



ระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติ เพื่อเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงาน The LED Lighting Systems with Integrated Daylighting for Enhancing Energy Performance

ภูมิพัฒน์ กัคำ^{1*} และ บัณฑา อุนพานิช²

Phumiphat Kakham^{1*} and Bancha Ounpanich²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

422 ถนนมรุพงษ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

²ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

¹Program in Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
RajabhatRajanagarindra University,

422 Marupong Road, AmphurMuang, Chachoengsao, 24000, Thailand

²Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Bangkok 10330, Thailand

E-mail: kphumiphat@gmail.com, Telephone Number: 081 982 8808, Fax. Number: 038 568192

บทคัดย่อ

แสงธรรมชาติช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานของระบบแสงสว่าง กอปรกับหลอดแอลอีดีใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยเมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T8 บทความนี้นำเสนอระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงาน การทดลองดำเนินขึ้นเพื่ออธิบายลักษณะการกระจายแสงในห้องภายใต้สภาพภูมิอากาศจริง สูตรที่ได้จากการทดลองถูกนำเสนอสำหรับคำนวณปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีในฟังก์ชันของแสงธรรมชาติและความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการ สมรรถนะของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีประเมินจากความสว่างบนระนาบทำงาน และพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ผลการทดสอบพิสูจน์ว่าระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติสามารถรักษาความสว่างบนระนาบทำงานให้อยู่ในระดับที่ต้องการและลดปริมาณการใช้พลังงาน

ABSTRACT

Daylighting reduces the energy consumption of lighting system. In addition, Light Emitting Diode (LED) lamps require less energy consumption when compare with T8 fluorescent tubes. This paper presents the LED lighting systems integrated daylighting for enhancing energy performance. The experiments were conducted to characterize distribution of the interior illuminance under a real climate. A empirical formula was proposed for determining the power consumption of the LED lighting system as functions of daylight illuminance and desire illuminance. Performance of the LED lighting systems was evaluated in terms of the work plane illuminance and energy saving. The results proved that the LED lighting system was maintained the work plane illuminance at the desired level, and reduced the energy consumption.

1. บทนำ

การควบคุมระบบแสงสว่างอัตโนมัติช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน เช่น การใช้สวิตช์แสงควบคุมการเปิด/ปิดไฟอัตโนมัติ การใช้อุปกรณ์ควบคุมแสงอัตโนมัติชนิดปรับความสว่างตามแสงธรรมชาติ การใช้อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันให้คงที่ การใช้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว และการใช้ระบบบำบัดคุณภาพแสงสำหรับโรงแรม เป็นต้น ระบบอัตโนมัติต่าง ๆ ทำให้สมรรถนะด้านพลังงานของระบบแสงสว่างเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมความสว่างหลอดไฟฟ้าร่วมแสงธรรมชาติ[1] ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน แต่สำหรับห้องที่ต้องการแสงสว่างที่มีคุณภาพจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์วัดแสงแบบไร้สายจำนวนมากสำหรับวัดความสว่างบนระนาบทำงาน แต่อย่างไรก็ตามสามารถลดจำนวนเซ็นเซอร์ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) โดยที่ยังคงความแม่นยำของการวัดให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้[2] นอกจากนี้การหรีแสงหลอดแอลอีดีจากการตรวจรู้ตำแหน่งของบุคคลในห้อง[3] ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างได้อีกทางหนึ่ง

การทดสอบเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างด้วยการควบคุม 3 แบบ คือ (1) เปิดหลอดไฟฟ้าตลอดเวลา (2) เปิด/ปิดหลอดไฟฟ้าอัตโนมัติ เมื่อความสว่างในห้องสูงเกินกว่าที่ตั้งไว้ และ (3) หรีแสงจากหลอดไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยควบคุมความสว่างให้คงที่อยู่ในระดับที่ต้องการ ผลการวิจัยพบว่าการหรีแสงจะช่วยลดการพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการควบคุมแบบอื่น ในขณะที่ยังให้คุณภาพของการมองเห็นดีกว่าและผู้อยู่อาศัยไม่รู้สึถึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง[4]

ปัจจุบันหลอดแอลอีดีถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ทดแทนหลอดไฟฟ้าชนิดอื่น ด้วยข้อดีหลายประการ [5, 6] ได้แก่ (1) ประสิทธิภาพสูง สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่ำ และทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้าต่ำ (2) ขนาดกะทัดรัด และแข็งแรงทนทาน (3) น้ำหนักเบา แต่สำหรับหลอดแอลอีดีกำลังไฟฟ้าสูงอาจมีแผ่ระบายความร้อนขนาดใหญ่และ

น้ำหนักมาก (4) อายุการใช้งานนาน (25,000 ชั่วโมง ถึงมากกว่า 50,000 ชั่วโมง) สำหรับหลอดที่ออกแบบพิเศษอาจใช้งานได้ถึง 150,000 ชั่วโมง นอกจากนี้หลอดประกอบขึ้นจากแอลอีดีหลายดวง หากมีบางดวงเสีย จะยังมีแอลอีดีดวงอื่นที่ทำงานได้ (5) ให้แสงทันทีที่เปิดใช้งาน และไม่ต้องใช้เวลาคืนตัวใหม่ (No re-strike time) (6) ไร้สารปรอท (7) ให้ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง (8) สามารถออกแบบโคมไฟฟ้าแบบใหม่ ๆ ได้ (9) มีแสงสีให้เลือกหลากหลาย (10) หรีแสงง่ายและ (11) ไม่แผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต และรังสีอินฟราเรด จึงให้แสงสว่างที่ปราศจากความร้อน นอกจากนี้การที่หลอดแอลอีดีมีอายุการใช้งานนานจึงลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 41 ถึงร้อยละ 50[7]

หลอดแอลอีดีใช้ตัวขับ (Driver) จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้หลอดสว่าง ผลวิจัยเปรียบเทียบตัวขับทั้ง 3 แบบในห้องทดสอบที่ปรับอุณหภูมิจาก 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส พบว่าตัวขับแบบกำลังคงที่ ทำให้การส่องสว่างของหลอดแอลอีดีเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (-1.7%) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวขับกระแสคงที่ (-12%) และตัวขับแบบแรงดันคงที่ (+50%) [8] นอกจากนี้การปรังปรังตัวประกอบกำลังของตัวขับให้มีค่าสูงเป็นประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่ง ทำให้วงจรตัวขับต้องใช้เซ็นเซอร์กระแสและแรงดันสำหรับคำนวณค่าตัวประกอบกำลัง ในปัจจุบันวงจรตัวขับดังกล่าวสามารถออกแบบโดยไม่ใช้เซ็นเซอร์แรงดันหรือกระแสได้ [9,10]

