโยชน์แสงสูงขึ้น
6) เพิ่มแฟคเตอร์การใช้ประโยชน์แสง และลดการกระจายแสงในทิศทางของมุมสูงกว่า 90° จากแนวดิ่งลง ใช้โคมไฟถนนแบบลำตัวมีครอบแก้วไสและมีฝาครอบสะท้อนแสงด้านบน
7) การประหยัดพลังงานด้วยการใช้บัลลาสต์หรี่ไฟแบบกำลังไฟฟ้าหลายระดับทั้งแบบบัลลาสต์แกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้หรี่ไฟเพื่อลดความส่องสว่างหรือความสว่างเมื่อการจราจรบนถนนลดลง ให้เป็นไปตามเกณฑ์การส่องสว่างที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์

ในปัจจุบันธุรกิจและอุตสาหกรรมมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความเจริญรุ่งเรืองทางด้านเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม ประชาชนต้องการแสงสว่างและพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก โดยไฟส่องสว่างถนนเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้เพื่อการส่องสว่างเส้นทางคมนาคมต่างๆ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุและภัยอันตรายจากอาชญากรรม การโจรกรรมต่อทรัพย์สินของประชาชน ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาออกแบบและติดตั้ง โคมไฟส่องสว่างถนนที่ขาดไม่ได้เลยนั่นคือ ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ ถ้าเราออกแบบติดตั้งโคมไฟถนนที่มีราคาถูกมากเกินไป อาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยแก่ผู้ใช้รถใช้ถนน เนื่องจากค่าสมรรถนะการส่องสว่างต่างๆ ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ในทางกลับกันถ้าออกแบบติดตั้งโคมไฟถนนที่มีค่าสมรรถนะการส่องสว่างและประสิทธิภาพทางด้านพลังงานที่สูง ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ แต่สิ่งที่ตามมาคือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูง ซึ่งจะต้องพิจารณาว่าเกิดความคุ้มค่ามากน้อยเพียงใด โดยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนบนเสาเหล็กไฟถนนในแต่ละรูปแบบแสดงได้ดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนในแต่ละรูปแบบ (ระยะทาง 1 km)

Model	ค่าการติดตั้ง (Baht/km)	ค่าไฟฟ้า (baht/km/yr)	ประหยัดค่าไฟฟ้า (baht/km/yr)
HPS 250 W (Brand name B)	1,146,471.25	96,062.94	0.00
MH 250 W (Brand name B)	1,155,096.25	91,245.46	-4,817.48
LED 150 W (Brand name A),Span 40 m	1,580,801.00	48,572.22	-47,490.72
LED 150 W (Brand name A),Span 50 m	1,264,640.80	38,588.48	-57,474.46
LED 150 W (Brand name B),Span 40 m	1,873,301.00	48,402.20	-47,660.74
LED 150 W (Brand name B),Span 45 m	1,648,504.88	42,431.94	-53,631.00
LED 250 W (Brand name A),Span 40 m	2,223,301.00	82,828.36	-13,234.58
LED 250 W (Brand name A),Span 55 m	1,600,776.72	58,696.03	-37,366.91
LED 250 W (Brand name B),Span 40 m	2,248,301.00	82,355.72	-13,707.22
LED 250 W (Brand name B),Span 50 m	1,798,640.80	65,210.17	-30,852.77
LED 120 W + Solar (Brand name C)	1,379,071.75	0.00	-96,062.94

จากตารางที่ 5.12 แสดงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนในรูปแบบดั้งเดิมและแบบใหม่ โดยรายละเอียดของโคมไฟถนนที่ติดตั้งบนเสาเหล็กประกอบไปด้วย ชุดโคมไฟถนนพร้อมกับสายไฟ CU Conductor PVC type C (NYY) 4x16 mm^2 ระยะทาง 1กิโลเมตร และชุดเสาไฟถนนพร้อมกับระบบกราวด์ (รายละเอียดตามภาคผนวก ก) เมื่อสังเกตรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนแบบดั้งเดิมที่ใช้หลอด HPS 250 W และ MH 250 W ในยี่ห้อ B จะพบว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนที่ติดตั้ง

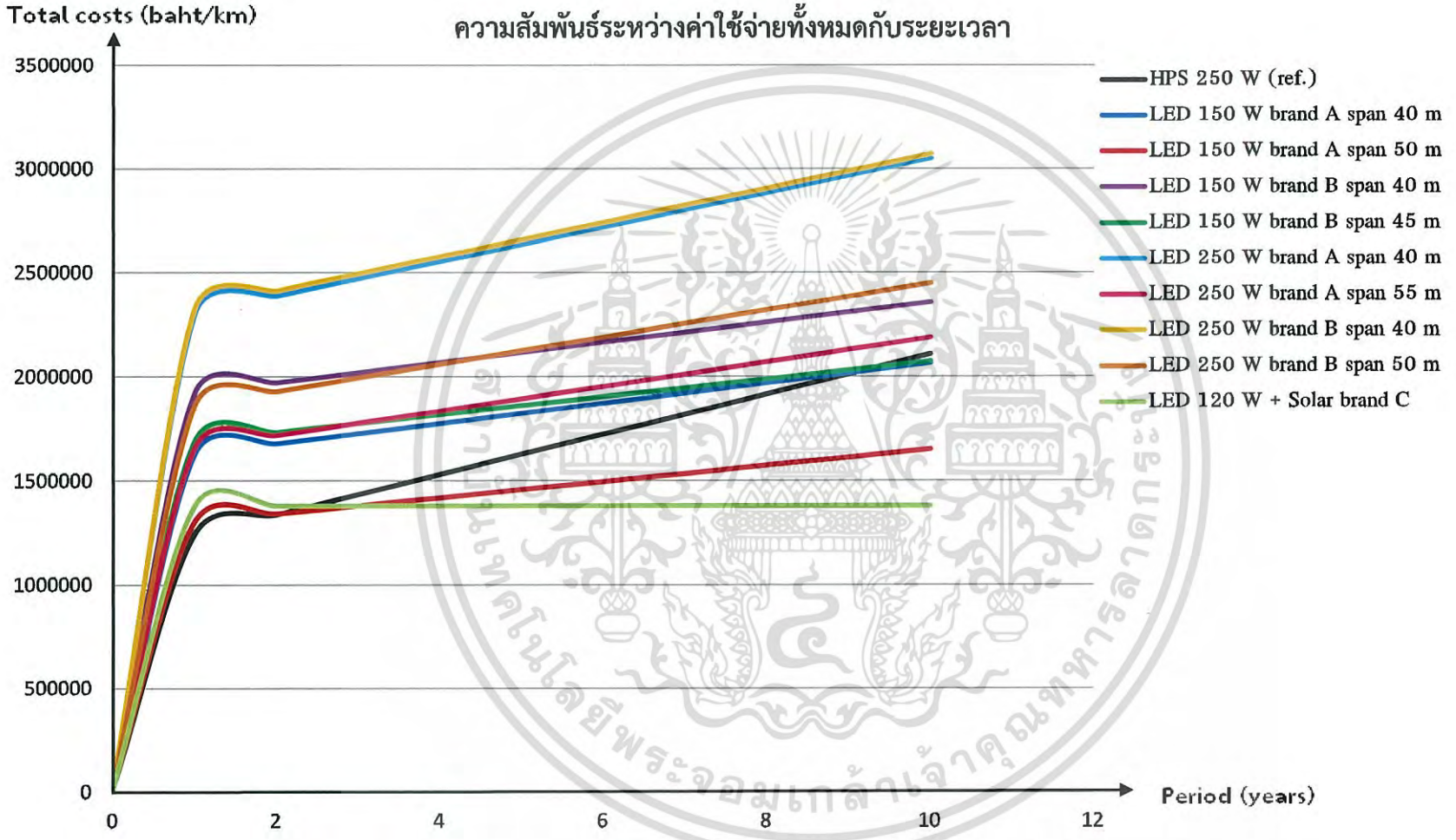
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนเสาเหล็กมีราคาที่ต่ำกว่าการติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED อันเนื่องมาจากราคาของหลอด HPS และ MH มีราคาที่ถูกกว่าหลอด LED แต่เมื่อพิจารณาค่าไฟฟ้าในระยะทาง 1 km ต่อปี โคมไฟถนนที่เลือกใช้หลอด LED จะมีค่าไฟที่ถูกกว่า ทำให้สามารถประหยัดค่าไฟต่อหน่วยได้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเลือกโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED 120 W + Solar ยี่ห้อ C จะไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้าต่อหน่วย เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงมาจากพลังงานแสงอาทิตย์อีกทั้งไม่ต้องเสียค่าการเดินสายไฟเป็นระยะทางหลายๆกิโลเมตร ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าการติดตั้งเริ่มแรกเท่านั้น ถ้านำโคมไฟถนนที่เลือกใช้หลอด LED 150 W ยี่ห้อ A ที่มีการปรับรูปแบบระยะห่างของดวงโคมที่เหมาะสมแล้ว มาแทนโคมไฟถนนหลอด HPS 250 W จะพบว่า ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโคมไฟถนนหลอด LED มีค่าที่สูงกว่า แต่จะมีค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่า ทำให้ประหยัดค่าไฟได้มากถึง 60 % และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 ปี โคมไฟถนนที่เลือกใช้หลอด LED 150 W ยี่ห้อ A จะมีค่าใช้จ่ายโดยรวมทั้งค่าติดตั้งรวมถึงค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่าโคมไฟถนนที่เลือกใช้หลอด HPS 250 W แสดงได้ดังตารางที่ 5.13 และรูปที่ 5.19 ทำให้เกิดความคุ้มค่าในแง่ของเศรษฐศาสตร์ ในการลงทุนระยะยาว ซึ่งการเลือกใช้โคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED 150 W สามารถทดแทนหลอด HPS 250 W ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5.13 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการติดตั้งโคมไฟถนนในแต่ละรูปแบบ (ระยะทาง 1 km)

