การศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะทางแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบทางหลวง

STUDY AND ANALYSIS LUMINESCENCE CHARACTERISTICS OF LIGHT-EMITTING DIODE FOR THE HIGHWAY

*สัณฐิติ อยู่มาก** *อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล*
Suntiti Yoomak*, *Atthapol Ngaopitakkul*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

****Corresponding author, E-mail:*** *knatthap@kmitl.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์การจำลองระบบแสงสว่างเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างของโคมไฟชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS) 250 วัตต์ กับโคมไฟชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) 120 วัตต์ ในกรณีรูปแบบของถนนมีเกาะกลางและถนนไม่มีเกาะกลาง และทำการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างจากโคมไฟชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง ด้วยวิธีการจำลองปรับลดความสูงเสาไฟถนนและระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน ผลจากการจำลองพบว่า โคมไฟชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพความสว่างต่ำกว่าโคมไฟชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง ส่วนการปรับลดความสูงของเสาไฟถนนและระยะห่างระหว่างเสาไฟถนนมีผลทำให้ค่าความสว่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แต่การลดความสูงของเสาไฟถนนจะทำให้ค่าความสม่ำเสมอแสงลดต่ำลงแตกต่างจากวิธีลดระยะห่างระหว่างเสาซึ่งจะทำให้ค่าความสม่ำเสมอแสงดีขึ้น

คำสำคัญ: หลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดไดโอดเปล่งแสง ค่าความสว่าง ค่าความสม่ำเสมอ

Abstract

This paper presents the study and analysis lighting system by simulation and comparison lighting parameter between high pressure sodium (HPS) lamps 250 watts and the light emitting diode (LED) lamps 120 watts. Two case studies have been done, the first case is road lighting without street isle and the second one is road lighting with street isle. To improve the quality of lighting emitting diode lamp, Department of Highways of Thailand regulation must be considered. The simulation of this research are focus on two factors, one is height of pole and another one is distance between the two poles. The results showed that light emitting diode lamps have less efficiency than high pressure sodium lamps. Average illuminance can be increased due to reducing height of poles and distance between the two poles but reducing height of pole make low uniform of illuminance different from reducing distance between the two pole.

Keywords: High Pressure Sodium Luminaire, Light-Emitting Diode Luminaire, Illuminance, Uniformity

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างคุ้มค่าเป็นสิ่งที่ทุกประเทศให้ความสนใจ รวมถึงประเทศไทยด้วย นับวันยิ่งมีปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มสูงมากขึ้น หากไม่มีความตระหนักถึงการลดปริมาณการใช้ลง เชื่อได้ว่าในอนาคตพลังงานจะต้องหมดสิ้นไป หลายส่วนอาจสนใจศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนเพื่อนำมาเสริมกับพลังงานหลักที่ใช้อยู่ แต่ไม่ว่าอย่างไรก็ตามวิธีที่ดีที่สุดอาจเป็นการบริหารจัดการ การใช้พลังงานอย่างเหมาะสม สำหรับในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าในระบบแสงสว่างไฟถนน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นระบบหนึ่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมากคิดเป็น 20% ของการใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากทุกพื้นที่จำเป็นต้องมีแสงสว่าง [1-4]

แนวทางการลดใช้พลังงานได้มีการปรับเปลี่ยนใช้หลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ จนกระทั่งในปัจจุบันได้เริ่มมีแนวคิดที่จะใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงซึ่งประหยัดพลังงานมากกว่ามาใช้เป็นโคมไฟถนน โดยในต่างประเทศได้มีการวิจัยเกี่ยวกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้กับไฟถนน [5] ในส่วนของประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ร่วมมือกับกรมทางหลวงทำข้อตกลงโครงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟถนนและไฟสาธารณะ โดยนำโคมไฟประหยัดพลังงานแบบไดโอดเปล่งแสงจำนวนประมาณ 1,000,000 หลอด เปลี่ยนทดแทนหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน [6] นอกจากนี้การไฟฟ้านครหลวงจัดทำโครงการวิจัยนำร่องและทดลองติดตั้งโคมไฟฟ้าสาธารณะด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสงในเขตข้อเสนอโครงการวิจัยและพัฒนาเชิงหลักการกรุงเทพมหานคร [7] สำหรับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยนั้นได้มีการเปิดตัวโครงการนำร่องเช่นกัน โดยเป็นโครงการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงชนิดโคมไฟถนนในเขื่อนสิริกิติ์ จะติดหลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อช่วยประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 70 ภายในเขื่อนขนาดใหญ่ 4 แห่ง ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ [8]