หลอดแอลอีดีสามารถใช้กับตัวขับที่หรีแสงด้วยเทคนิคการควบคุมความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) ซึ่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้แก่หลอดแอลอีดี [11, 12, 13] ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดแอลอีดีจะส่งผลโดยตรงต่อฟลักซ์แสงสว่างของหลอด [14] การจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้แก่หลอดแอลอีดีทำให้อุณหภูมิของหลอดไม่เปลี่ยน สัญญาณ PWM ที่มีความถี่สูงในระดับกิโลเฮิรตซ์ ยังช่วยให้แสงหลอดแอลอีดีไม่กระพริบและทำให้สามารถควบคุมความสว่างได้หลายระดับ [12]

การหรี่แสงด้วยสัญญาณ P W M จึงเป็นวิธีที่สามารถลดความสว่างได้อย่างต่อเนื่องทำให้ผู้อยู่อาศัยไม่รู้สึกลถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความสว่าง ช่วยยืดอายุการใช้งานและลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดแอลอีดีมีผลกระทบต่ออายุการใช้งาน การจ่ายกระแสต่ำจะช่วยยืดอายุการใช้งาน และลดความเสี่ยงของหลอด ทำให้ฟลักซ์แสงสว่างลดลงไม่มากนักจากนี้อายุการใช้งานของหลอดแอลอีดีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของหลอดแอลอีดี ถ้าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีขณะทำงานสูงจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง และส่งผลให้ฟลักซ์แสงสว่างลดลง ดังนั้นระบบระบายความร้อนให้แก่หลอดแอลอีดีจึงมีสำคัญด้วยเช่นกัน [13]

บทความนี้นำเสนอระบบสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงาน สมรรถนะด้านพลังงาน (Energy performance) คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (กิโวลต์-ชั่วโมงต่อวัน) หรือร้อยละของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติที่วัดได้หรือคำนวณได้กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีที่เปิดใช้งานปกติ (ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติ)

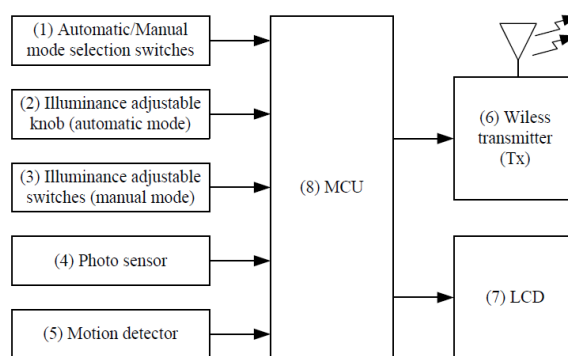
การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานของระบบแสงสว่าง การสร้างสูตรคำนวณปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างและศึกษาความสว่างบนระนาบทำงานในห้องทดลองที่มีหน้าต่างกระจกอยู่บนผนังทิศเหนือโดยไม่มีอุปกรณ์บังแดด เนื่องจากต้องการศึกษาระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติกรณีที่แสงธรรมชาติสามารถส่องสว่างเข้ามาในห้องต้นแบบได้อย่างเต็มที่ และ ไม่มีการประเมินดัชนีแสงแยงตา (Glare index) ตลอดจนความร้อนถ่ายโอนที่เกิดจากแสงธรรมชาติซึ่งเป็นภาระของระบบปรับอากาศ

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

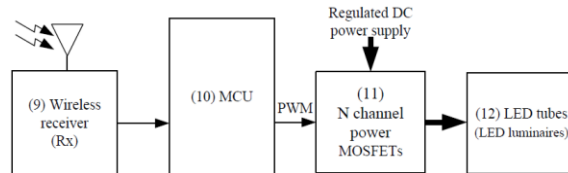
2.1 ระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติ

ระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติ (S-LED) เป็นระบบควบคุมแสงหลอดแอลอีดีอัตโนมัติ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดแอลอีดีจะแปรผกผันกับแสงธรรมชาติ จึงช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง และสามารถรักษาความสว่างบนระนาบทำงานให้มีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบแสงสว่างนี้ใช้อุปกรณ์ควบคุมความสว่างหลอดแอลอีดีที่ประกอบด้วยโมดูลส่งและโมดูลรับที่สื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย สามารถเลือกการทำงานได้ทั้งโหมดอัตโนมัติ (Automatic) และ โหมดปรับด้วยมือ (Manual) นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวเพื่อเปิด/ปิดไฟ ทำให้ประหยัดไฟฟ้าได้มากขึ้น หลอดแอลอีดีถูกควบคุมความสว่างด้วยเทคนิคการควบคุมความกว้างของพัลส์ที่มีความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติ



ก. โมดูลส่ง



ข. โมดูลรับ

รูปที่ 1 ระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติ

การทำงานของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีโคมอดอัตโนมัติ ผู้ใช้สามารถตั้งค่าความสว่างที่ต้องการที่โมดูลส่ง ความสว่างที่ตั้งค่าไว้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับระดับความสว่างที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดความสว่าง หากระดับความสว่างที่วัดได้ต่ำกว่า โมดูลส่งจะส่งคำสั่งเพิ่มระดับความสว่างไปที่โมดูลรับ ในทางกลับกันถ้าความสว่างที่วัดได้สูงกว่า โมดูลส่งจะส่งคำสั่งลดความสว่าง ดังนั้นความสว่างบนระนาบทำงานจะมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่ผู้ใช้ตั้งค่าไว้ โดยผู้ใช้สามารถตั้งความสว่างได้สูงสุด 1,000 ลักซ์ แต่โมดูลส่งสามารถวัดและแสดงระดับความสว่างได้สูงสุด 1,500 ลักซ์

การทำงานของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีในโคมอดปรับด้วยมือ ผู้ใช้สามารถตั้งความสว่างด้วยการปรับรอบการทำงานของสัญญาณ PWM ตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 โมดูลส่งจะไม่นำความสว่างที่วัดได้มาเปรียบเทียบและควบคุมความสว่างบนระนาบทำงาน

โมดูลส่งประกอบด้วย (1) สวิตช์เลือกโคมอดอัตโนมัติ/โคมอดปรับด้วยมือ (2) ตัวปรับความสว่างโคมอดอัตโนมัติ (3) ตัวปรับความสว่างโคมอดปรับด้วยมือ (4) เซ็นเซอร์วัดความสว่าง (5) ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหว (6) ภาควัดสัญญาณควบคุมไร้สาย (7) จอแอลซีดี และ (8) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC18F4550

โมดูลรับประกอบด้วย (9) ภาควัดสัญญาณควบคุมไร้สาย (10) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC18F4550 (11) อุปกรณ์สวิตช์ และ (12) หลอดแอลอีดี

เซ็นเซอร์วัดความสว่างออกแบบโดยใช้โฟโตไดโอดทำหน้าที่แปลงผันแสงที่ตกกระทบให้เป็นกระแสไฟฟ้า แล้วป้อนเข้าวงจร Transresistance amplifier เพื่อแปลงผันกระแสเป็นแรงดัน (I-V converter) และช่วยขจัดผลกระทบจากภาวะโหลด (Loading effect) ทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุต [15]

โฟโตไดโอดเป็นเซ็นเซอร์โซลิดสเตตที่ตรวจวัดได้แม่นยำ ราคาไม่แพง ขนาดเล็ก และใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย

โฟโตไดโอดที่ใช้เป็นเบอร์ BS520E0F มีผลตอบสนองความยาวคลื่นแสงครอบคลุมในช่วงความยาวคลื่นแสง 350 ถึง 820 นาโนเมตร อยู่ในช่วงที่ดวงตามนุษย์มองเห็น วงจรโฟโตไดโอดที่ใช้ต่อใช้งานในโคมอดโฟโตโวลตาอิก มีสัญญาณรบกวนต่ำ จึงสามารถวัดสัญญาณขนาดเล็กได้ ทำให้เหมาะที่ประยุกต์ใช้ในการวัด [15] ไม่มีกระแสมืด (No dark current) [16] จึงช่วยขจัดค่าความผิดพลาดจากเทอมของกระแสมืด และสัญญาณเอาต์เป็นเชิงเส้น ทำให้คำนวณแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นปริมาณแห่งการส่องสว่างได้ง่าย

ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวเป็นแบบ PIR (Passive infrared) ตรวจจับความเคลื่อนไหวจากรังสีอินฟราเรด หรือ ไพโรอิเล็กทริก (Pyro-electric) [17, 18] รังสีอินฟราเรดแผ่ออกมาในรูปของความร้อนจากมนุษย์หรือสัตว์เลือดอุ่นขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวทำหน้าที่ตรวจจับสิ่งมีชีวิตเพื่อเปิดหรือปิดไฟอัตโนมัติจึงช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

ภาควัดและส่งสัญญาณ ไร้สายที่เลือกใช้วงจร XBee-Pro สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมในย่านความถี่สูง 2.4 กิกะเฮิรตซ์ รับส่งสัญญาณในร่มได้สูงสุดประมาณ 100 เมตร และกลางแจ้งแบบ Line of sight ได้สูงสุดประมาณ 1,500 เมตร กำลังส่ง 60 มิลลิวัตต์ ทำงานได้ทั้งเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์ (Master) และสเลฟ (Slave) ด้วยโครงข่ายได้ 3 แบบ คือ แบบจุดต่อจุด (Point to point) แบบจุดต่อหลายจุด (Point to multipoint) และเข้ากันได้กับอุปกรณ์ตามมาตรฐานรหัส 802.15.4 [19] ในการพัฒนาระบบแสงสว่างนี้เลือกใช้โครงข่ายแบบจุดต่อจุด และอัตราการถ่ายทอดข้อมูล 115,200 บิตต่อวินาที

อุปกรณ์สวิตช์แปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงให้แก่หลอดแอลอีดีเป็นมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) เบอร์ 12N60 ทนกระแสไฟฟ้าได้ 12 แอมป์ แรงดัน 600 โวลต์ ซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เพียงพอสำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแอลอีดีจำนวน 6 หลอด ที่มีปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 120 วัตต์

หลอดแอลอีดีที่ใช้เป็นแบบ T8 ขนาด 18 วัตต์ผลิตจากชิปแอลอีดี SMD3258 ฝาครอบสีขาวขุ่น (Milky cover) ให้ฟลักซ์แสงสว่างประมาณ 1,800 ลูเมน อุณหภูมิสี 6,000-6,500 เคลวิน (Cool white) ดัชนีความถูกต้องสีมากกว่า 85 หลอดไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 40 โวลต์ กระแสประมาณ 0.5 แอมป์



รูปที่ 2 อุปกรณ์ควบคุมความสว่างหลอดแอลอีดี

รูปที่ 2 แสดงโมดูลส่ง (ซ้าย) โมดูลรับ (ขวา) และหลอดแอลอีดี (บน)

2.2 การทดสอบเพื่อหาปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า

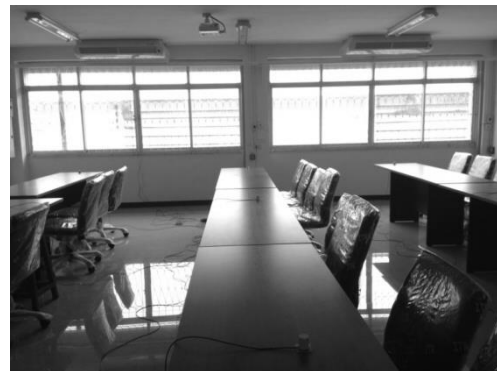
ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีทดสอบจากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับแสงธรรมชาติ หรือ $P_{in} = f(E)$ เพื่อใช้ในการสร้างสูตรคำนวณปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในฟังก์ชันของความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการ (E_{set}) กับแสงธรรมชาติ (E_{day}) หรือ $P_{in} = f(E_{day}, E_{set})$