Model	Total Costs (Baht/km)		
	1 year	2 years	3 years
HPS 250 W (Brand name B)	1,242,534.19	1,338,597.13	1,434,660.07
MH 250 W (Brand name B)	1,246,341.71	1,337,587.17	1,428,832.63
LED 150 W (Brand name A) , (Span 40 m)	1,629,373.22	1,677,945.44	1,726,517.66
LED 150 W (Brand name A) , (Span 50 m)	1,303,229.28	1,341,817.76	1,380,406.24
LED 150 W (Brand name B) , (Span 40 m)	1,921,703.20	1,970,105.40	2,018,507.60
LED 150 W (Brand name B) , (Span 45 m)	1,690,936.82	1,733,368.76	1,775,800.70
LED 250 W (Brand name A) , (Span 40 m)	2,306,129.36	2,388,957.72	2,471,786.08
LED 250 W (Brand name A) , (Span 55 m)	1,659,472.75	1,718,168.78	1,776,864.81
LED 250 W (Brand name B) , (Span 40 m)	2,330,656.72	2,413,012.44	2,495,368.16
LED 250 W (Brand name B) , (Span 50 m)	1,863,850.97	1,929,061.14	1,994,271.31
LED 120 W + Solar (Brand name C)	1,379,071.75	1,379,071.75	1,379,071.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายทั้งหมด(บาท/กิโลเมตร) กับระยะเวลา(ปี) ในแต่ละรูปแบบการทดสอบ

