การศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากหลอดไดโอดเปล่งแสงของไฟถนน

STUDY AND ANALYSIS THE EFFECT OF HARMONICS NOISE IN LED STREET LIGHT

สัณฐิติ อยู่มาก[1] อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล[1] ศุลี บรรจงจิตร[2]*

***Suntiti Yomak[1]*,** Atthapol Ngaopitakkul[1], Sulee Bunjongjit[2]*

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[1]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[2]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin.

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ด้านพลังงานและคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบที่ใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนน และออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยทำการสร้างชุดทดลองวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อเปรียบเทียบกัน 3 วิธี ได้แก่ วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบในด้านพลังงานและคุณภาพกำลังไฟฟ้ากับระบบที่ไม่มีการติดตั้งวงจรกรอง เพื่อหาวงจรกรองฮาร์มอนิกที่เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีคุณภาพดี แต่อาจก่อให้เกิดฮาร์มอนิกแทนการใช้งานชุดขับหลอดที่คุณภาพสูงซึ่งมีราคาแพง เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายให้แก่ผู้ใช้งาน

คำสำคัญ: หลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนน ชุดขับหลอด สัญญาณรบกวน วงจรกรองสัญญาณรบกวน

Abstract

The purpose of this research is to study power characteristics of LED street lighting compared to High Pressure Sodium (HPS) lighting, analyze electrical harmonics using LED instead of HPS for street lighting system, and also design a filter to eliminate or reduce the disturbance caused by the LEDs driver in order to improve the power quality of the system. The main goal of the designed filter is to be used to ordinary LEDs street lighting driver to increase its performance to be equivalent as the high grade LEDs street lighting driver, which is generally much more expensive; this will reduce the cost of users.

Keywords: LED Street Lighting, Driver, Harmonics, Passive Filter

บทนำ

ในระยะเวลา 20 ปี ที่ผ่านมา (พ.ศ. 2533-2553) การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 4.4 อีกทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้ายิ่งนับวันยิ่งเพิ่มขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและอาคารธุรกิจ โดยหากในระยะ 20 ปีข้างหน้า ไม่มีมาตรการอนุรักษ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมและระบบขนส่งที่มีนัยสำคัญ ความต้องการพลังงานในกรณีปกติจะเพิ่มขึ้นจาก 71,000 ktoe (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) ต่อปี ในปัจจุบันเป็น 151,000 ktoe หรือประมาณ 2.1 เท่าของปัจจุบัน หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.9 ต่อปี ตามข้อตกลงระหว่างผู้นำประเทศของกลุ่มเอเปคเมื่อปี พ.ศ. 2550 ที่นครซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ได้มีการตั้งเป้าหมายให้มีการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความมั่นคงด้านพลังงานของภูมิภาค และเพื่อการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยการลด “ความเข้มการใช้พลังงาน” หรือปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP) ลงร้อยละ 25 ภายในปี พ.ศ. 2573 นั่นคือ ในปีดังกล่าวการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในภาพรวมของประเทศไทยจะต้องไม่เกิน 121,000 ktoe หรือต้องต่ำกว่าร้อยละ 20 ของความต้องการในกรณีปกติ [1-3]

หลอดไดโอดเปล่งแสงได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในระบบแสงสว่าง ลักษณะที่เด่นของหลอดไดโอดเปล่งแสงคือมีสเปกตรัมที่ไม่มีรังสียูวีและรังสีอินฟราเรดปนอยู่ในลำแสงซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการใช้งานของหน้าจอโฆษณา จนเมื่อไม่กี่ปีมานี้ หลอดไดโอดเปล่งแสงได้ถูกนำมาใช้แทนที่หลอดไฟสัญญาณในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความสว่างและประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดเผาไส้หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งหลอดไดโอดเปล่งแสงได้เริ่มมีการแทนที่หลอดเผาไส้ในหลายๆ การใช้งาน โดยเฉพาะงานที่ต้องการความทนทาน ความกะทัดรัด และการให้ทิศทางที่ถูกต้อง เช่น ไฟจราจร ระบบอัตโนมัติหน้าจอแสดงผลและแสงสว่างในสถานที่ที่แสดงสถาปัตยกรรม รวมถึงมีการเพิ่มประสิทธิภาพของการมองเห็นอีกมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองโดยใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 150 ลูเมน/วัตต์ สำหรับแหล่งกำเนิดแสงสีขาว โดยผลการทดลองพบว่าหลอดไดโอดเปล่งเปล่งแสงมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ถึง 2 เท่าและ 10 เท่า สำหรับหลอดเผาไส้ ดังนั้นจึงเป็นการประหยัดเมื่อใช้ในระบบส่องสว่างขนาดใหญ่ [4]