การทดสอบนี้ต้องใช้ระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีจำนวน 2 ชุด ชุดหนึ่งเป็นการจำลองแสงธรรมชาติและอีกชุดหนึ่งเป็นระบบแสงสว่างทดสอบ โคมหลอดแอลอีดีจะถูกติดตั้งไว้บนเพดานในตำแหน่งใกล้กัน

ระบบแสงสว่างจำลองแสงธรรมชาติจะถูกตั้งให้ทำงานในโหมดปรับด้วยมือ ส่วนระบบแสงสว่างทดสอบจะถูกตั้งการทำงานไว้ในโหมดอัตโนมัติ โมดูลส่งของระบบแสงสว่างนี้จะถูกวางไว้ใต้โคมหลอดแอลอีดีและตั้งความสว่างบนระนาบทำงานไว้ที่ 100, 150, 200, 250 และ 300 ลักซ์

2.3 ห้องทดลอง

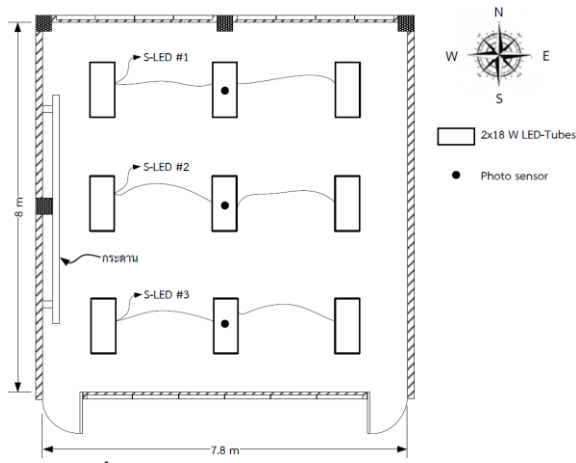
ห้องทดลองเป็นห้องเรียนผนังสีชมพูอ่อน เพดานสีขาว พื้นสีขาว ขนาดกว้าง 7.8 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 2.6 เมตร อยู่บนชั้นที่ 2 อาคารปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ (บางคล้า) หน้าต่างและประตูเป็นกระจกใสหนา 5 มิลลิเมตร ขอบประตูและหน้าต่างทำจากอะลูมิเนียม ผนังด้านทิศเหนือมีหน้าต่างแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนบนมีขนาดกว้าง 0.75 เมตร สูง 0.33 เมตร ส่วนล่างมีขนาดกว้าง 0.75 เมตร สูง 0.95 เมตร จำนวน 8 บาน ซึ่งเป็นด้านที่มีแสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามาในห้อง ดังรูปที่ 3 หน้าต่างผนังด้านนี้มีลูกกรงเหล็กติดตั้งไว้ ส่วนผนังด้านตรงข้ามอยู่ในแนวกึ่งกลางอาคาร ประกอบด้วยประตูขนาดกว้าง 0.9 เมตร สูง 1.8 เมตร จำนวน 2 บาน และหน้าต่างแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนบนกว้าง 0.9 เมตร สูง 0.2 เมตร จำนวน 8 บาน ส่วนล่างกว้าง 0.9 เมตร สูง 1.0 เมตร จำนวน 6 บานด้านทิศเหนือของห้องต้นแบบมีอาคารปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ตั้งอยู่ห่างออกไปประมาณ 6 เมตร และอาคารมีความสูงเท่า ๆ กัน



รูปที่ 3 ห้องทดลอง

รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งโคมไฟฟ้าและไฟโตเซ็นเซอร์ โคมไฟที่ติดตั้งเป็นแบบหลอดเปลือยติดเพดานขนาด 2×18 วัตต์ จำนวน 9 โคม แบ่งเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 3 โคม คือ กลุ่มชิดหน้าต่างทิศเหนือ (S-LED#1) กลุ่มแนวกึ่งกลางห้อง (S-LED#2) และกลุ่มชิดประตู (S-LED#3) ซึ่งโคมไฟแต่ละกลุ่มถูกควบคุมความสว่างด้วย

อุปกรณ์ควบคุมความสว่างหลอดแอลอีดี ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 4 ตำแหน่งโคมไฟฟ้าและโฟโตเซ็นเซอร์

2.4 ระบบวัดและบันทึกข้อมูล

การเก็บข้อมูลความสว่างบนระนาบทำงานและกำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างนี้ใช้ตัวลงบันทึกข้อมูล (Data logger) บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที ในช่วงเวลาตั้งแต่ 08:00 น. ถึง 17:00 น.

ความสว่างบนระนาบทำงานในห้องทดลองถูกวัดด้วยโฟโตเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัว วางบนโต๊ะที่สูงจากพื้น 0.75 เมตร บริเวณใต้โคมไฟฟ้าทั้ง 3 กลุ่มในแนวกึ่งกลางห้องดังรูปที่ 4

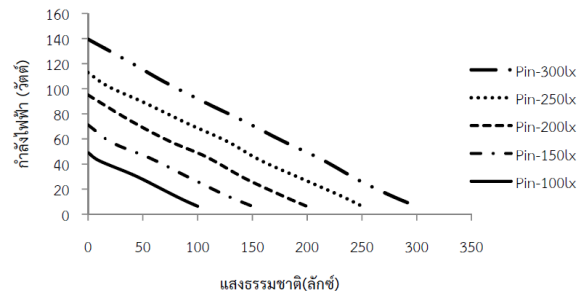
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง

รูปที่ 5 แสดงคุณลักษณะของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีรวมแสงธรรมชาติในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับความสว่างบนระนาบทำงาน 100, 150, 200, 250 และ 300 ลักซ์

กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างมีค่าแปรผกผันกับแสงธรรมชาติดังรูปที่ 5 โดยมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น เช่น เมื่อตั้งความสว่างบนระนาบทำงานไว้ที่ 300 ลักซ์ ระบบแสงสว่างจะใช้กำลังไฟฟ้า 139.49 วัตต์ ในขณะที่ไม่มีแสงธรรมชาติ โดยกำลังไฟฟ้านี้จะลดลงเมื่อแสงธรรมชาติเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีค่า 300 ลักซ์ หลอดแอลอีดี

จะดับ แต่ระบบแสงสว่างจะใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้วงจรเพื่อควบคุมการทำงาน 6.29 วัตต์ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 5 คุณลักษณะทางกำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง

การสร้างสูตรคำนวณปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในฟังก์ชันของความสว่างบนระนาบที่ต้องการกับแสงธรรมชาติด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple linear regression) จากรูปแบบสมการทั่วไป คือ

$$P_{in} = a_0 + a_1 E_{day} + a_2 E_{set} \quad (1)$$

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ด้วยเมตริกซ์จึงแทน E_{day} และ E_{set} ด้วย x_{1i} และ x_{2i} ตามลำดับสัมประสิทธิ์ a_0, a_1 และ a_2 หาค่าด้วยการแก้สมการเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares estimation) โดยสมการความผิดพลาด (E) ของข้อมูลจำนวนทั้งหมด n ข้อมูล ที่เบี่ยงเบนไปจากฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าในสมการที่ (1) คือ

$$E = \sum_{i=1}^n [P_{in} - (a_0 + a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \dots + a_k x_{ki})]^2 \quad (2)$$

ค่าต่ำสุดของความผิดพลาดใช้วิธีหาอนุพันธ์ย่อยเทียบกับสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า ทำให้ได้ระบบสมการย่อยจำนวน 3 สมการ คือ

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = 0, \frac{\partial E}{\partial a_1} = 0, \text{ and } \frac{\partial E}{\partial a_2} = 0 \quad (3)$$

เขียนระบบสมการที่ (3) ในรูปสมการเมตริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} \\ \sum_{i=1}^n x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{2i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n P_{in} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}P_{in} \\ \sum_{i=1}^n x_{2i}P_{in} \end{bmatrix} \quad (4)$$

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองและคำนวณได้ในตารางที่ 1 แทนค่าในระบบสมการที่ (4) แล้วแก้ระบบสมการเมทริกซ์จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ คือ $a_0 = 4.54872$, $a_1 = -0.43338$ และ $a_2 = 0.43604$

เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์ลงสมการที่ (1) จะได้สูตรคำนวณกำลังไฟฟ้าในฟังก์ชันของความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการและแสงธรรมชาติ คือ

$$P_{in} = 4.54872 - 0.43338E_{day} + 0.43604E_{set} \quad (5)$$

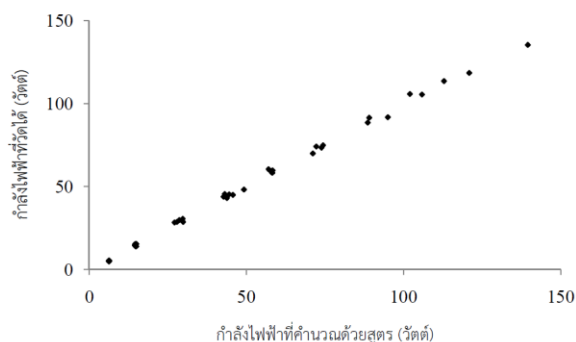
สมการที่ (5) เป็นสูตรคำนวณสำหรับระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีขนาด 18 วัตต์จำนวน 6 หลอด เมื่อทำงานเต็มที่ใช้กำลังไฟฟ้า (P_{max}) 135 วัตต์ สูตรคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คือ

$$P_{saving} = P_{max} - P_{in} \quad (6)$$

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างและข้อมูลสำหรับแทนค่าในสมการที่ (4)

i	X_{ji} (or E_{day})	X_{zi} (or E_{set})	P_{in}	$X_{ji} X_{ji}$	$X_{zi} X_{zi}$	$X_{ji} X_{zi}$	$X_{ji} P_{in}$	$X_{zi} P_{in}$
1	0	300	139.49	0	0	90000	0	41848.2
2	39	300	120.87	1521	11700	90000	4714.008	36261.6
3	69	300	105.83	4761	20700	90000	7301.925	31747.5
4	108	300	88.58	11664	32400	90000	9566.424	26573.4
5	143	300	73.89	20449	42900	90000	10565.555	22165.5
6	178	300	58.24	31684	53400	90000	10366.72	17472
7	213	300	43.81	45369	63900	90000	9330.678	13141.8
8	247	300	27.14	61009	74100	90000	6704.568	8143.2
9	277	300	14.63	76729	83100	90000	4052.51	4389
10	300	300	6.29	90000	90000	90000	1887.3	1887.3
11	0	250	112.84	0	0	62500	0	28210
12	18	250	102	324	4500	62500	1836	25500
13	51	250	89.04	2601	12750	62500	4541.04	22260
14	91	250	72.216	8281	22750	62500	6571.656	18054
15	127	250	58.023	16129	31750	62500	7368.921	14505.75
16	157	250	43.1	24649	39250	62500	6766.7	10775
17	196	250	27.924	38416	49000	62500	5473.104	6981
18	230	250	14.952	52900	57500	62500	3438.96	3738
19	250	250	6.432	62500	62500	62500	1608	1608
20	0	200	94.99	0	0	40000	0	18998
21	39	200	74.38	1521	7800	40000	2900.664	14875.2
22	74	200	58.32	5476	14800	40000	4315.976	11664.8
23	108	200	45.69	11664	21600	40000	4934.952	9138.8
24	143	200	28.66	20449	28600	40000	4098.094	5731.6
25	178	200	14.48	31684	35600	40000	2576.728	2895.2
26	200	200	6.21	40000	40000	40000	1242	1242
27	0	150	71.13	0	0	22500	0	10669.2
28	22	150	57.05	484	3300	22500	1255.122	8557.65
29	57	150	44.52	3249	8550	22500	2537.64	6678
30	91	150	29.75	8281	13650	22500	2707.25	4462.5
31	126	150	14.95	15876	18900	22500	1883.952	2242.8
32	150	150	6.32	22500	22500	22500	948.15	948.15
33	0	100	49.22	0	0	10000	0	4922
34	10	100	42.74	100	1000	10000	427.4	4274
35	45	100	29.89	2025	4500	10000	1345.05	2989
36	79	100	14.77	6241	7900	10000	1166.83	1477
37	100	100	6.32	10000	10000	10000	631.5	631.5
Σ	4116	8050	1894.677	728536	990900	1927500	135065.377	447658.65

รูปที่ 6 แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ (5) โดยเปรียบเทียบกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ด้วยโปรแกรมสเปคตริวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination หรือ R square) เท่ากับ 0.99797 หรือปริมาณกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากสูตรมีความใกล้เคียงกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ร้อยละ 99.79 และค่า Regression มากกว่าค่า Residual (ค่าความคลาดเคลื่อน) ถึง 17,188.6 เท่า ดังนั้นสูตรที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณปริมาณกำลังไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ก. กราฟ