การติดตั้งโคมไฟถนนบนเสาเหล็กจะประกอบไปด้วย ตัวเสาไฟถนน(Steel pole) ฐานเสาไฟถนน (Concrete base) และการเดินสายไฟทองแดงใต้ดิน ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ราคาสุทธิทั้งหมดสูงตาม แตกต่างจากโคมไฟถนนที่ติดตั้งบนเสาคอนกรีตที่มีการปักเสาคอนกรีตเดิมอยู่แล้วสำหรับใช้ในการพาดสายและติดอุปกรณ์ต่างๆระบบจำหน่าย 12,24 kV ทำให้ไม่ต้องมีการปักเสาเพิ่ม ค่าใช้จ่ายโดยหลักคือชุดโคมไฟถนน ชุดตีนกิ่ง ชุดRelay และสายไฟอลูมิเนียมที่เดินเป็นสายอากาศ ทำให้ราคาสุทธิทั้งหมดต่ำกว่า โดยเมื่อสังเกตโคมไฟถนน LED ยี่ห้อ B จะมีราคาที่สูงกว่ายี่ห้อ A เนื่องจากมีค่าสมรรถนะการส่องสว่างและประสิทธิภาพทางพลังงานที่สูงกว่า ทำให้ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมดของยี่ห้อ B ต่ำกว่าและทำให้เกิดแรงดันตกที่สายไฟฟ้าต่ำกว่าส่งผลทำให้ค่าไฟฟ้าต่อปีถูกกว่า แต่ยังซึ่งไว้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้รถใช้ถนน และเมื่อพิจารณาการติดตั้งโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED ขนาด 120 W + Solar ยี่ห้อ C จะต้องมีการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บริเวณด้านบนสุดของตัวเสาไฟถนน ทำให้จะต้องเลือกใช้โคมไฟถนนที่เป็นเสาเหล็กเท่านั้น เพราะด้านบนเสาคอนกรีตไม่มีพื้นที่ในการติดตั้งเพียงพอ เนื่องจากติดอุปกรณ์และสายไฟในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง ทำให้พิจารณาค่าใช้จ่ายสุทธิในการติดตั้งบนเสาเหล็กไฟถนน พร้อมกับแผงโซล่าเซลล์และแบตเตอรี่ รวมถึงชุดโคมไฟถนน LED และมีเครื่องควบคุมการชาร์จระหว่างแผงโซล่าเซลล์กับแบตเตอรี่ เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ไม่ต้องเดินสายไฟใต้ดินหรือแม้กระทั่งสายอากาศเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบส่องสว่าง สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของการเดินสายไฟในระยะทางหลายๆกิโลเมตร ซึ่งในอนาคตระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงจะนำสายไฟลงใต้ดินทั้งหมด เป็นเมืองไร้เสา-สายไฟ จึงจำเป็นต้องถอนเสาไฟคอนกรีตออกทั้งหมด ดังนั้นระบบไฟส่องสว่างสาธารณะจะต้องใช้เสาเหล็กไฟถนนสำหรับการส่องสว่าง ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว ทั้งในแง่ของการประหยัดพลังงานและการซ่อมบำรุงรักษา เนื่องจากมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งแสงสว่างจากโคมไฟที่ใช้หลอด LED มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ ถือเป็นพลังงานที่สะอาดและยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงมีความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ถนนเนื่องจากไม่มีการแผ่รังสียูวีและอินฟราเรด ดังนั้นโคมไฟส่องสว่างถนนที่ใช้หลอด LED จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถทดแทนโคมไฟถนนที่ใช้หลอด HPS และ MH ในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นประเด็นที่มาคู่กัน โดยจากการรายงานของมหาวิทยาลัยคาร์เนกีเมลลอน จากประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าค่าใช้จ่ายของเสาไฟฟ้าตามท้องถนนคิดเป็นร้อยละ 40 ของงบประมาณด้านไฟฟ้า [14] อัตราการใช้ไฟสาธารณะที่สูงนี้ยังก่อให้เกิดมลภาวะและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ปัจจุบันการออกแบบเสาไฟฟ้าจึงไม่หยุดอยู่เพียงแค่เทคโนโลยีล่าสุดอย่างหลอดแอลอีดี ซึ่งกินไฟน้อยกว่าและก่อให้เกิดมลพิษน้อยกว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่เคยได้รับความนิยม แต่ยังมีซอฟต์แวร์และแอพพลิเคชั่นอีกมากมายที่รวมเป็นส่วนหนึ่งของระบบเสาไฟอัจฉริยะในวิถีเขียว เช่น ระบบเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของคนและยานพาหนะ ระบบโครงข่ายไร้สายที่สามารถควบคุมการปิด-เปิดและปรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เหมาะสมกับทั้งสภาพอากาศและสภาพการจราจรจากระยะไกล เป็นต้น โดยไฟถนนที่ไร้เสาอาจเป็นเป้าหมายถัดไปในการสร้างสรรค์นวัตกรรมชนิดนี้ ซึ่งศิลปินและนวัตกร ดานโรสการ์ด ผู้เชี่ยวชาญด้านงานออกแบบเชิงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเทคโนโลยีกับความเป็นมนุษย์ ได้จับมือกับบริษัท Heijmans Infrastructure ทำการทดลองโครงการทางหลวงอัจฉริยะ ซึ่งไฮไลต์อยู่ที่ระบบไฟทางที่ไม่เพียงแค่ชาญฉลาดและปราศจากเสาที่เก้งก้าง แต่ยังเน้นพลังงานทางเลือกที่มาพร้อมกับรูปลักษณ์อันสร้างประสบการณ์แห่งสุนทรียะแก่ผู้ใช้งานตั้งแต่ ขอบถนนเรืองแสง(Glowing Lines) ซึ่งจัดเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ในตอนกลางวันและเปล่งแสงแทนเสาไฟฟ้าในตอนกลางคืน ไปจนถึงหลอดกังหันลม (Wind Light) ที่สว่างขึ้นอัตโนมัติจากพลังงานลมเมื่อรถแล่นผ่าน ทำให้ทิศทางการพัฒนาเสาไฟฟ้าในอนาคตจึงเป็นการมุ่งเน้นการใช้พลังงานสะอาด และการออกแบบบนพื้นฐานของความกลมกลืนระหว่างมนุษย์และธรรมชาติ แต่ยังคงไว้ซึ่งหลักการที่สำคัญนั่นคือ แสงสว่างที่นำทางให้ผู้คนถึงจุดหมายโดยปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบและการวิเคราะห์เทคนิคใหม่ของโคมไฟส่องสว่างถนนเพื่อนำมาเปรียบเทียบและทดแทนรูปแบบการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนแบบดั้งเดิม โดยพิจารณาในแง่ของด้านคุณภาพแสง เพื่อให้เกิดความปลอดภัย ด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานและด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุด การจำลองระบบไฟส่องสว่างถนนได้เปรียบเทียบสมรรถนะการส่องสว่างและสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพทางพลังงานให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบระบบไฟส่องสว่างถนนของการไฟฟ้านครหลวง โดยการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนรูปแบบดั้งเดิมจะใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูง(HPS) และหลอดเมทัลฮาไลด์(MH) ที่อุณหภูมิสีแตกต่างกัน และการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนรูปแบบใหม่จะใช้หลอดแอลอีดี(LED) ที่มีการปรับค่าตัวแปรทางกายภาพให้เหมาะสม รวมถึงได้พิจารณาเพิ่มเติมโคมไฟถนนที่ใช้หลอดแอลอีดีที่มีแหล่งกำเนิดแสงมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น ไม่ต้องใช้สายไฟฟ้าในการเดินระบบจำหน่ายสำหรับไฟส่องสว่างถนน เพื่อลดการเกิดแรงดันตกที่ปลายทาง ไม่สูญเสียกำลังไฟฟ้า รวมถึงไม่ต้องเสียค่ากระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดการประหยัดทั้งทางพลังงานและเศรษฐศาสตร์ แต่เนื่องด้วยค่าการติดตั้งโคมไฟส่องสว่างถนนที่ใช้หลอด LED พลังงานแสงอาทิตย์มีราคาค่อนข้างสูงจึงอาจไม่เป็นที่นิยมในการลงทุนเพื่อนำมาใช้งานบนถนนในปัจจุบัน ซึ่งได้ใช้เทคนิคขั้นตอนการออกแบบไฟถนนแบบใหม่ในการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่าง ๆ อย่างละเอียดมากขึ้น โดยจากผลการจำลองรูปแบบติดตั้งโคมไฟถนนจะพบว่า โคมไฟส่องสว่างถนนที่เลือกใช้หลอด LED ขนาด 150 W สามารถทดแทนโคมไฟส่องสว่างถนนที่ใช้หลอด HPS 250 W ในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพในแง่ของสมรรถนะการส่องสว่างซึ่งมีค่าการส่องสว่างทางแสงเป็นไปตามมาตรฐาน ในแง่ของสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพทางพลังงานซึ่งมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 59.83 % และในแง่ของเศรษฐศาสตร์ซึ่งสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากถึง 57,474.46 บาทต่อกิโลเมตรต่อปี อีกทั้งมีการพิจารณาเงื่อนไขเพิ่มเติมในสภาวะถนนเปียกหรือขณะฝนตก จะพบว่าหลอดLED ที่ให้แสงสีขาวจะทำให้เกิดค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง(C) ที่สูงเกินความจำเป็น มีการสะท้อนแสงโดยตรงของพื้นผิวถนนเปียก ทำให้การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและเกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย ซึ่งแตกต่างจากหลอด HPS ที่ให้แสงสีเหลืองทำให้เกิดค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างที่เหมาะสมทำให้การมองเห็นวัตถุบนถนนได้ชัดเจน ซึ่งควรออกแบบให้มีอุณหภูมิสีของแสงราวๆ 4,000 K และค่า C มากกว่า 0.16 ขึ้นไปเพื่อการมองเห็นวัตถุบนถนนได้มากกว่า 90% แต่ในสภาวะพื้นถนนปกติโคมไฟถนนที่เลือกใช้หลอด LED ยังคงมีคุณสมบัติทางแสงที่โดดเด่น ทั้งคุณภาพการส่องส่องสว่าง ความถูกต้องของสี มีอายุการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานที่ยาวนาน สามารถประหยัดพลังงานและค่าไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง รวมถึงมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ถนนเนื่องจากไม่มีการแผ่รังสียูวีและอินฟราเรด ดังนั้นโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถทดแทนโคมไฟถนนที่ใช้หลอด HPS และ MH ในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบไฟส่องสว่างถนนในปัจจุบันมีวัตถุประสงค์หลักคือ การทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานเกิดความปลอดภัยในการเดินทางสัญจร ลดการเกิดอุบัติเหตุและการเกิดอาชญากรรมในช่วงเวลากลางคืน จึงต้องคำนึงถึงสมรรถนะทางด้านการส่องสว่างของไฟถนนให้มีคุณภาพของแสงเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ อีกทั้งจำเป็นต้องพิจารณาด้านสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพทางพลังงานเพื่อการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ลดการสิ้นเปลืองพลังงาน และจะต้องพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นำไปสู่เป้าหมายในการประหยัดพลังงานในระยะยาวอย่างแท้จริง