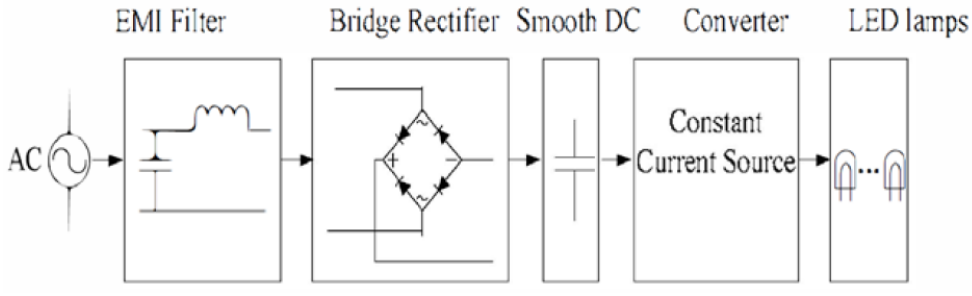
เนื่องจากในหลายประเทศทั่วโลกได้เริ่มมีการพัฒนาระบบไฟถนนโดยการเปลี่ยนการใช้งานจากหลอดชนิดโซเดียมความดันสูงมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงแทน และมีแนวโน้มในการหันมาให้ความสนใจในเรื่องหลอดไดโอดเปล่งแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [5] จึงได้มีการวิจัยและการศึกษาในประเด็นที่เกี่ยวข้องมากมายในช่วงหลายปีที่ผ่านมานี้ ได้แก่ ด้านการใช้พลังงาน ด้านคุณภาพทางแสงเปรียบเทียบกับระบบแบบเดิม และด้านสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน

ในด้านคุณสมบัติทางแสงในการใช้งานเปรียบเทียบกับระบบแบบเก่าที่ใช้หลอดโซเดียมความดันสูง [6] ในเรื่องของแสงที่หลอดไดโอดเปล่งแสงให้ออกมาเป็นโทนสีที่ดูแล้วสบายตากว่าหลอดโซเดียมความดันสูง เนื่องจากเป็นแสงโทนสีขาวและยังมีความสว่างต่อพื้นที่ใช้งานที่สูงกว่าอีก ทั้งยังมีงานวิจัยถึงประโยชน์ทางแสงในการใช้งานหลังการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง ตัวอย่างเช่น อิทธิพลของไฟถนนต่อการก่ออาชญากรรมในต่างประเทศ [7] จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแล้ว อัตราการเกิดอาชญากรรมหรืออุบัติเหตุต่างๆ มีการลดลง เนื่องจากความสว่างและโทนสีของแสงมีผลต่อการรับรู้ของผู้ขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น

ตามแผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งมีความหมาย 2 ประการ คือ (1) การประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และ (2) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหมายถึงการทำงานที่ได้ผลลัพธ์เท่าปกติแต่ใช้พลังงานน้อยกว่าปกติไม่ว่าจะเป็นการส่องสว่างการทำความเย็น การขนส่ง หรือการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในกระบวนการผลิต โดยที่การอนุรักษ์พลังงานมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงาน การลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน การลดต้นทุนการผลิตและบริการ ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อันเนื่องมาจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทุกวัน ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานจึงมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น