จากการทบทวนวรรณกรรมและบทความทางวิชาการพบว่า ก่อนหน้านี้มีการนำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางพลังงานสีของแสง การควบคุมการหรี่ไฟ และลักษณะการมองเห็นชัดในขอบเขตแสงสลัวของสายตา (Mesopic Vision) ระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันไอสูง สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนน [9-10] ในงานวิจัยต่อมาแสดงให้เห็นว่าการออกแบบตัวกระจายแสงที่ดีสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสงก็เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับค่าความสว่างบนผิวถนน ผลจากการจำลองสามารถคำนวณหาค่าฟลักซ์ส่องสว่างสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสงและคุณสมบัติของเลนส์ที่ทำให้เกิดค่าความสม่ำเสมอแสงและค่าความสว่างที่เหมาะสม [11] และในงานวิจัยของ Yi Luo [12] และเอกสารอ้างอิงของ Kai Yang [13] นำเสนอลักษณะเลนส์กระจายแสงที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมและสามารถออกแบบเลนส์กระจายแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนได้ ในประเทศไต้หวันจากปี ค.ศ. 2009 ถึงปี ค.ศ. 2011 มีการศึกษาการดำเนินงานโครงการเปลี่ยนหลอดไฟชนิดหลอดแสงจันทร์มาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 50% และประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ ซึ่งเป็นผลดีในการสนับสนุนการใช้งานไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง [14]

จากความต้องการและการบริหารจัดการระบบแสงสว่างไฟถนนโดยการเพิ่มคุณภาพความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง มีการศึกษาผลกระทบทางความร้อนและระบบขับหลอดไดโอดเปล่งแสงโดยใช้วงจรควบคุมตัวประกอบกำลังแบบเพิ่ม/ลดแรงดัน (Buck-Boost PFC) จากการศึกษาชี้ว่าอุณหภูมิ

มีผลต่ออายุการใช้งานและประสิทธิภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสง และระบบระบายความร้อนของหลอดไดโอดเปล่งแสงต้องถูกออกแบบมาเป็นพิเศษให้เหมาะสมกับการใช้งาน [15] ในงานวิจัยต่อมามีการนำเสนอวงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบพาสซีพ (Passive LED Drivers) ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในระบบแสงสว่างไฟถนนที่มีย่านอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง ประสิทธิภาพทางพลังงานอยู่ที่ 92-94% ซึ่งมากกว่าวงจรขับหลอดแบบทั่วไป (โดยทั่วไปอยู่ที่ 87%) [16] และยังมีงานวิจัยที่มีการออกแบบวงจรไฟฟ้าในการควบคุมกระแสให้คงที่และระบบระบายความร้อน ในการแก้ปัญหาสำหรับการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้แทนอุปกรณ์แสงสว่างแบบดังเดิม [17] ในปัจจุบันมีการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงมาประยุกต์ใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์เพราะว่ามีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่น ในช่วงเวลากลางวันระบบจะทำการชาร์จไฟ และใช้เซ็นเซอร์ของวงจรสวิทช์รับแสงสำหรับควบคุมการทำงานของโคมไฟถนนในเวลากลางคืน ซึ่งทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าของประเทศได้ [18-19]

ในงานวิจัยที่ผ่านมามีการกล่าวถึงการเปรียบเทียบคุณภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันไอสูง ในเชิงของการประหยัดพลังงาน สีของแสง และความชัดเจนในการมองเห็นวัตถุด้วยสายตา และมีการพัฒนาคุณภาพแสงสว่างของโคมไฟหลอดไดโอดเปล่งแสงโดยการปรับปรุงชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงให้มีประสิทธิภาพ พลังงานสูญเสียต่ำและระบายความร้อนได้ดี รวมไปถึงการออกแบบเลนส์กระจายแสงให้มีความเหมาะสมกับระบบแสงสว่างไฟถนนอีกด้วย แต่ในงานวิจัยที่ผ่านมาก็ยังไม่มีการนำเสนอการเปรียบเทียบคุณภาพความสว่างในการติดตั้งโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันไอสูง ความสูงเสาไฟถนนและระยะห่างระหว่างเสาไฟถนนที่มีผลกระทบต่อคุณภาพแสงสว่างบนผิวถนน

งานวิจัยนี้เป็นการต่อยอดองค์ความรู้เดิมเพื่อช่วยพัฒนาระบบแสงสว่างไฟถนน โดยการแสดงข้อมูลการจำลองระบบแสงสว่าง จากการจำลองเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันไอสูง และนำเสนอแนวทางปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงโดยการปรับความสูงและระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์โดยการจำลองคุณภาพแสงสว่างในเชิงเปรียบเทียบระหว่างหลอดโซเดียงแรงดันไอสูงที่มีการติดตั้งในปัจจุบันกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ประหยัดพลังงานกว่า โดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่าความสว่างจากโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน ต่อมานำผลจากการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานความสว่างสำหรับระบบแสงสว่างไฟถนน ว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงมีความเหมาะสมในการใช้งานหรือไม่ และในส่วนท้ายของงานวิจัยนำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยการปรับความสูงและระยะห่างระหว่างเสา

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนมีหลายปัจจัยที่จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อให้ได้ความส่องสว่าง เพียงพอตามมาตรฐาน รวมทั้งข้อกำหนดอื่นๆ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