6.2 ข้อเสนอแนะ

- ในการวัดความสว่าง พบว่ามีโคมไฟบางรุ่นที่เมื่อวัดความสว่าง (lux) และความสม่ำเสมอได้ผลลัพธ์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่เมื่อสังเกตด้วยตากลับพบว่าแสงที่ลงบนท้องถนนไม่มีความสม่ำเสมอ หรือเกิดเป็น Zebra effect เนื่องจากโคมไฟ LED มีความหลากหลายอย่างมาก ดังนั้นในการกำหนดเกณฑ์เพื่อพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์โคมไฟ LED ต้องเป็นไปอย่างระมัดระวังเพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะได้โคมไฟที่ให้แสงสว่างที่เหมาะสมและมีคุณภาพอย่างแท้จริง

- การทดลองติดตั้ง เป็นเรื่องที่จำเป็น และควรทำเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3-6 เดือน และจัดทำเป็นข้อกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ดี มีการประเมินคุณสมบัติของผู้ผลิต/ผู้จำหน่ายว่ามีคุณภาพและศักยภาพหรือไม่ มีการกำหนดเกณฑ์วิธีการประเมินคุณภาพและการประหยัดพลังงานที่ชัดเจนและเหมาะสม พร้อมทั้งมีการวัดค่าก่อนและหลังจากการติดตั้งเป็นระยะๆ ตลอดระยะเวลาโครงการ เพื่อความมั่นใจในคุณภาพและการประหยัดพลังงานในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Hasan R. "สรุปการสัมมนาและอภิปรายเชิงวิชาการ เรื่องโคมไฟถนน LED" **Philips – ASEAN Pacific and Japan,** เมษายน 2557. หน้า 8-10

[2] วินัย นาทะศรี. **"การนำเสนอเชิงเปรียบเทียบของข้อมูลทางแสงและสมรรถนะของโคมไฟถนน"** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2554.

[3] ศุลี บรรจงจิตร. **วิศวกรรมการส่องสว่าง.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. 2538.

[4] สุวิชญาน์ อินนัดดา. **"การประเมินคุณภาพไฟถนน"** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

[5] Douglass, A. Kerr. **"Color Temperature"** [Online]. Available : http://www.marcelpatek.com. 2016.

[6] ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ และคณะ. **มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ เรื่องแนวทางการปฏิบัติด้านประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนน.** ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สภาวิศวกร. 2554.

[7] วิศว์ รัตนโชติ. **คู่มือแนะนำการออกแบบงานไฟฟ้าแสงสว่างถนนและไฟสัญญาณจราจร.** สำนักอำนวยความปลอดภัย : กรมทางหลวงชนบท. 2554.

[8] สุพัตรา. "การติดตั้ง Street light control relay สำหรับจ่ายไฟฟ้าส่องสว่างไฟถนน" **มาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง,** กรกฎาคม 2558. หน้า 4-5

[9] นิวัฒน์ ช่วยเชษฐ. **การติดตั้งและตรวจซ่อมระบบไฟฟ้าสาธารณะ.** การไฟฟ้านครหลวง. 2547.

[10] ลือชัย ทองนิล. **คู่มือวิศวกรไฟฟ้า.** ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2558.

[11] Golik W. and Gorczewska M. "Luminance Contrast in Road Lighting" **Technical University of Poznan Poland.** pp. 274-281

[12] Darren C. **"This Is Why Street Lights Are Orange"** [Online]. Available : https://www.carthrottle.com/post/this-is-why-street-lights-are-orange. 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[13] Jin H., Jin S., Chen L., Cen S. and Yuan K. "Research on the Lighting Performance of LED Street Lights With Different Color Temperatures" **IEEE Photonics Journal.,** vol. 7, no. 6, December 2015.

[14] ภรณ์ทิพย์ ปิยฤทธิพงศ์. **"Street Light จากเทียนไขสู่ไฟไร้เสา"** [Online]. Available : http://www.mea.or.th. 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

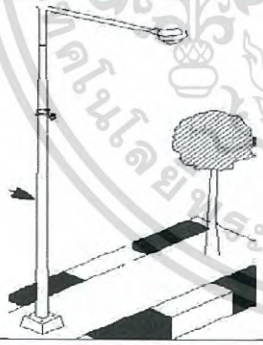
การติดตั้งไฟส่องสว่างถนนตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง (MEA Standard)

ตารางที่ ผ1.1 รายการวัสดุที่ใช้สำหรับการติดตั้งโคมไฟถนนเสาเหล็กกิ่งเดี่ยวหลอด HPS 250 W