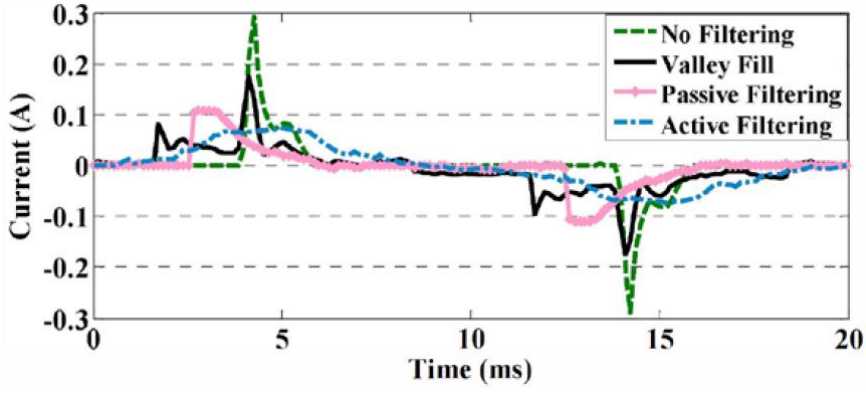
เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อระบบส่องสว่างนั้นคิดเป็นกว่า 20% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั่วโลก จึงทำให้รัฐบาลของหลายๆ ประเทศทั่วโลกได้ทำการสั่งเลิกใช้หลอดเผาไส้ที่มีประสิทธิภาพต่ำ [8] และในปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสงมีการพัฒนาก้าวหน้าขึ้นเรื่อยๆได้เริ่มมีการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้งานทดแทนการใช้งานหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS) ซึ่งนอกจากจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแล้ว อายุการใช้งาน คุณสมบัติทางแสง รวมไปถึงการประหยัดพลังงานที่มีมากกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเก่าซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่า [9] โดยจะเห็นได้ว่าผู้ว่าการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้เปิดตัวโครงการเปลี่ยนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ตามแนวถนนทั่วบริเวณเขื่อนศรีนครินทร์ เพื่อนำร่องเป็นต้นแบบในการอนุรักษ์พลังงาน และแสดงออกถึงความเป็นผู้นำด้านการอนุรักษ์พลังงานและการพัฒนาด้านพลังงาน โดยพร้อมให้ทุกเขื่อนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยไปดำเนินการศึกษาและทดลองติดตั้งหลอดพร้อมหลอดไฟถนนชนิดไดโอดเปล่งแสง ที่บริเวณเขื่อนศรีนครินทร์ โดยใช้งบประมาณจำนวน 1,500,000 บาท พร้อมทำพิธีเปิด เมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2555 ในงาน “เทศกาลความรักณ สันเขื่อนศรีนครินทร์” นอกจากนี้ยังมีโครงการนำร่องโดยการไฟฟ้านครหลวง [10] โดยได้จัดทำโครงการวิจัย และทดลองติดตั้งไฟสาธารณะด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสง ในเขตกรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมานี้ ซึ่งนอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้ในระดับหนึ่ง นายวรวุฒิ พรวรรนันท์ รองผู้ว่าการการไฟฟ้านครหลวง ได้เปิดเผยว่า จากการทดลองติดตั้งหลอดไฟฟ้าสาธารณะชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 140 วัตต์ แทนหลอดชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 60 เปอร์เซนต์ จากการใช้งานแบบเดิม หรือคิดเป็น 740 kWh ต่อปีต่อหลอด และยังมีอายุการใช้งานยาวนานถึง 50,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 10 ปี เมื่อคิดที่การใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งนอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานแล้ว ยังช่วยให้แสงสีขาวเสมือนจริง ซึ่งเพิ่มความชัดเจนในการมองเห็น ทำให้สามารถขับขี่ยานพาหนะได้อย่างปลอดภัย โดยขณะนี้ทางการไฟฟ้านครหลวงได้ติดตั้งหลอดไฟฟ้าสาธารณะชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงดังกล่าวที่ถนนพาหุรัด-ถนนตรีเพชร-ถนนจักรเพชร ซอยชิดลม และถนนเทศบาลสาย 1 (ใกล้โรงเรียนซางตาครูสคอนแวนท์) ในแผนที่จะติดตั้งเพิ่มเติมที่ถนนเยาวราชตลอดทั้งสายภายในปีนี้ต่อไป

หลอดไดโอดเปล่งแสงต้องการแหล่งจ่ายกระแสคงที่จากไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ แต่ต้องมีการใช้งานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ [11] จึงจำเป็นที่จะต้องทำการแปลงแรงดันและคงไว้ซึ่งกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่คงที่เพื่อจ่ายให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง วงจรบัค (Buck) วงจรบูส (Boost) และวงจรแปลงเรโซแนนซ์ต่างๆ ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับใช้จ่ายไฟให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง



ภาพที่ 1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากภาพที่ 1 เป็นบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าต่ำของหลอดไดโอดเปล่งแสง มีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220-240 โวลต์ ที่ความถี่ 50/60 เฮิรตซ์ ในส่วนของอีเอ็มไอฟิลเตอร์ มีไว้เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากการสวิตชิ่ง มีตัวเก็บประจุเพื่อทำให้กระแสไฟฟ้ามีความเรียบ ก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนของการคงที่กระแส ดีซี-ดีซี เมื่อโหลดมีพิกัดกำลังต่ำๆ เรื่องของการฉีดสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกนั้นไม่มีความเข้มงวดมากนัก ดังนั้นค่าของตัวประกอบกำลังอาจจะถูกพบและไม่ถูกพบในหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังไฟฟ้าต่ำ อย่างไรก็ตาม การที่จะลดซึ่งผลของฮาร์มอนิกและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสามารถทำได้ด้วยการใช้ วงจรกรองแบบพาสซีฟและวงจรกรองแบบแอคทีฟ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปคลื่นกระแสของหลอดไดโอดเปล่งแสงจากการใส่วงจรกรองแต่ละชนิด

จากการที่มีแนวโน้มในการเปลี่ยนการใช้งานจากหลอดโซเดียมความดันสูงมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง เนื่องจากหลอดไดโอดเปล่งแสงใช้งานไฟฟ้ากระแสตรงจึงจำเป็นต้องติดตั้งชุดขับหลอดที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่ง ทำให้เกิดฮาร์มอนิกรบกวนระบบ งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางแสงสว่างและความประหยัดพลังงานโดย การออกแบบสร้างชุดทดลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนในลักษณะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบไฟถนนซึ่งยังไม่ได้มีการวิจัยและศึกษาในประเด็นนี้เกิดขึ้นในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงทดแทนหลอดโซเดียมความดันสูง
2. เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน และใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ศึกษาและออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อช่วยลดฮาร์มอนิกรบกวนที่เกิดขึ้นจากชุดขับหลอดในการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงของไฟถนน
4. ใช้งานวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบเพื่อใช้งานกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีราคาไม่สูงแทนการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีราคาสูงเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย

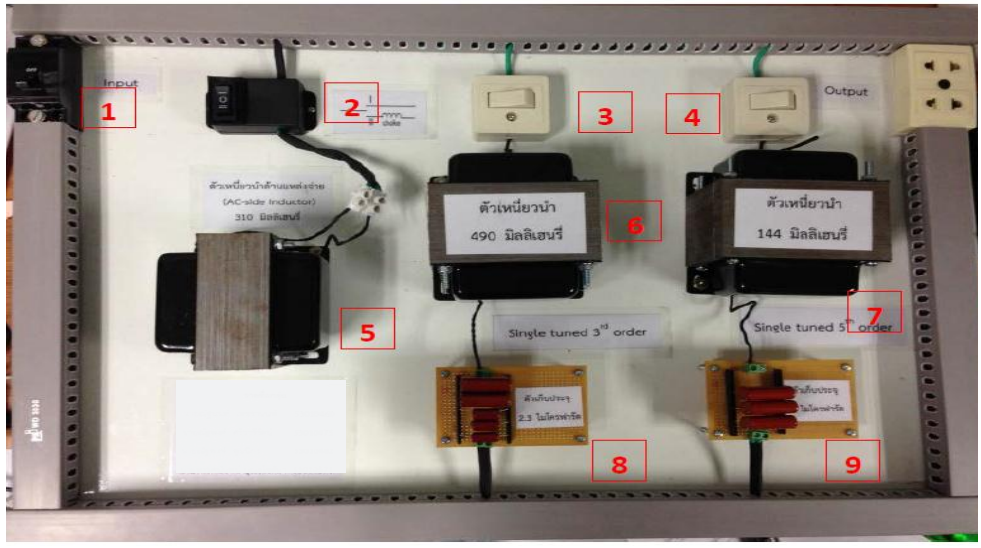
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการทดสอบชุดหลอดไฟเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจากการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแต่ละผู้ผลิต
3. เปรียบเทียบความแตกต่างในการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันสูง
4. นำผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้มาทำการวิเคราะห์และทำการศึกษาฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นเพื่อทำการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น
5. เปรียบเทียบความแตกต่างของราคาระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงคุณภาพสูงที่มีราคาแพงกับหลอดไดโอดเปล่งแสงคุณภาพต่ำที่ใช้งานร่วมกับวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบ

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบไว้

การทดสอบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบไว้มีวิธีการกรองฮาร์มอนิกที่ใช้ 3 รูปแบบ ได้แก่ วงจรกรองแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย วงจรกรองแบบจูนลำดับ 3 โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และวงจรกรองแบบจูนลำดับ 5 โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย แสดงดังภาพที่ 3 และรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง ดังตารางที่ 1 โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกในตารางที่ 2 และด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าจากชุดขับหลอดไฟถนนในตารางที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรกรองฮาร์มอนิกชุดต้นแบบ

ตารางที่ 1 รายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง

ลำดับ	อุปกรณ์ในการทดลอง
1	สวิตช์หลักสำหรับเปิด/ปิดวงจร
2	สวิตช์สำหรับใช้งานตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย
3	สวิตช์วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3
4	สวิตช์วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5
5	ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย 0.310 เฮนรี่
6	ตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง 0.490 เฮนรี่
7	ตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง 0.144 เฮนรี่
8	ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง 2.3 ไมโครฟารัด
9	ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง 3 ไมโครฟารัด
10	เต้ารับไฟฟ้าด้านขาออก

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ด้านความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกจากหลอดไดโอดเปล่งแสง

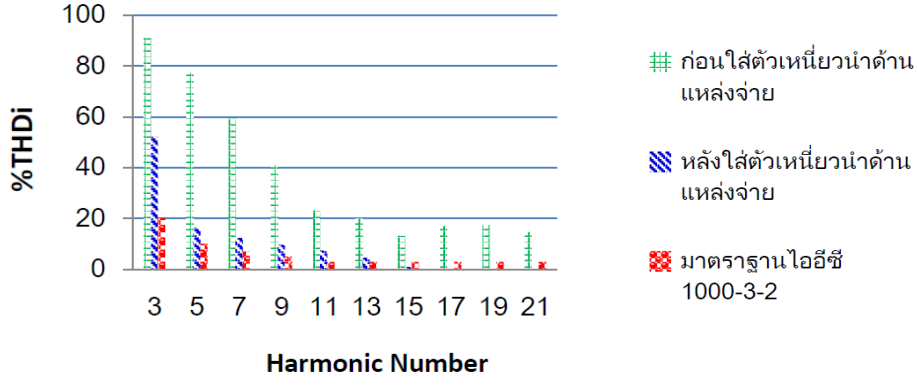
รูปแบบการทดลอง	THDi (%)	ขนาดฮาร์มอนิกเทียบค่าที่ความถี่หลักมูล (%f)				
		3	5	7	9	11
ขณะไม่ใส่วงจรกรอง	146.1	91.0	77.2	59.2	40.9	23.2
ใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	58.0	52.2	16.3	12.3	9.7	7.4
ใส่วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 และตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	13.7	12.9	3.5	2.1	0.6	1
ใส่วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 และตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	13.0	12.7	1.6	1.6	0.1	0.3

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ทางด้านกำลังไฟฟ้าของหลอดไดโอดเปล่งแสง