- ความส่องสว่าง (Illuminance) หมายถึงความส่องสว่างที่กระทบลงบนวัตถุมีความสัมพันธ์คือ ปริมาณแสง (ลูเมน)/พื้นที่มีหน่วยคือลักซ์ (Lux) กับฟุตแคนเดิล (footcandle, fc)

- ความสว่าง (Luminance) หมายถึง ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุมีหน่วยเป็น แคนเดลา/ตารางเมตร หากวัตถุมีผิวที่มีลักษณะแตกต่างกันหรือมีสีที่ต่างกันก็จะทำให้ค่าความสะท้อนที่ต่างกันนั้นคือค่าความสว่าง (Luminance) ก็จะต่างกันไปด้วย เช่น หากส่องแสงเข้ากระทบกับวัตถุสีขาวก็จะมีความสว่างมากกว่าวัตถุสีดำ

- ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity of Illumination) หมายถึง ค่าความสม่ำเสมอของความสว่างที่มีความจำเป็นต่อการมองเห็น และความสบายตาในการมองเห็นมีค่าเป็นสัดส่วนระหว่าง ค่าความสว่างตาที่สุดกับค่าความสว่างโดยเฉลี่ยสำหรับค่า Uniformity Ratio โดยสำหรับงานแสงสว่างถนน ควรไม่น้อยกว่า 1:2.5

- การจำกัดสภาวะแสงบาดตา (Limitation of Glare) ปัจจัยตัวนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพของการขับขี่ยานยนต์ลดลง โดยทั่วไปสภาวะแสงแยงตา เกิดขึ้นเมื่อมีความสว่างมากและอาจเกิดจากโคมไฟถนนที่ออกแบบการกระจายแสงได้ไม่ดีพอ

ในส่วนของงานวิจัยนี้ทำการศึกษาข้อมูลระบบแสงสว่างไฟถนนและโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบแสงสว่าง โดยศึกษามาตรฐานความสว่างสำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนในประเทศไทย ในมาตรฐานเรื่องความสว่างโคมไฟถนนโดยกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ที่กำหนดขอบเขตพิจารณาในส่วนของค่าความส่องสว่างกับค่าความสม่ำเสมอแสงเท่านั้น

ในส่วนของการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพแสงสว่างในระบบแสงสว่างไฟถนน โดยใช้โปรแกรม DIALux เพื่อทำการจำลองเปรียบเทียบระบบแสงสว่างไฟถนนระหว่างระบบแสงสว่างแบบใช้โคมไฟชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง ตรวจสอบประสิทธิภาพแสงสว่างในระบบแสงสว่างไฟถนนจากหลอดไดโอเปล่งแสงเพื่อนำมาพิจารณากับมาตรฐานความสว่างสำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนในประเทศไทย และนำเสนอการปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างไฟถนนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้โคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยการจำลองปรับความสูงและระยะห่างของเสาไฟถนน

ผลการวิจัย

การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนน

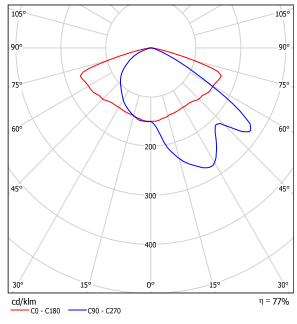
ความกว้างของถนนเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของแสง เมื่อความกว้างของถนนมีขนาดกว้างขึ้น คุณภาพของแสงจากหลอดไฟจะมีประสิทธิภาพที่ต่ำลง ในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองระบบแสงสว่างด้วยโปรแกรม DIALux โดยใช้มาตรฐานความสว่างโคมไฟถนนของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท [20] เป็นเกณฑ์ ดังตารางที่ 1 สำหรับจำลองไฟถนนทางหลวงสายหลัก มีเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้คือ มีความสว่างเฉลี่ยในแนวนอนต่ำสุด 21.5 ลักซ์ มีค่าความสม่ำเสมอของความสว่าง $(U_0)E_{min}/E_{av} \geq 0.4$ ในการจำลองระบบแสงสว่างเลือกใช้โคมไฟชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 250 วัตต์ ที่มีการติดตั้งจริงบนถนนสายหลัก แสดงการกระจายแสงดังภาพที่ 1(ก) เทียบกับโคมไฟชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์ แสดงการกระจายแสงดังภาพที่ 1(ข)

ตารางที่ 1 มาตรฐานความสว่างโคมไฟถนนโดยกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท [20]

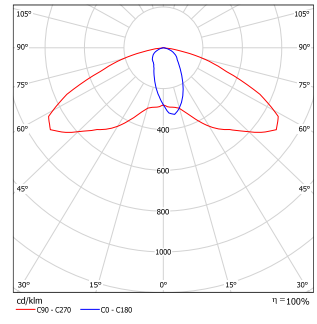
ประเภทถนน	พื้นที่ในเมือง (Lux)	พื้นที่ชานเมือง (Lux)	พื้นที่นอกเมือง (Lux)
ทางหลวงพิเศษ	21.5	15	10.75
ทางแยก	21.5	21.5	15
ทางหลวงสายหลัก	21.5	13	9.7
ทางหลวงสายรอง	13	9.7	6.5
ถนนท้องถิ่น	9.7	6.5	2.1

การจำลองเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างไฟถนนของหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับหลอดไดโอดเปล่งแสง

ในกรณีศึกษาจะเป็นการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่างจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIALux เลือกใช้รูปแบบของถนนที่มีเกาะกลางและถนนที่ไม่มีเกาะกลาง ใช้โคมไฟชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 250 วัตต์เทียบกับหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์ แสดงดังภาพที่ 1 แล้วนำผลที่ได้จากการจำลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพความสว่างของหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด โดยใช้มาตรฐานความสว่างโคมไฟถนนโดยกรมทางหลวงเป็นเกณฑ์เพื่อหาแนวทางพัฒนาคุณภาพแสงสว่างต่อไป



(ก) หลอดโซเดียมความดันไอสูง



(ข) หลอดไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 1 แสดงแผนภาพเส้นโค้งการกระจายแสง (Polar Curve) ของโคมไฟถนน

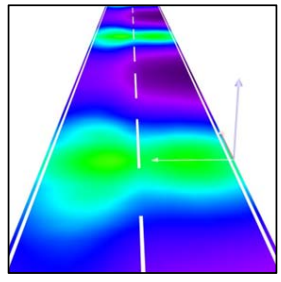
การจำลองในรูปแบบของถนนไม่มีเกาะกลาง

เป็นการแสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างกับค่าความสม่ำเสมอแสงในการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ กับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์ ในระบบแสงสว่างไฟถนนกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง มีการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียว ด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับ

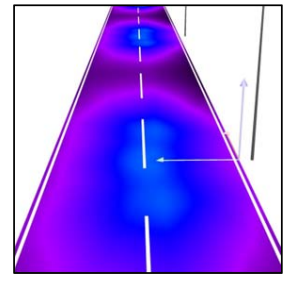
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอแสงในการจำลองที่ถนนกว้าง 10 เมตร

ถนน 10 เมตร	มาตรฐาน	HPS 250 วัตต์			LED 120 วัตต์		
		ด้านเดียว	ตรงข้าม	ตรงข้ามสลับ	ด้านเดียว	ตรงข้าม	ตรงข้ามสลับ
E_{av}[lux]	21.5	19	37	37	12	23	23
U_o	0.400	0.262	0.414	0.761	0.280	0.384	0.567

จากตารางที่ 2 แสดงผลการจำลองระบบแสงสว่างถนนชนิดไม่มีเกาะกลาง พบว่าแสงสว่างที่ได้จากหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าความสว่างเฉลี่ยสูงกว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงแต่ค่าความสม่ำเสมอแสงกับมีค่าใกล้เคียงกัน กรณีการติดตั้งแบบด้านเดียว จากภาพที่ 2 แสดงผลการจำลองการเปรียบเทียบแสงสว่างจากหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด พบว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีประสิทธิภาพแสงสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แต่หลอดไดโอดเปล่งแสงมีความสว่างเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดเกินไปจึงไม่สามารถติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบด้านเดียวได้ กรณีจำลองแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับ จากภาพที่ 3 และ 4 แสดงการเปรียบเทียบแสงสว่างของหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด พบว่าแสงสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงในการติดตั้งทั้ง 2 แบบนี้สามารถใช้แทนหลอดโซเดียมความดันไอสูงได้และค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ในการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับจะให้ค่าความสม่ำเสมอแสงดีกว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้าม แสดงภาพที่ 3(ข) เปรียบเทียบกับภาพที่ 4(ข)

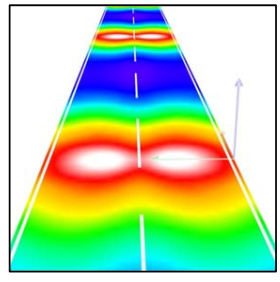


(ก) หลอดโซเดียมความดันไอสูง

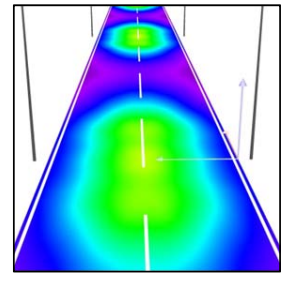


(ข) หลอดไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 2 แสดงรูปผลการจำลองถนนไม่มีเกาะกลาง ติดตั้งโคมไฟแบบด้านเดียว

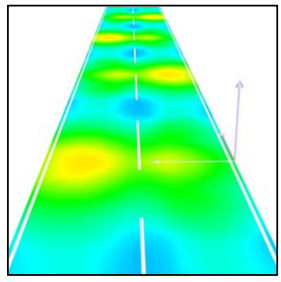


(ก) หลอดโซเดียมความดันไอสูง

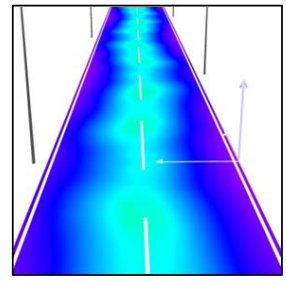


(ข) หลอดไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 3 แสดงรูปผลการจำลองถนนไม่มีเกาะกลาง ติดตั้งโคมไฟแบบด้านตรงข้าม