DprShrtTxt	ส่วนประกอบ	คำอธิบายวัสดุ	ปริมาณ	Un	ราคาแผน 1	มูลค่ารวม
เสา/GROUND	614520200310	PVC CONDUCTOR TYPE B 1X2.5 SQMM.	28.000	M	11.80	330.40
เสา/GROUND	614520101600	PVC CONDUCTOR TYPE A 1X16 SQMM.	3.000	M	45.33	135.99
เสา/GROUND	614509980100	THERMOWELD ONE TIME F/ROD 16 SQMM.	1	EA	130.65	130.65
เสา/GROUND	614509301600	TERMINAL LUG 16 SQMM.	1	EA	7.09	7.09
เสา/GROUND	614509300400	TERMINAL LUG 2.5 SQ.MM.	2	EA	1.64	3.28
เสา/GROUND	561064100100	SAND ROUGH	0.150	CUM	480.00	72.00
เสา/GROUND	561503350800	GROUND ROD COPPER CLAD 5/8 IN X 8 FT	1	EA	370.00	370.00
เสา/GROUND	562063600200	HAND HOLD F/STREET LIGHT	1	EA	700.00	700.00
เสา/GROUND	562566612000	SINGLE BRACKET ST POLE 12 M	1	EA	18,500.00	18,500.00
เสา/GROUND	562064300100	MIXED CEMENT	7	KG	1.98	13.86
เสา/GROUND	562566633000	CONCRETE BASE F/ST POLE 12-14 M	1	EA	7,659.68	7,659.68
เสา/GROUND	597031162210	PVC ELECTRICAL TAPE RED 3/4 IN x 10 M	0.100	EA	6.87	0.69
			0.150	CUM	27,915.04	27,923.64
			5.100	EA		
			7	KG		
			31.000	M		
ชุดโคม	614520701600	CU COND PVC TYPE C 4X16 SQMM.	52.000	M	211.70	11,008.40
ชุดโคม	614510144100	AIRSEAL COMPOUND 4X4X1/8IN	10	EA	20.75	207.50
ชุดโคม	621043525110	LUMI.SODIUM 1x250W SIDE ENTRY W/IGNITOR	1	EA	4,500.00	4,500.00
ชุดโคม	624042525000	SODIUM LAMP 250W	1	EA	185.00	185.00
ชุดโคม	614507143400	SPLIT BOLT CONNECTOR F/2/0-2R, 2/0-6T AW	4	EA	63.40	253.60
ชุดโคม	614507016500	PAR GROOVE CLAMP F/70-185,16-70 SQMM.	3	EA	35.74	107.22
ชุดโคม	597031162000	PVC ELECTRICAL TAPE BLACK 19 MM. x 20 M.	0.950	EA	14.00	13.30
ชุดโคม	473049006300	HDPE COUPLING (HDPE-HDPE) 63 MM	7	EA	32.48	227.36
ชุดโคม	473049006300	HDPE CONDUIT CLASS I 63 MM (OD)	7	EA	204.69	1,432.83
			33.950	EA	5,267.76	17,935.21
			52.000	M		
			0.150	CUM	33,182.80	45,858.85
			42.050	EA		
			7	KG		
			83.000	M		
			0.150	CUM	33,182.80	45,858.85
			42.050	EA		
			7	KG		
			83.000	M		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ1.2 ภาพวัสดุที่ใช้สำหรับการติดตั้งโคมไฟถนนเสาเหล็กกิ่งเดี่ยวหลอด HPS 250 W

ภาพวัสดุ	คำอธิบาย
	PVC CONDUCTOR TYPE B 1 x 2.5 mm^2 (BLACK) FOR AERIAL FUSE
	PVC CONDUCTOR TYPE A 1 x 16 mm^2
	THERMOWELD ONE TIME FOR ROD 16 mm^2
	TERMINAL LUG 16 mm^2
	TERMINAL LUG 2.5 mm^2
	SAND ROUGH
	GROUND ROD COPPER CLAD 5/8 IN x 8 FT
	SINGLE BRACKET ST POLE 12 m
	CEMENT
	PVC ELECTRICAL TAPE (RED) 10 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ1.2 ภาพวัสดุที่ใช้สำหรับการติดตั้งโคมไฟถนนเสาเหล็กกิ่งเดี่ยวหลอดHPS250 W (ต่อ)

ภาพวัสดุ	คำอธิบาย
	PVC CONDUCTOR TYPE C 4 x 16 mm^2
	AIRSEAL COMPOUND 4 x 4 x 1/8 IN
	LUMINAIRE SODIUM 1x 250 W SIDE ENTRY WITH IGNITOR
	SODIUM LAMP 250 W (HIGH-PRESSURE)
	SPLIT BOLT CONNECTOR FOR 2/0-2 AWG R , 2/0-6 AWG T
	PG. CLAMP FOR 70-185 mm^2 R ,16-70 mm_2 T , (1-BOLT TYPE)
	PVC ELECTRICAL TAPE BLACK 3/4 IN x 20 m
	HDPE COUPLING (HDPE-HDPE) 63 mm
	HDPE CONDUIT CLASS I 63 mm (OD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON-38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และการออกแบบการเปรียบต่างความส่องสว่างของหลอดไฟ เพื่อความปลอดภัยบนถนน

Analysis and Design of the Street Light Luminance Contrast for Safety on the Road

เจษฎา เหล่าธนสมิตย์ชัย[1] และ ชาย ชมภูอินไหว[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง jassada_pom@hotmail.co.uk

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

GN44

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance contrast, c) ของหลอดไฟถนน โดยได้ทำการจำลองระบบไฟส่องสว่างบนถนนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละชนิดของหลอดไฟ ซึ่งได้ทำการปรับระยะห่าง ความสูง และมุมเงยของเสาไฟ รวมไปถึงรูปแบบการจัดวางเสาไฟในแต่ละแบบ แล้วทำการคำนวณหาค่าความเข้มแสง ความส่องสว่าง และความสม่ำเสมอของการกระจายแสง จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง โดยหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อความปลอดภัยบนถนน นอกจากนี้งานวิจัยได้วิเคราะห์รวมไปถึงเทคโนโลยีในปัจจุบันนั่นคือ หลอดแอลอีดี เทียบกับหลอดแบบดั้งเดิม จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปวิเคราะห์และออกแบบไฟส่องสว่างบนถนนได้จริง ให้มีค่าตามมาตรฐานกรมทางหลวง เพื่อลดอุบัติเหตุของผู้ขับขี่ยานพาหนะในช่วงเวลากลางคืนและสร้างความปลอดภัยให้เกิดแก่ผู้ใช้ถนนมากขึ้น

คำสำคัญ: การเปรียบต่างความส่องสว่าง ความเข้มแสง ไฟถนน

Abstract

This paper has analyzed and designed the street light luminance contrast. The simulated lighting system on the road through the computer program in each type of lamp. Which adjusted the spacing, mounting height and tilt angle of the light poles including type of the arrangement light poles. Then calculated illuminance, luminance and uniformity. After that compared the luminance contrast by calculating the optimization for safety on the road. Moreover research also analyzed as well as the current technology is LED lamps compared to traditional lamps. The results of this research can be applied to analyze and design the lighting on the road actually according to the standard department of highways. To reduce accidents for vehicle driver during the night and secure caused to road users more.

Keywords: Luminance contrast , Illuminance , Street light

1. บทนำ

การวิเคราะห์และออกแบบระบบแสงสว่างภายนอกไฟถนนนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นจากการขับขี่ของยานพาหนะ ซึ่งการออกแบบไฟถนนจะต้องคำนึงถึงความส่องสว่างและความเข้มแสงเป็นหลักใหญ่ แต่ในปัจจุบันมีอุบัติเหตุจากการใช้ยานพาหนะบนท้องถนนมากขึ้นและสร้างความไม่ปลอดภัยแก่ผู้ใช้ถนนในช่วงเวลากลางคืน อันเนื่องมาจากระบบไฟส่องสว่างที่ออกแบบไว้ถนนนั้นไม่ได้มาตรฐาน โดยมีค่าความส่องสว่างและค่าความเข้มแสงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และอีกปัจจัยหนึ่งสำหรับผู้ออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนนั้นที่อาจมองข้ามไปและไม่ได้นำมาวิเคราะห์คำนวณนั้นก็คือค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance contrast : c) โดยทั่วไปไฟถนนจะมีระดับแสงค่อนข้างต่ำ การมองเห็นบนท้องถนนจึงไม่ค่อยดีนัก การที่จะทำให้การมองเห็นดีขึ้นนั้นทำได้โดยการให้แสงที่แตกต่างกันระหว่างวัตถุกับบริเวณที่มองเห็น ถ้าวัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองจะทำให้เห็นวัตถุเป็นเงาดำ ซึ่งค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างจะมีค่าเป็นลบ และถ้าวัตถุสว่างกว่าบริเวณที่มองค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างจะมีค่าเป็นบวก โดยทั่วไปบนท้องถนนในปัจจุบันการมองเห็นวัตถุบนถนนในขณะขับขี่ของยานพาหนะนั้นมีค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างเป็นลบ[1] นั่นคือวัตถุมีความส่องสว่างต่ำกว่าความส่องสว่างของบริเวณที่มองโดยรอบ จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างลดลงจะทำให้มองเห็นวัตถุได้ยากขึ้น ดังนั้นการที่จะทำให้การมองเห็นของผู้ขับขี่ยานพาหนะดีขึ้นนั้น ทำได้โดยการเพิ่มความส่องสว่างบนพื้นผิวถนน