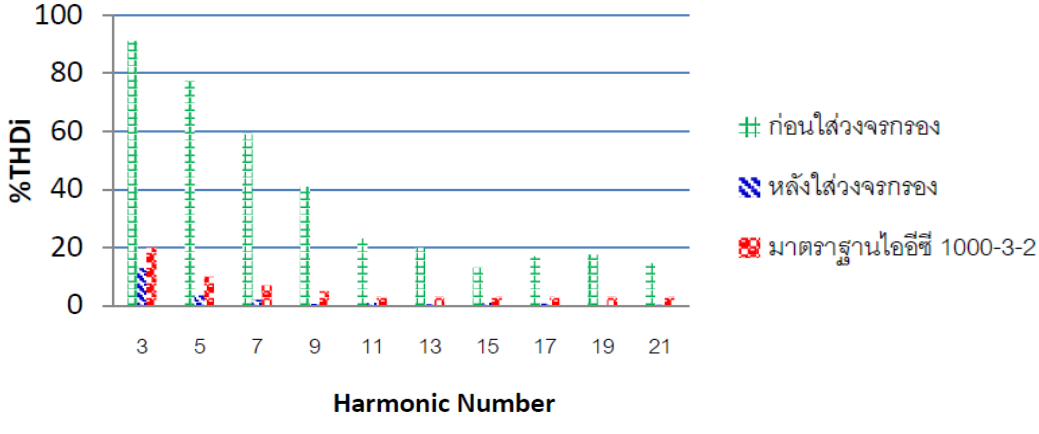
ข้อมูลที่วัดได้	หลอดไฟถนนขนาด 50 วัตต์			
	ก่อนใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก	หลังใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก		
		ใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	แบบจูนความถี่ลำดับที่ 3	แบบจูนความถี่ลำดับที่ 5
กำลังไฟฟ้าจริง (W)	30	29	34	36
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)	55	44	59	74
กำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR)	47	32	48	65
ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	50	50	50	50
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.54	0.67	0.59	0.49
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเชิงมุม	0.99	0.95	0.63	0.50
%ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิก	2.1	2	2	2
แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (V)	223.9	223.5	223.4	223.8
%ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก	146.1	58	13.7	13
กระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (A)	0.313	0.162	0.263	0.032

จากตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการวัดค่าฮาร์มอนิกในกรณีต่างๆ ที่ได้ทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรณี คือ กรณีไม่ได้ใส่ชุดวงจรกรองฮาร์มอนิก (Without Filter) กรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย (AC-side Inductor) กรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย (Single-tune 3rd order With AC-side Inductor) และกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำ ด้านแหล่งจ่าย (Single-tune 5th order With AC-side Inductor) จะเห็นว่าใน 2 กรณีแรก คือ กรณีที่ไม่ใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกกับกรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำ ด้านแหล่งจ่าย จะมีค่า THDi มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานกำหนดไว้

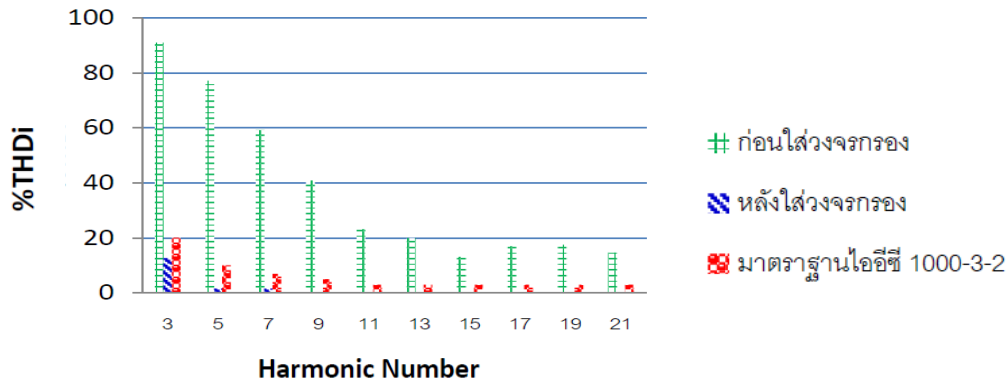
เมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEC1000-3-2 Class C สำหรับอุปกรณ์ส่องสว่าง และอุปกรณ์หรี่ไฟได้ โดยพบว่ากรณีที่มีค่า THDi สอดคล้องตามมาตรฐานมีอยู่เพียง 2 กรณี ได้แก่ กรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูน ความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายกับมาตรฐาน IEC 1000-3-2



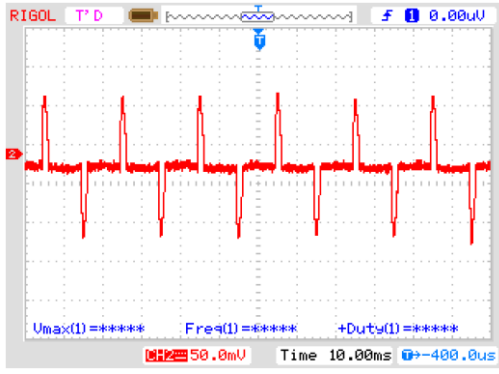
ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 กับมาตรฐาน IEC 1000-3-2