(ก) หลอดโซเดียมความดันไอสูง



(ข) หลอดไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 4 แสดงรูปผลการจำลองถนนไม่มีเกาะกลาง ติดตั้งโคมไฟแบบด้านตรงข้ามสลับ

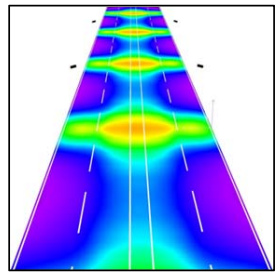
การจำลองในรูปแบบของถนนมีเกาะกลาง 1.5 เมตร

เป็นการแสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างกับค่าความสม่ำเสมอแสงในการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ กับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์ ในระบบแสงสว่างไฟถนนกรณีถนนมีเกาะกลาง 1.5 เมตร มีการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม ด้านตรงข้ามสลับและกิ่งคู่อยู่บนเกาะกลางถนน

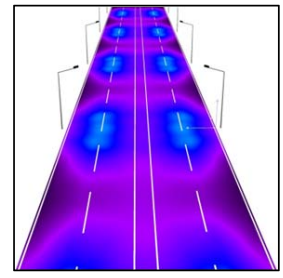
ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอแสงในการจำลองที่ถนนกว้าง 10 เมตร มีเกาะกลาง 1.5 เมตร

ถนน 10 เมตร มีเกาะกลาง 1.5 เมตร	มาตรฐาน	HPS 250 วัตต์			LED 120 วัตต์		
		ตรงข้าม	ตรงข้ามสลับ	กิ่งคู่กลาง	ตรงข้าม	ตรงข้ามสลับ	กิ่งคู่กลาง
E_{av} [lux]	21.5	28	28	24	14	14	14
U_o	0.400	0.331	0.417	0.337	0.299	0.303	0.273

จากตารางที่ 3 แสดงผลการจำลองระบบแสงสว่างถนนชนิดมีเกาะกลาง 1.5 เมตร พบว่าการติดตั้งโดยใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงทั้ง 3 รูปแบบสามารถติดตั้งใช้งานได้และมีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แต่หลอดไดโอดเปล่งแสงทั้ง 3 รูปแบบไม่สามารถติดตั้งใช้งานได้เนื่องจากค่าแสงสว่างเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ในกรณีการติดตั้งแบบด้านตรงข้าม แบบด้านตรงข้ามสลับและแบบกิ่งคู่ตรงกลาง จากภาพที่ 5 6 และ 7 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสงทั้ง 3 กรณีมีความสว่างน้อยกว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูง ซึ่งในการจำลองทั้ง 3 รูปแบบการติดตั้งพบว่าค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอแสงในกรณีใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าใกล้เคียงกัน

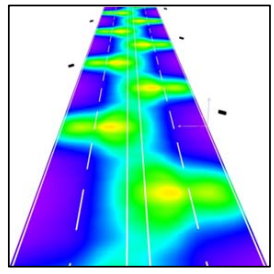


(ก) หลอดโซเดียมความดันไอสูง

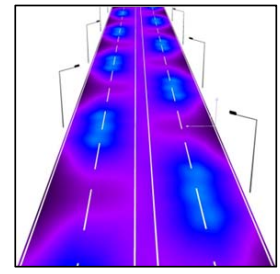


(ข) หลอดไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 5 แสดงรูปผลการจำลองถนนมีเกาะกลาง 1.5 เมตร ติดตั้งโคมไฟแบบด้านตรงข้าม

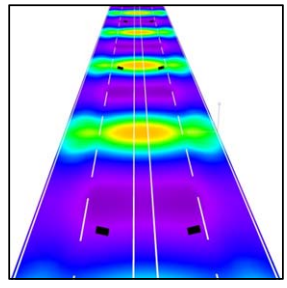


(ก) หลอดโซเดียมความดันไอสูง

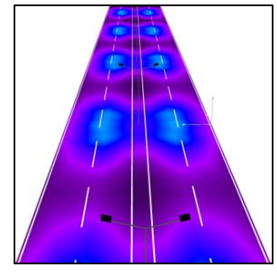


(ข) หลอดไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 6 แสดงรูปผลการจำลองถนนมีเกาะกลาง 1.5 เมตร ติดตั้งโคมไฟแบบด้านตรงข้ามสลับ



(ก) หลอดโซเดียมความดันไอสูง



(ข) หลอดไดโอดเปล่งแสง

ภาพที่ 7 แสดงรูปผลการจำลองถนนมีเกาะกลาง 1.5 เมตร ติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งคู่ตรงกลาง