รูปที่ 1 ระดับการมองเห็นจะยากขึ้นเมื่อค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างลดลง

ดังนั้นบทความนี้ให้ความสำคัญของการออกแบบไฟถนน โดยเน้นพิจารณาค่า c ในการติดตั้งโคมไฟถนนชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคมไฟ LED ภายใต้สภาพการติดตั้งที่แตกต่างกันไป เพื่อความสำคัญและจำเป็นต่อผู้ขับขี่ยานพาหนะในการลดอุบัติเหตุและสร้างความปลอดภัยในช่วงเวลากลางคืนให้เกิดแก่ผู้ใช้ถนนมากยิ่งขึ้น

2. การวิเคราะห์และการออกแบบไฟถนน

2.1 ลักษณะทางกายภาพและประเภทผิวถนน

ในการประเมินลักษณะทางกายภาพและประเภทผิวของถนนอ้างอิงตามมาตรฐาน CIE 115 โดยได้ระบุประเภทของถนนที่จราจรด้วยรถยนต์ คือ ประเภท M และได้แบ่งระดับชั้นการส่องสว่างออกเป็น 5 ระดับคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M1 จนถึง M5 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์ อันได้แก่ ความเร็วของรถยนต์ในพื้นที่ ปริมาณการจราจร ความหนาแน่นการจราจรและความส่องสว่างโดยรอบ เป็นต้น [2] โดย M1 คือ ถนนสายประธานมีรถมาก, M2 คือ ถนนสายหลักมีรถปานกลาง M3 คือ ถนนสายรอง, M4 คือ ถนนเชื่อมกับถนนใหญ่ และM5 คือ ถนนย่อยท้องถิ่นหรือถนนตามที่อยู่อาศัย มีความหนาแน่นจราจรน้อย

การคำนวณค่าความส่องสว่าง บนผิวถนนต้องใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงในทิศทางต่าง ๆ ของผิวถนน ตามมาตรฐานก่อสร้างทาง พ.ศ. 2537 ของกรมทางหลวง ผิวถนนที่ก่อสร้างทั่วไปคือ ผิวถนนคริตและแอสฟัลท์ โดยปริมาณของค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย (Q_o) เป็นตัวบอกถึงระดับความสามารถในการสะท้อนแสงทั้งหมดของผิวถนนว่ามีความด้านหรือเงามากน้อยเพียงใด โดยได้แบ่งประเภทของผิวถนนออกเป็น 4 ประเภท คือ ด้านมาก (R1) , ด้านและเงาผสมกัน (R2) , เงาน้อย (R3) และเงามาก (R4)

2.2 การเลือกใช้หลอดไฟและโคมไฟถนน

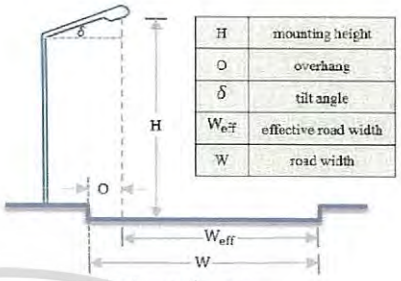
ในการส่องสว่างถนนส่วนใหญ่ของกรมทางหลวงจะนิยมใช้หลอดไฟและโคมไฟถนนชนิดต่างๆ ตามประเภทของถนนในแต่ละพื้นที่ ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงจะประกอบไปด้วย หลอดไฟฟ้า ตัวโคมไฟถนน และอุปกรณ์ควบคุม โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ในการออกแบบไฟถนน ได้แก่ ขนาดของหลอดไฟ อายุการใช้งาน สีของแสงและการมองเห็น ประสิทธิผลของหลอดไฟและโคมไฟ อุณหภูมิสี รวมไปถึงราคาของหลอดไฟและโคมไฟในแต่ละชนิดที่เลือกใช้งาน โดยคุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันไอสูง(HPS) กับหลอดเมทัลฮาไลด์(MH) เปรียบเทียบกับหลอดแอลอีดี(LED) แสดงได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งหลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์ประหยัดพลังงานเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง แต่จะต้องถูกควบคุมให้กระจายไปในทิศทางที่ต้องการส่องสว่าง เพื่อทำให้ทั้งระบบมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงขึ้น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของหลอดไฟในแต่ละชนิด [3]

ชนิดของหลอดไฟ	ประสิทธิผล (ลูเมน/วัตต์)	อุณหภูมิสี (K)	ความถูกต้องของสี (CRI)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
HPS	70 - 130	2,000 – 2,200	30 – 50	18,000 – 24,000
MH	60 - 120	2,900 – 6,000	60 – 90	8,000 – 15,000
LED	25 - 64	2,700 – 10,000	70 - 100	35,000 – 60,000

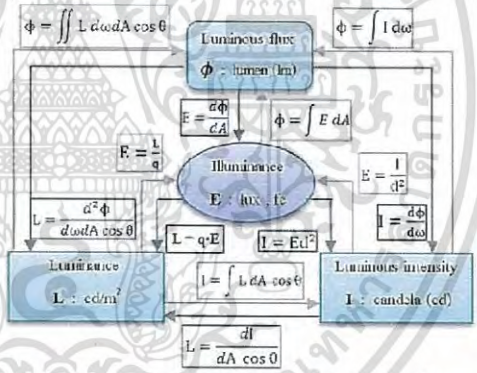
2.3 การปรับค่าตัวแปรสำหรับการออกแบบไฟส่องสว่างถนน

การติดตั้งไฟถนนมีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับเหตุผลทางเทคนิคและทางเศรษฐกิจ โดยเสาไฟที่นิยมใช้เป็นเสาเหล็กชุบสังกะสีซึ่งมีความแข็งแรง ทนทาน ปลอดภัยและติดตั้งง่าย การติดตั้งโคมไฟถนนแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งโคมไฟถนน

การออกแบบระบบไฟส่องสว่างบนถนนจะต้องคำนึงถึงค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความเข้มแสง ค่าความส่องสว่าง ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงและค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง โดยในการวิจัยนี้เลือกใช้การติดตั้งโดยออกแบบค่าระยะห่างช่วงเสา(Spacing) ที่ 30 เมตร ความสูงในการติดตั้ง(Mounting Height) 9 เมตร มุมเอียง(Tilt Angle) 10 องศา และช่วงยื่น(Overhang) 1 เมตร โดยได้นำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางแสงดังแสดงในไดอะแกรมรูปที่ 3