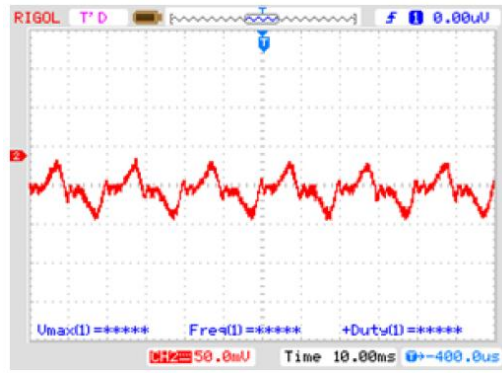
ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 กับมาตรฐาน IEC 1000-3-2

จากตารางที่ 3 ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ทางด้านกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการทดลองทั้ง 4 กรณี โดยเปรียบเทียบกรณีที่ไม่ได้ใส่ชุดวงจรกรองฮาร์มอนิก กับกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบหลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 และมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย แบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 และมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการใส่วงจรกรองเข้าไปจะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) กำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) เพิ่มขึ้นจากกรณีก่อนใส่วงจรก่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นแต่ในด้านความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกนั้นได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเป็นอย่างมากโดยวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายดังภาพที่ 4 พบว่ามีค่า THDi ยังไม่สอดคล้องตามมาตรฐาน IEC 1000-3-2 Class-C คือ ลดลงจาก 146.1% เหลือ 58% ส่วนวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบ จูนความถี่ลำดับที่ 3 แบบมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย ดังภาพที่ 5 และวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 แบบมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายดังภาพที่ 6 พบว่ามีค่า THDi สอดคล้องตามมาตรฐาน IEC 1000-3-2 Class-C คือ ลดลงจาก 146.1% เหลือเพียง 13.7% และในกรณีแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 และสำหรับในกรณีแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและมีค่า THDi สอดคล้องตามมาตรฐาน IEC 1000-3-2 Class-C คือ ลดลงจาก 146.1% เหลือเพียง 13% เท่านั้น

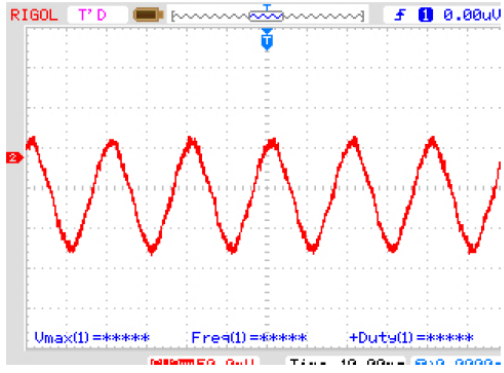
โดยรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของระบบที่ใช้ทดลองก่อนการติดตั้งตัวกรองและหลังการติดตั้งวงจรกรองแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย วงจรกรองแบบจูนลำดับ 3 โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และวงจรกรองแบบจูนลำดับ 5 โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายตามที่ได้ออกแบบไว้ แสดงไว้ดังภาพที่ 7



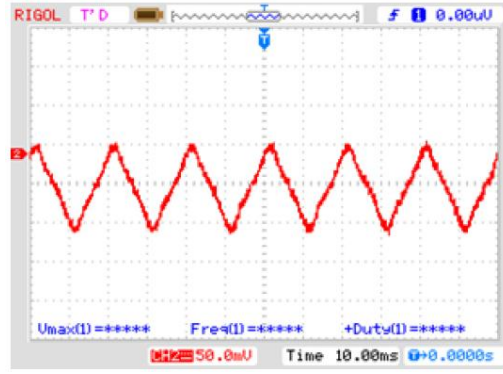
(ก) ก่อนใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก



(ข) หลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย



(ค) หลังใส่วงจรแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3



(ง) หลังใส่วงจรแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5

ภาพที่ 7 กระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีความเป็นสัญญาณไซน์มากขึ้น เมื่อเทียบกับภาพที่ 7(ก) ในกรณีไม่ใส่ตัวกรอง โดยรูปคลื่นกระแสในกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ภาพที่ 7(ง) ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย มีความใกล้เคียงสัญญาณไซน์ที่สุด และถัดมาเป็นกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 ภาพที่ 7(ค) ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และกรณีใส่วงจรแบบตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายภาพที่ 7(ข) ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

ในการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากการใช้งานชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง พบว่าชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่นำมาใช้งานแม้จะมีราคาถูก แต่มีคุณภาพกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ และมีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกสูงเกินจากมาตรฐานบริภัณฑ์ส่องสว่าง ไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) ชนิดซี อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหากนำมาใช้งานโดยไม่มีการแก้ไขใดๆ อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์ที่ต่อเชื่อมอยู่ในระบบไฟฟ้าเดียวกัน ทำให้เกิดพลังงานสูญเสีย

เนื่องมาจากประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำ รวมถึงอาจทำให้อายุการใช้งานของหลอดลดลง จึงจำเป็นต้องทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการใช้วงจรกรองฮาร์มอนิก

จากการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าด้วยวงจรกรองฮาร์มอนิกตามที่ได้ออกแบบไว้พบว่ามีคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น โดยมีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกลดลงจาก 146.1% เหลือเพียง 13% ซึ่งมีการลดลงมาได้มากถึง 133% ทำให้มีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกผ่านเกณฑ์มาตรฐานบริภัณฑ์ส่องสว่างตามไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) ชนิดซี จึงสามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่จำเป็นต้องกังวลถึงปัญหาอันเนื่องมาจากฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นอีก

ในด้านของการลงทุนในการเปลี่ยนแปลงการใช้งานไฟถนนจากหลอดโซเดียมความดันสูงมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้น ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกได้มีแนวโน้มในการหันมาให้ความสนใจกับการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงแทน เนื่องมาจากหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่า โดยให้แสงสว่างที่เทียบเท่าหลอดโซเดียมความดันสูงแม้จะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาก ดัชนีความถูกต้องของสีสูงกว่ามาก อายุการใช้งานยาวนานกว่า รูปร่างดูทันสมัย และมีน้ำหนักเบา ไม่ก่อให้เกิดมลพิษจากสารโลหะหนัก และเปิดใช้งานได้ไวกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงที่ต้องการเวลาในการอุ่นไส้หลอดนาน จึงสามารถสรุปได้ว่าแม้หลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีราคาสูงกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงมาก แต่เมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ระยะเวลาคืนทุนเมื่อเปรียบเทียบกันในระยะยาวแล้วหลอดไดโอดเปล่งแสงนับว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนใช้งานมากกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงเป็นอย่างมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยทุนวิจัยแผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน ปี 2556

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2557). *แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573)*. จาก http://www.eppo.go.th/index-T.html

[2] กัญจนี ญาณะชัย; ธีระวุฒิ คูหาเปรมะ; และ พวงมุกดา วายุภักตร์. (2552). การศึกษาการลดภาระความร้อนจากอุปกรณ์กันแดดภายนอกอาคารในพื้นที่หน้าต่างกระจก เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 1(2): 40-59.

[3] อาจรี ศุภสุธีกุล. (2557). การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).* 6(12): 106-113.

[4] M. Wendt; and J.-W. Andriesse. (2006). *LEDs in Real Lighting Applications: from Niche Markets to General Lighting*. In Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE. 5: 2601-2603.

[5] Remaking Cities Institute Pittsburgh. (2011). *LED Street Light Research Project*. Pennsylvania: n.p.

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

[7] Stephen Atkins, Sohail Husain; and Angele Storey. (1991). *The influence of street lighting on Crime and fear of crime*. Crime prevention unit paper no. 28. London: n.p.

[8] C. DiLoui. (2005). *Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity, Technology and Applications.* (1st ed.) Lilburn GA: The Fainnont Press.

[9] Bin-Juine Huang, Chun-Wen Tang; and Jia-Hong Wu. (2006). Study of System Dynamics of High-Power LEDs. In *Electronic Materials and Packaging.* EMAP 2006. International Conference on. pp. 1-6.

[10] การไฟฟ้านครหลวง. (2556). *โครงการทดลองติดตั้งไฟสาธารณะด้วยหลอด LED.* สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2557, จาก http://www.mea.or.th/new/content/detail.php?mid=87&did=781&tid=&pid=

[11] DMX tecnologias Team. (2556). *Comparison Chart HPS Vs. LED Street Lights*. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2556, จาก http://www.dmxledlights.com/OutdoorLighting/StreetLightsLU1/Comparison_HPS_vs_LED_Street_Lights.html