จากการจำลองถนนในลักษณะไม่มีเกาะกลาง แสดงให้เห็นว่าในกรณีของหลอดโซเดียมความดันไอสูง การเลือกใช้รูปแบบการติดตั้งแบบด้านเดียวก็สามารถให้แสงสว่างเพียงพอแต่สำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสงต้องติดตั้งในรูปแบบตรงข้ามหรือตรงข้ามสลับจึงจะให้แสงสว่างเพียงพอ ในลักษณะถนนมีเกาะกลาง 1.5 เมตร ในกรณีของหลอดโซเดียมความดันไอสูงสามารถเลือกใช้การติดตั้งในรูปแบบใดก็ได้ แต่ในกรณีของหลอดไดโอดเปล่งแสงไม่สามารถเลือกใช้งานได้เนื่องจากถนน

มีความกว้างเกินประสิทธิภาพความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ในการจำลอง

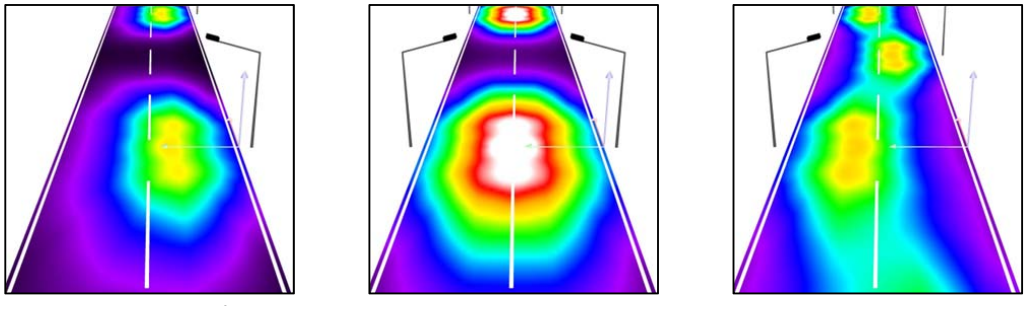
การปรับปรุงคุณภาพแสงสว่างจากโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง

การจำลองแสงสว่างโดยการปรับลดความสูงของเสาไฟถนน

ในการจำลองจะมีการปรับค่าความสูงของเสาไฟถนนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่างเลือกใช้เสาไฟถนนมีขนาดความสูง 6 7 8 และ 9 เมตร ตามลำดับ เป็นการจำลองระบบแสงสว่างโดยการปรับความสูงของเสาไฟถนนเพื่อวิเคราะห์ค่าความสว่างเฉลี่ย (E_{av}) และค่าความสม่ำเสมอแสง (U_0) ของถนนไม่มีเกาะกลาง แสดงดังตารางที่ 4 ผลการจำลองลักษณะแสงสว่างของการติดตั้งเสาไฟถนนในรูปแบบต่างๆ ดังภาพที่ 8

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสว่างและความสม่ำเสมอแสงรูปแบบถนนไม่มีเกาะกลางที่ความสูงเสาไฟถนนแตกต่างกัน

ถนนไม่มีเกาะกลาง		ความสูงเสาไฟถนน(เมตร)											
หลอดไดโอดเปล่งแสง	มาตรฐาน	แบบด้านเดียว				แบบด้านตรงข้าม				แบบด้านตรงข้ามสลับ			
		6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
E_{av}[lux]	21.5	14	13	12	12	28	26	25	23	28	26	25	23
U_o	0.400	0.11	0.15	0.21	0.28	0.14	0.20	0.29	0.38	0.34	0.42	0.34	0.57



(ก) ถนนแบบด้านเดียว (ข) ถนนแบบด้านตรงข้าม (ค) ถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ

ภาพที่ 8 แสดงรูปผลการจำลองถนนไม่มีเกาะกลาง เสาไฟถนนสูง 6 เมตร

ผลจากการจำลองในกรณีถนนไม่มีเกาะกลางจากตารางที่ 4 แสดงภาพรวมให้เห็นว่าการลดค่าความสูงของเสาไฟถนน ทำให้ค่าความสว่างเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มขึ้นไม่มาก เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าความสว่างเฉลี่ยของเสาไฟถนน 9 เมตร กับเสาไฟถนน 6 เมตร ในทางกลับกันค่าความสม่ำเสมอแสงกับมีแนวโน้มลดลงซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานทั้ง 3 รูปแบบ จากภาพที่ 8 แสดงรูปผลการจำลองถนนไม่มีเกาะกลางเสาไฟถนนสูง 6 เมตร พบว่าการติดตั้งแบบด้านเดียว ภาพที่ 8(ก) ให้ค่าความสว่างเฉลี่ยต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการติดตั้งแบบด้านตรงข้าม ภาพที่ 8(ข) และด้านตรงข้ามสลับ ภาพที่ 8(ค) และก็ยังเป็นค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ส่วนในการติดตั้งอีก 2 แบบ มีค่าความสว่างเฉลี่ยที่เหมือนกันและเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