Regression Statistics	
Multiple R	0.99898
R Square	0.99797
Adjusted R Square	0.99791
Standard Error	1.67392
Observations	37

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	48162.4	48162.4	17188.6	0.00000
Residual	35	98.0697	2.80199		
Total	36	48260.5			

ข. ค่าทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

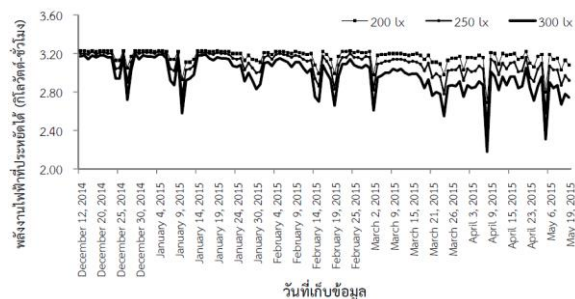
รูปที่ 6 กราฟและค่าทางสถิติของกำลังไฟฟ้าที่คำนวณด้วยสูตร(สมการที่ (5)) กับกำลังไฟฟ้าที่วัดได้

3.2 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้

กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คำนวณจากสมการที่ (6) โดยใช้ข้อมูลแสงธรรมชาติในห้องทดลองที่วัดได้และบันทึกไว้ทุก ๆ 1 วินาที ระหว่างเวลา 08:00 น. ถึง 17:00 น. ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.

2558 และกำหนดความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการไว้ 3 ค่า คือ 200 ลักซ์ 250 ลักซ์ และ 300 ลักซ์

กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้จะถูกคำนวณให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ในช่วงเวลา 08:00 น. ถึง 12:00 น. และ 13:00 น. ถึง 17:00 น. รวม 8 ชั่วโมง พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้แสดงดังรูปที่ 7 ถ้ากำหนดให้ ความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการไว้ที่ 300 ลักซ์ ระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 2 ถึง 3 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน



รูปที่ 7 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติในช่วงเดือนธันวาคม 2557 ถึง พฤษภาคม 2558 แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ (1) ฤดูหนาว ประมาณเดือน ธันวาคม ถึง กุมภาพันธ์ และ (2) ฤดูร้อน ประมาณเดือน มีนาคม ถึง พฤษภาคม

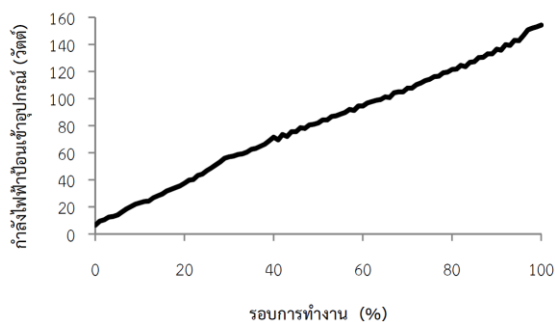
ช่วงฤดูหนาว ดวงอาทิตย์อ้อมโลกด้านทิศใต้ ทำให้แสงธรรมชาติสามารถสะท้อนอาคารข้างเคียงแล้วส่องสว่างผ่านหน้าต่างด้านทิศเหนือของห้องทดลองได้ดียิ่งขึ้น ผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เมื่อตั้งความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการทั้ง 3 ค่า (200 250 และ 300 ลักซ์) มีค่าใกล้เคียงกัน

ช่วงฤดูร้อนดวงอาทิตย์อ้อมโลกก่อนไปด้านทิศเหนือ ทำให้แสงอาทิตย์ตกกระทบกับผนังอาคารข้างเคียงด้วยมุมที่น้อย จึงสะท้อนเข้าสู่ห้องทดลองได้ระยะลึกที่น้อยกว่าช่วงฤดูหนาว จึงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

จากความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการทั้ง 3 ค่ามีผลแตกต่างกัน ดังเส้นกราฟในรูปที่ 7

3.3 ผลทดสอบระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดี

การทดสอบอุปกรณ์ควบคุมความสว่างหลอดแอลอีดีจำนวน 6 หลอด เลือกการทำงานโหมดปรับด้วยมือโดยปรับรอบการทำงานตั้งแต่ 0 ถึง 100 วัตต์กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าอุปกรณ์ได้ตั้งแต่ 7 วัตต์ ถึง 154 วัตต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 8



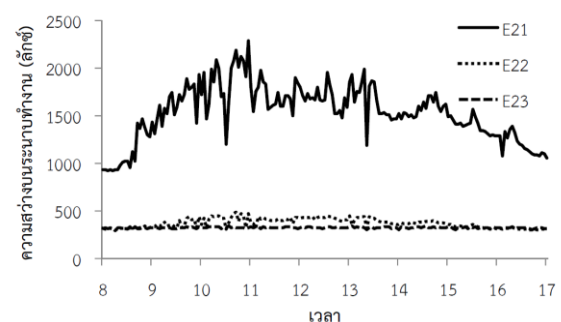
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานกับกำลังไฟฟ้า

การทดสอบระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีในห้องทดลอง เลือกการทำงานโหมดอัตโนมัติ และตั้งความสว่างบนระนาบทำงานที่โมดูลส่งทั้ง 3 ตัวไว้ที่ 300 ลักซ์ ผลการทดลองในวันที่ 22 พฤษภาคม 2558 พบว่าโคมหลอดแอลอีดีกลุ่มชนิดด้านหน้าต่างทิศเหนือ (S-LED #1) ไม่ทำงานตลอดทั้งวัน เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ส่องสว่างเข้ามาถึงบริเวณนี้มีค่ามากกว่า 300 ลักซ์ ดังเส้นโค้งแสดงความสว่างบนระนาบทำงาน (E21) ในรูปที่ 9 และโคมหลอดแอลอีดีกลุ่มนี้ใช้กำลังไฟฟ้า (P_S-LED#1) ประมาณ 7 วัตต์ ดังรูปที่ 10