รูปที่ 3 ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของค่าฟลักซ์การส่องสว่าง ความเข้มแสง ความสม่ำเสมอของการส่องสว่างและความส่องสว่าง

จากไดอะแกรมรูปที่ 3 ค่าความส่องสว่างสามารถหาได้จาก ผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (q) ในทิศทางที่มองกับค่าความเข้มแสงของพื้นผิวนั้น นั่นคือ

$$L = q \cdot E \qquad (1)$$

ดังนั้นค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (Luminance contrast : c) สามารถหาได้จาก ค่าผลต่างความส่องสว่างของวัตถุ (L_a : cd/m^2) กับความส่องสว่างของบริเวณที่มอง (L_b : cd/m^2) หารด้วยค่าความส่องสว่างของบริเวณที่มอง แสดงได้ดังสมการที่ 2

$$c = \frac{L_a - L_b}{L_b} \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการออกแบบระบบไฟส่องสว่างถนนให้เป็นไปตามมาตรฐานความส่องสว่างของกรมทางหลวงที่กำหนด ซึ่งเป็นค่าความส่องสว่างตามมาตรฐาน IES จำแนกออกตามขนาดของถนนและเขตพื้นที่ใช้งานแสดงได้ดังตารางที่ 2

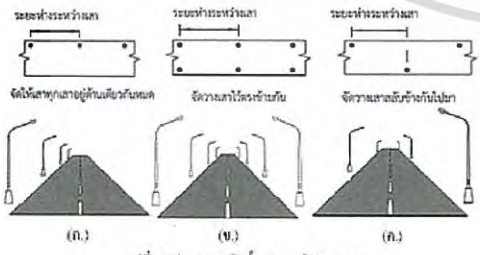
ตารางที่ 2 มาตรฐานความส่องสว่างของกรมทางหลวง [4]

ประเภทถนน	ความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)		
	ในเมือง	ชานเมือง	ชนบท
ถนนสายหลัก	21.5	13.0	9.7
ถนนสายรอง	13.0	9.7	6.5
ถนนสายย่อย	9.7	6.5	2.1

2.4 การจำลองผ่านโปรแกรมของระบบไฟส่องสว่างถนน

ในการออกแบบการส่องสว่างของโคมไฟถนน ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญทั้งในด้านสมรรถนะการส่องสว่าง และประสิทธิภาพพลังงานของระบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งระบบที่เหมาะสมกับสภาพของถนนและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งหมด อันได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพถนน ปริมาณการจราจร ความเร็วของยานพาหนะ เป็นต้น โดยการจำลองระบบไฟส่องสว่างถนนนี้จะเลือกใช้ประเภทผิวถนนชนิด R3 ซึ่งเป็นผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดตีทึบแสงและมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบผสมน้อย สำหรับระบบไฟส่องสว่างที่ทดสอบจะเลือกใช้ชนิดของหลอดไฟคือ หลอดไฮเพรสเชอร์โซเดียมความดันไอสูง(HPS) ขนาด 250 วัตต์ หลอดเมทัลฮาไลด์(MH) ขนาด 250 วัตต์ และหลอดแอลอีดี(LED) ขนาด 60 วัตต์ โดยใช้คู่กับบัลลาสต์ประหยัดพลังงานคือ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ในส่วนของการเลือกโคมไฟเพื่อใช้กับหลอดไฟฟ้าในการบังคับให้แสงส่องไปในทิศทางที่ต้องการ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดไฟฟ้าสูงขึ้น ตัวโคมไฟจะต้องสามารถกันน้ำได้และมีความปลอดภัยต่อการสัมผัส โดยได้เลือกโคมไฟชนิดการกระจายแสงเป็นแบบ Cut-off และจะทำการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการจำลองติดตั้งไฟถนน

จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความเข้มแสง ค่าความส่องสว่าง ความสม่ำเสมอของการกระจายแสงและทำการเปรียบต่างความส่องสว่าง ในแต่ละรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนที่มีทั้งแบบติดด้านเดียว ติดตรงกันข้ามและติดหแยงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 รวมถึงวิเคราะห์ชนิดของหลอดไฟที่ทดสอบแตกต่างกัน



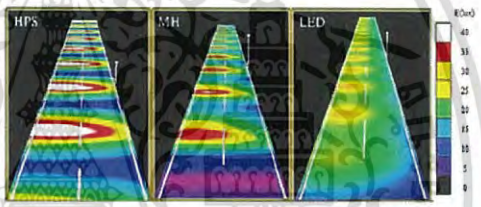
รูปที่ 4 รูปแบบการติดตั้งของเสาไฟถนน [5]
(ก.) ติดด้านเดียว (ข.) ติดตรงกันข้าม (ค.) ติดหแยงกัน

3. ผลการวิเคราะห์และอภิปราย

การวิเคราะห์และออกแบบความส่องสว่างของไฟถนนที่ติดตั้งตามโคมแบบติดด้านเดียวแสดงได้ดังตารางที่ 3 โดยถนนมีความกว้าง 7 เมตร ขนาด 2 เลน (เลนละ 3.50 เมตร) และทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของแต่ละชนิดหลอดไฟแสดงได้ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ผลการออกแบบการส่องสว่างที่ติดตั้งตามโคมแบบติดด้านเดียว
(ระยะห่างช่วงเสา 30 เมตร และความสูงของเสาไฟ 9 เมตร)

รายการ	มาตรฐาน	ประเภทของหลอดไฟ		
		HPS	MH	LED
Illuminance (E_{av}: lux)	≥ 21.5	22.7	22.4	22.8
Luminance (L_{av} : cd/m^2)	≥ 0.75	1.22	1.21	0.95
Uniformity (U_o)	≥ 0.4	0.51	0.54	0.65
Luminance contrast (c)		0.689	0.669	0.253

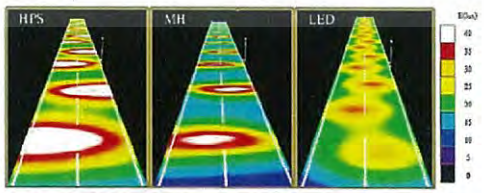


รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของหลอด HPS, MH และ LED เมื่อติดตั้งตามโคมแบบติดด้านเดียว

จากนั้นทำการเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งตามโคมเป็นแบบติดหแยงกันแสดงได้ดังตารางที่ 4 โดยกำหนดความกว้างถนนเท่าเดิมและทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของแต่ละชนิดหลอดไฟแสดงได้ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ผลการออกแบบการส่องสว่างที่ติดตั้งตามโคมแบบติดหแยงกัน
(ระยะห่างช่วงเสา 30 เมตร และความสูงของเสาไฟ 9 เมตร)

รายการ	มาตรฐาน	ประเภทของหลอดไฟ		
		HPS	MH	LED
Illuminance (E_{av}: lux)	≥ 21.5	29.5	24.2	25.0
Luminance (L_{av} : cd/m^2)	≥ 0.75	1.37	1.25	1.07
Uniformity (U_o)	≥ 0.4	0.66	0.64	0.71
Luminance contrast (c)		0.343	0.433	0.215