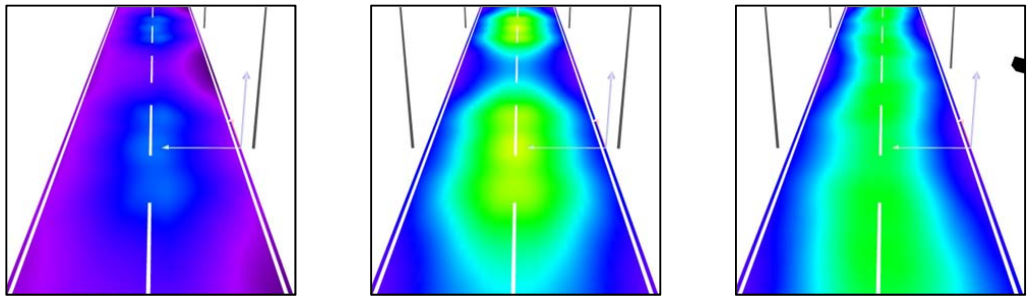
การจำลองแสงสว่างโดยการปรับลดระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน

ในการจำลองจะมีการปรับค่าระยะห่างระหว่างเสาไฟถนนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่าง กำหนดให้มีระยะห่างของเสาไฟถนน 32 34 36 38 และ 40 เมตร ตามลำดับ

เป็นการจำลองระบบแสงสว่างโดยการปรับระยะห่างของเสาไฟถนนเพื่อวิเคราะห์ค่าความสว่างเฉลี่ย (E_{av}) และค่าความสม่ำเสมอแสง (U_0) ของถนนไม่มีเกาะกลาง แสดงดังตารางที่ 5 ผลการจำลองลักษณะแสงสว่างของการติดตั้งเสาไฟถนนในรูปแบบต่างๆ ดังภาพที่ 9

ตารางที่ 5 แสดงค่าความสว่างและความสม่ำเสมอแสงรูปแบบถนนไม่มีเกาะกลางที่ระยะห่างของเสาไฟถนนแตกต่างกัน

ถนนไม่มีเกาะกลาง		ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน(เมตร)														
หลอดไดโอดเปล่งแสง	มาตรฐาน	แบบด้านเดียว					แบบด้านตรงข้าม					แบบด้านตรงข้ามสลับ				
		32	34	36	38	40	32	34	36	38	40	32	34	36	38	40
E_{av} [lux]	21.5	15	14	13	12	12	29	27	26	25	23	29	27	26	25	23
U_0	0.40	0.42	0.39	0.36	0.31	0.28	0.55	0.51	0.48	0.42	0.38	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57



(ก) ถนนแบบด้านเดียว (ข) ถนนแบบด้านตรงข้าม (ค)ถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ

ภาพที่ 9 แสดงรูปผลการจำลองถนนไม่มีเกาะกลาง ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน 32 เมตร

ผลจากการจำลองในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง จากตารางที่ 5 แสดงภาพรวมให้เห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างเสาไฟถนนมีค่าลดลงค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอแสงมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอแสงของระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน 40 เมตร กับระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน 32 เมตร จากภาพที่ 9 แสดงรูปผลการจำลองถนนไม่มีเกาะกลาง ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน 32 เมตร พบว่าการติดตั้งแบบด้านเดียว ภาพที่ 9 (ก) มีค่าความสว่างเฉลี่ยต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการติดตั้งแบบด้านตรงข้าม ภาพที่ 9(ข) และด้านตรงข้ามสลับ ภาพที่ 9(ค) และเป็นค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนในการติดตั้งอีก 2 รูปแบบ มีค่าความสว่างเฉลี่ยเท่ากันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสามารถติดตั้งใช้งานได้ สำหรับค่าความสม่ำเสมอแสงของการติดตั้งทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าเพิ่มขึ้นและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอผลจากการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพความสว่างโดยวิธีการเปรียบเทียบระหว่างหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับหลอดไดโอดเปล่งแสง และทำการวิเคราะห์ปรับปรุงค่าความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงด้วยวิธีการปรับสูงเสาไฟถนนและลดระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน

- ในการจำลองเปรียบเทียบค่าความสว่างของหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด แสดงให้เห็นว่าค่าความสว่างเฉลี่ยของหลอดไดโอดเปล่งแสงยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูงอยู่ประมาณ 38% สำหรับในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง และ 50% ในกรณีถนนมีเกาะกลาง

- การปรับลดความสูงของเสาไฟถนนจากการจำลองพบว่า สามารถเพิ่มค่าความสว่างเฉลี่ยได้แต่ค่าที่ได้ก็ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่ดี ทั้งในกรณีถนนมีเกาะกลางและถนนไม่มีเกาะกลาง เมื่อพิจารณาที่ค่าความสม่ำเสมอแสงกลับมีค่าที่ลดต่ำลงซึ่งไม่เป็นผลดีนักเพราะว่าค่าความสม่ำเสมอแสงจากแบบเดิมก็ต่ำกว่ามาตรฐานอยู่แล้ว

- การปรับลดระยะห่างระหว่างเสาจากผลการจำลองพบว่าสามารถเพิ่มค่าความสว่างเฉลี่ยได้และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง เมื่อพิจารณาที่ค่าความสม่ำเสมอแสงพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