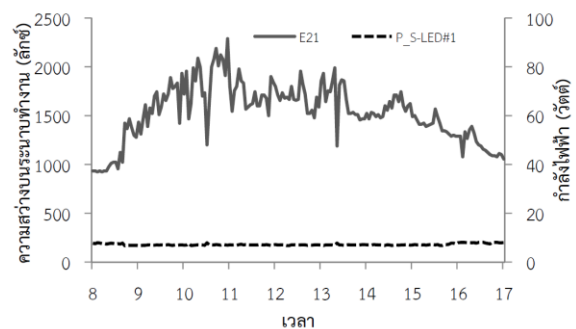
การทดสอบโคมหลอดแอลอีดีกลุ่มแนวกึ่งกลางห้อง (S-LED #2) พบว่าในวันที่ทดลองหลอดแอลอีดีทำงานในช่วง 08:00 น. - 08:40 น. และ 15:45 น. - 17:00 น. เพื่อชดเชยแสงธรรมชาติให้ความสว่างบนระนาบทำงานมีค่าไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์ ดังเส้นโค้งแสดงความสว่างบนระนาบทำงาน (E22) ในรูปที่ 11 แต่ในช่วงเวลา 08:40 น. - 15:45 น. เป็นช่วงที่แสงธรรมชาติมีค่าที่มากกว่า 300 ลักซ์ ทำให้หลอดแอลอีดีลดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าลง

ให้เหลือประมาณ 7 วัตต์ นอกจากนี้ในเวลา 10:30 น. และ 13:20 น. โคมหลอดแอลอีดีกลุ่มแนวกึ่งกลางห้องสามารถชดเชยความสว่างของแสงธรรมชาติให้ความสว่างบนระนาบทำงานไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์

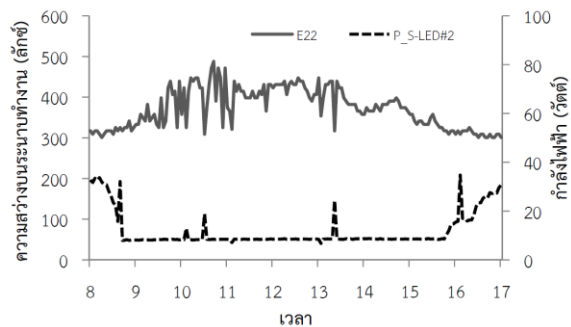
โคมหลอดแอลอีดีกลุ่มชนิดประตู (S-LED #3) เป็นกลุ่มที่ให้แสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมกับแสงธรรมชาติตลอดทั้งวัน และความสว่างค่อนข้างคงที่ที่ 300 ลักซ์ ดังรูปที่ 12 กำลังไฟฟ้าของโคมหลอดแอลอีดีกลุ่มชนิดประตูจะแปรผกผันกับแสงธรรมชาติ



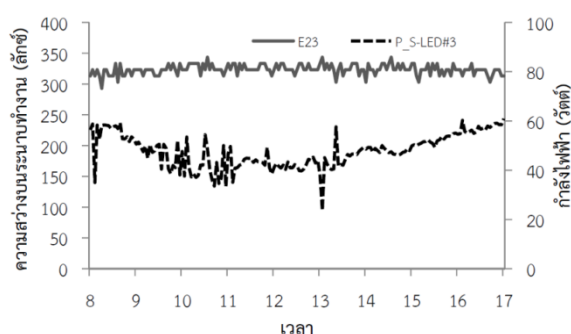
รูปที่ 9 ความสว่างบนระนาบทำงานได้โคมไฟทั้ง 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 10 ความสว่างบนระนาบทำงานและกำลังไฟฟ้าของโคมหลอดแอลอีดีกลุ่มชนิดด้านหน้าต่างทิศเหนือ

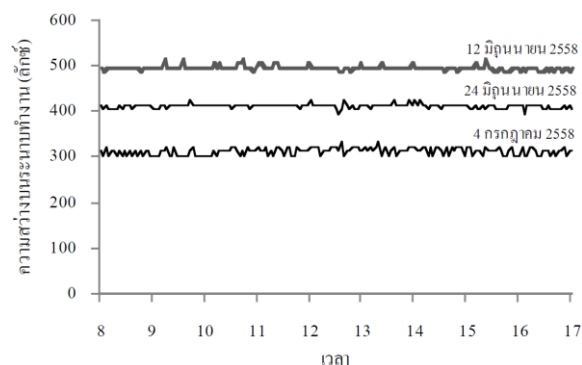


รูปที่ 11 ความสว่างบนระนาบทำงานและกำลังไฟฟ้าของ โคมหลอดแอลอีดีกลุ่มแนวกึ่งกลางห้อง



รูปที่ 12 ความสว่างบนระนาบทำงานและกำลังไฟฟ้าของ โคมหลอดแอลอีดีกลุ่มชิดประตู

รูปที่ 13 แสดงความสว่างบนระนาบทำงานได้โคม หลอดแอลอีดีกลุ่มชิดประตูซึ่งอยู่ห่างหน้าต่างมากที่สุด โคมหลอดแอลอีดีกลุ่มนี้สามารถรักษาความสว่างให้ไม่น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ คือ 300, 400 และ 500 ลักซ์ โดย ภาพรวมแล้วจะเห็นว่าระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วม แสงธรรมชาติสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ สามารถ รักษาความสว่างบนระนาบทำงานให้อยู่ในระดับที่ต้องการ



รูปที่ 13 ความสว่างบนระนาบทำงานได้โคมหลอดแอลอีดี กลุ่มชิดประตู

ตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

ระดับความสว่าง บนระนาบทำงาน (lx)	วันที่ทดลอง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ ประหยัดได้	
			kWh	%
500	10 มิถุนายน 2558	1.44	2.04	58.7
	11 มิถุนายน 2558	1.27	2.21	63.5
	12 มิถุนายน 2558	1.46	2.02	58.2
	13 มิถุนายน 2558	1.17	2.31	66.4
	15 มิถุนายน 2558	1.21	2.27	65.1
	ค่าเฉลี่ย	1.31	2.17	62.4
400	21 มิถุนายน 2558	0.87	2.61	75.0
	23 มิถุนายน 2558	0.94	2.54	72.9
	24 มิถุนายน 2558	0.89	2.59	74.3
	25 มิถุนายน 2558	0.82	2.66	76.5
	27 มิถุนายน 2558	0.93	2.55	73.4
	ค่าเฉลี่ย	0.89	2.59	74.2
300	28 มิถุนายน 2558	0.55	2.93	84.2
	29 มิถุนายน 2558	0.50	2.98	85.6
	4 กรกฎาคม 2558	0.58	2.90	83.3
	8 กรกฎาคม 2558	0.58	2.90	83.3
	10 กรกฎาคม 2558	0.59	2.89	83.1
	ค่าเฉลี่ย	0.56	2.92	83.9