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของหลอด HPS, MH และ LED เมื่อติดตั้งตามโคมแบบติดหแยงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการปรับขนาดระยะห่างช่วงเสา (spacing) เพิ่มขึ้นจาก 30 เมตร เป็น 40 เมตร และปรับความสูงในการติดตั้งจาก 9 เมตร เป็น 12 เมตร แสดงผลได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการออกแบบการส่องสว่างที่ติดตั้งแบบคู่ขนานโคมแบบติดแยกกัน (ระยะห่างช่วงเสา 40 เมตร และความสูงของเสาไฟ 12 เมตร)

รายการ	มาตรฐาน	ประเภทของหลอดไฟ		
		HPS	MH	LED
Illuminance (E_{av}:lux)	≥ 21.5	18.1	17.4	18.3
Luminance (L_{av} : cd/m^2)	≥ 0.75	0.89	0.64	0.39
Uniformity (U_o)	≥ 0.4	0.59	0.56	0.78
Luminance contrast (c)		0.134	0.094	0.026

สำหรับการออกแบบความส่องสว่างที่ติดตั้งคู่ขนานโคมแบบติดตรงกันข้ามนั้น ความกว้างของถนนที่เหมาะสมควรมีระยะไม่เกิน 14 เมตร (พิสัยทางละ 2 เลน เลนละ 3.50 เมตร)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่างของแต่ละชนิดหลอดไฟจะพบว่ามีค่าตามมาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดทั้งการติดตั้งโคมไฟแบบติดด้านเดียว ติดตรงกันข้ามและติดแยกกัน แต่จะสังเกตเห็นว่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงของหลอดไฟ LED เมื่อเทียบกับหลอด HPS และ MH นั้นจะมีค่าเข้าใกล้เคียง 1 มากที่สุด นั่นหมายความว่าความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างต่ำสุดบนพื้นถนนกับค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้เกิดความสบายตาในการขับขี่ยวดยานบนท้องถนน ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 สำหรับค่าการเปรียบต่างความส่องสว่าง (c) ที่แนะนำควรออกแบบให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.7 เนื่องจากถ้าค่า c มีค่าต่ำจนติดลบ จะทำให้การมองเห็นวัสดุบนถนนไม่ดี ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ทั้งนี้ก็ต้องจำกัดค่า c ให้เหมาะสมไม่ให้มีค่าน้อยกว่าที่จำเป็นเพราะถ้าค่า c มีค่ามากเกินไปจะทำให้การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย ในด้านคุณภาพการมองเห็นและความปลอดภัยบนถนนเมื่อใช้หลอด LED ซึ่งให้แสงสีขาวทำให้การมองเห็นดีขึ้น แตกต่างจากการใช้หลอด HPS ซึ่งให้แสงสีเหลือง และควรใช้แสงที่มีอุณหภูมิสีราว 4000 K เพื่อเกิดความเปรียบต่างความส่องสว่างในขณะที่ยังคงมีประสิทธิภาพอยู่

เมื่อทำการปรับระยะห่างช่วงเสามากขึ้นจะสังเกตเห็นว่าค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่างไม่เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงกำหนด ทำให้ส่งผลกระทบต่อค่า c โดยมีค่าต่ำกว่าช่วงที่ได้แนะนำไว้ข้างต้น ทำให้การมองเห็นบนท้องถนนไม่ค่อยดีนัก เนื่องจากจะทำให้การมองเห็นวัตถุเป็นเงาดำ นั่นคือวัตถุมีความส่องสว่างต่ำกว่าความส่องสว่างของบริเวณที่รอบรอบ อันเป็นเหตุของการเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย นอกจากนี้เมื่อใช้หลอด LED แทนหลอด HPS อาจสามารถประหยัดไฟได้มากกว่า 50% โดยยังคงให้ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐาน รวมถึงอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น ดังนั้นในระยะยาวจะเกิดความคุ้มค่าทั้งในแง่ของการประหยัดไฟและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

4. สรุปผล

การวิเคราะห์และออกแบบไฟส่องสว่างถนนเพื่อให้ค่าความเข้มแสง ความส่องสว่าง และค่าความสม่ำเสมอเป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ได้กำหนดไว้ อีกทั้งปัจจัยที่สำคัญคือค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างจะต้องออกแบบให้มีค่าที่เหมาะสมไม่น้อยหรือมากเกินไปเพื่อลดอุบัติเหตุบนท้องถนนและสร้างความปลอดภัยให้เกิดแก่ผู้ขับขี่ยวดยานพาหนะในช่วงเวลากลางคืน โดยการติดตั้งคู่ขนานโคมแบบติดแยกกันจะมีค่าการแสงที่ดีกว่าการติดตั้งคู่ขนานโคมแบบติดด้านเดียวในขอบเขตที่ถนนมีความกว้างเท่ากัน และเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างช่วงเสาและความสูงในการติดตั้งมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อค่า c ไม่เป็นไปตามที่ได้แนะนำไว้ และอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ นอกจากนี้การออกแบบระบบไฟส่องสว่างถนนนั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพทางด้านพลังงาน โดยหลอดไฟ LED จะมีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับหลอด HPS และ MH ทั้งคุณภาพการส่องสว่าง ความถูกต้องของสี อีกทั้งประหยัดพลังงานซึ่งมีอายุการใช้งานยาวนานเฉลี่ย 50,000 ชั่วโมง สามารถประหยัดไฟและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง รวมถึงมีความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ถนนเนื่องจากไม่มีการแผ่รังสียูวีและอินฟราเรด ดังนั้นโคมไฟถนนที่ใช้หลอด LED จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถทดแทนโคมไฟถนนที่ใช้หลอด HPS และ MH ในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] สุริ บรรจงจิตร. 2538. "วิศวกรรมการส่องสว่าง". กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

[2] ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ และคณะ. 2554. "แนวทางการปฏิบัติล้านประสิทธิผลทางพลังงานของโคมไฟถนน". สภาวิศวกร.

[3] พรวุฒรลัก สุริโยธิน. 2554. "การบรรยายเรื่องแทคในไลท์หลอด LED". บริษัท ไอ้ดึ้ง แอนด์ อิควิปเมนต์ จำกัด.

[4] ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2540. "เทคนิคการส่องสว่าง". สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[5] สำนักอำนวยความปลอดภัย. 2554. "คู่มือแนะนำการออกแบบงานไฟฟ้าแสงสว่างถนน". กรมทางหลวงชนบท.

เกี่ยวกับผู้เขียน

นายเจษฎา เหล่าธนสิริชัย
- สาขาวิจัยวิศวกรรมการส่องสว่าง
- กำลังศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเจษฎา เหล่าธนสถิตย์ชัย
วัน เดือน ปีเกิด	19 กรกฎาคม 2535 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	63 ซอยวัดภาษี 1 ถนนเอกมัย แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
ประวัติการศึกษา	2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) วิศวกรรมการส่องสว่าง 2.) การออกแบบไฟส่องสว่างสาธารณะ
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2556-2557	ตำแหน่งวิศวกรบริษัท เจ.เอส.ที เซอร์วิสเซส จำกัด - ผลงานวิจัยการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบป้องกันการผุกร่อน (Cathodic Protection) เพื่อลดต้นทุนการนำเข้า
ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า แผนกก่อสร้างระบบจำหน่าย กองบริการการจำหน่าย การไฟฟ้านครหลวงเขตประเวศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้