โดยภาพรวมแล้วการใช้วิธีปรับลดระยะห่างระหว่างเสาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความสว่างได้มากกว่าวิธีปรับลดความสูงเสาไฟถนน แต่ราคาต้นทุนในการติดตั้งก็เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากต้องติดตั้งจำนวนเสาไฟถนนที่มากขึ้นกว่าเดิม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดย ทุนวิจัยแผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน ปี 2557

เอกสารอ้างอิง

[1] วิชัย พยัคฆโส. (2543). *พลังงานเพื่อความเข้าใจ ใช้อย่างรู้ค่า พัฒนาสู่ความยั่งยืน.* สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). *Thailand Energy Statistics.* กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[3] The Effectiveness of Best Available Environment Technologies in ASEAN. (2557). ใน *การสัมมนา.* AMEICC Secretariat. BITEC. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[4] โคมไฟถนน LED. (2557). ใน *การสัมมนาและอภิปรายเชิงวิชาการ.* กรุงเทพฯ: อาคารนวัตกรรมศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บัวศรี ณ ห้องประชุมสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[5] Mary Matteson Bryan. (2008, December). *LED Street Lighting City of San Francisco, California*. Pacific Gas and Electric Company Emerging Technologies Program Application Assessment Report.

[6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.). (2555). การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโคมไฟถนนในประเทศไทย. ใน *รายงานผลกระทบเบื้องต้นและการประเมินศักยภาพการพัฒนาที่ยั่งยืน.* ปทุมธานี: การไฟฟ้าฯ.

[7] การไฟฟ้านครหลวง. (2557). *จัดทำโครงการวิจัยและทดลองติดตั้งโคมไฟฟ้าสาธารณะด้วยหลอด LED.* จาก http://www.mea.or.th/new/content/detail.php?mid=87&did=781&tid=&pid=

[8] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2557). *นำร่องเปลี่ยนโคมไฟถนนชนิด LED ณ เหมืองแม่เมาะ.* จาก http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=521:csrnews-20140210-02&catid=32&Itemid=169

[9] Li. Fusheng, Dahua Chen, Xianjie Song; and Yuming Chen. (2009). *LEDs: A Promising Energy-Saving Light Source for Road Lighting*. Power and Energy Engineering Conference. APPEEC 2009. Asia-Pacific. pp. 1-3.

[10] C. Rodrigues, P.S. Almeida, G.M. Soares, J.M. Jorge, D.P. Pinto, H. Braga, A C. (2011). *An experimental comparison between different technologies arising for public lighting: LED luminaires replacing high pressure sodium lamps*. Industrial Electronics (ISIE). IEEE International Symposium on, pp. 141-146.

[11] V.C. Bender, F.B. Mendes, T. Maggi, M.A. Dalla Costa; and T.B. Marchesan. (2013). *Design methodology for street lighting luminaires based on a photometrical analysis*. Power Electronics Conference (COBEP) Brazilian. pp. 1160-1165.

[12] Yi Luo, Xianpeng Zhang, Jiayao Liu, Changbo Zhou, Keyuan Qian; and Yanjun Han. (2008). *LED street lighting technologies with high human-eye comfortability*. Nano-Optoelectronics Workshop. i-NOW 2008. International. pp. 84-85.

[13] Kai Yang, Jidong Song, Yuqing Chen; and Bin Lin. (2011). *Secondary light distribution design for LED street light*. Electronics and Optoelectronics (ICEOE), 2011 International Conference on. 2: 378-381.

[14] Su-Chin Huang, Li-Ling Lee, Ming-Shan Jeng; and Yao-Ching Hsieh. (2012). *Assessment of energy-efficient LED street lighting through large-scale demonstration*. Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). 2012 International Conference on. pp. 1-5.

[15] D.R. Nuttall, R. Shuttleworth; and G. Routledge. (2008). *Design of a LED street lighting system Power Electronics*. Machines and Drives, 2008. PEMD 2008. 4th IET Conference on. pp. 436-440.

[16] W. Chen, S.N. Li; and S.Y.R. Hui. (2010). *A comparative study on the circuit topologies for offline passive light-emitting diode (LED) drivers with long lifetime & high efficiency*. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE. pp. 724-730.

[17] Y. K. Cheng; and K. W. E. Cheng. (2006). *General Study for using LED to replace traditional lighting Devices*. Power Electronics Systems and Applications, 2006. ICPESA '06. 2nd International Conference on. pp. 173-177.

[18] พุทธพร เศวตสกุลานนท์; และ จักราวุธ เดชวิเศษ. (ม.ป.ป.). *Automatic LED Street Lighting using Solar Energy.* ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[19] M. Ali, M. Orabi, E. Abdelkarim, J.AA Qahouq; and AE. Aroudi. (2011). *Design and development of energy-free solar street LED light system*. Innovative Smart Grid Technologies - Middle East (ISGT Middle East), 2011 IEEE PES Conference on. pp. 1-7.

[20] กรมทางหลวงชนบท. (2553). *คู่มือปฏิบัติงานก่อสร้างกรมทางหลวงชนบท.* กรุงเทพฯ: กระทรวงคมนาคม.