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบในระหว่างเดือน มิถุนายนถึงกรกฎาคม 2558 โดยตั้งค่าความสว่างบน ระนาบทำงานไว้ที่ 500, 400 และ 300 ลักซ์ ตามลำดับ พบว่าระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติลด ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 60, 70 และ 80 ตามลำดับ เมื่อเปรียบกับหลอดแอลอีดีแบบ T8 ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 18 หลอด ที่เปิดตลอดเวลาใช้ กำลังไฟฟ้า 360 วัตต์ (รวมกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 2 วัตต์ต่อ หลอด) เปิดใช้วันละ 8 ชั่วโมง ระหว่าง 08:00 น.-12:00 น.

และ 13:00 น. - 17:00 น. คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 3.48 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

4. สรุป

สมรรถนะด้านพลังงานของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติถูกประเมินด้วยการทดลองและการคำนวณด้วยสูตรที่ได้จากการทดลอง ระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมกับแสงธรรมชาติสามารถควบคุมและรักษาความสว่างบนระนาบทำงานให้มีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ การนำแสงธรรมชาติมาใช้ส่องสว่างร่วมกับแสงหลอดแอลอีดีช่วยเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงาน ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง สูตรคำนวณปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในฟังก์ชันของความสว่างบนระนาบทำงานที่ต้องการกับแสงธรรมชาติที่นำเสนอในบทความนี้ใช้สำหรับประเมินปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีร่วมแสงธรรมชาติจากข้อมูลที่ได้จากการวัด นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้สูตรนี้กับโปรแกรมจำลองหรือวิเคราะห์แสงธรรมชาติภายในอาคาร เช่น Radiance, DOE-2, Daysim และ Energy plus เป็นต้น โดยนำข้อมูลความสว่างแสงธรรมชาติที่โปรแกรมคำนวณได้มาประเมิน

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า จะช่วยลดระยะเวลาในการศึกษาและประหยัดทรัพยากรในการศึกษาวิจัย การวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในกรณีที่แสงธรรมชาติสามารถส่องสว่างเข้ามาในห้องทดลองได้อย่างเต็มที่ จึงไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และไม่มีการประเมินดัชนีแสงแยงดา ในอนาคตคาดว่าจะดำเนินวิจัยต่อยอดโดยพัฒนาระบบแสงสว่างหลอดแอลอีดีที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์บังแดด ตลอดจนตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องทดลองที่ติดตั้งทั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ส่องสว่างเข้ามาในอาคารจะนำภาระความร้อนมาสู่ระบบปรับอากาศด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นผลการวิจัยส่วนหนึ่งของการวิจัยระบบแสงสว่างที่ใช้หลอดแอลอีดีทำงานร่วมกับแสงธรรมชาติเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารที่ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เอกสารอ้างอิง

- [1] Franzetti, C., Fraisse, G., and Achard, G. Influence of The Coupling Between Daylight and Artificial Lighting on Thermal Loads in Office Buildings. *Energy and Buildings*, 2004; 36, 117-126.
- [2] Gao, Y., Lin, Y., and Sun, Y. A Wireless Sensor Network Based on the Novel Concept of an I-Matrix to Achieve High-Precision Lighting Control. *Building and Environment*, 2013; 70: 223-231.
- [3] Pandharipande, A., and Caicedo, D. Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing. *Energy and Buildings*, 2011; 43: 944-950.
- [4] Tzempelikos, A., Ahtienitis, A. K., and Karava, P. Simulation of Façade and Envelope Design Options for a New Institutional Building. *Solar Energy*, 2007; 81: 1088-1103.
- [5] Almeida, A. D., Santos, B., Paolo, B., and Quicheron, M. Solid State Lighting Review-Potential and Challenges in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014; 34: 30-48.
- [6] Ryckaert, W. R., Smet, K. A. G., Roelandts, I. A. A., Gils, M. V., and Hanselaer, P. Linear LED Tubes versus Fluorescent Lamps: An Evaluation. *Energy and Buildings*, 2012; 49: 429-436.
- [7] Principi, P., and Fioretti, R. A Comparative Life Cycle Assessment of Luminaires for General Lighting for The Office-Compact Fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED)-A Case Study. *Journal of Cleaner Production*, 2014; 83: 96-107.

- [8] Huang, B. J., Chen, C. W., Ong, C. D., Du, B. H., and Hsu, P. C. Development of Constant-Power Driving Control for Light-Emitting Diode (LED) Luminaire. *Applied Thermal Engineering*, 2013; 50: 645-651.
- [9] Abd El-Moniem, M. S., Azazi, H. Z., and Mahmoud, S. A. A Single-Stage Voltage Sensorless Power Factor Correction Converter for LED Lamp Driver. *Alexandria Engineering Journal*, 2013; 52: 643-653.
- [10] Abd El-Moniem, M. S., Azazi, H. Z., and Mahmoud, S. A. A Current Sensorless Power Factor Correction Control for LED Lamp Driver. *Alexandria Engineering Journal*, 2014; 53: 69-79.
- [11] Lui, P. J., and Hsu, Y. C. Boost Converter with Adaptive Reference Tracking Control for Dimmable White LED Drivers. *Microelectronics Journal*, 2015; 46: 513-518.
- [12] Uddin, S., Shareef, H., and Mohamed, A. Power Quality Performance of Energy-efficient Low-watt LED Lamps. *Measurement*, 2013; 46: 3783-3795.
- [13] Krejcar, O., and Fischer, R. Smart Intelligent of Current Source for High Power LED Diodes. *Microelectronics Journal*, 2013; 44: 307-314.
- [14] Lan, S., Tan, C. M., and Wu, K. Methodology of Reliability Enhancement for High Power LED Driver, *Microelectronics Reliability*, 2014; 54: 1150-1159.
- [15] Franco, S. Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits. 3rd edition, NY: McGraw-Hill, 2002.
- [16] Texas Instrument. Application Bulletin : Designing Photodiode Amplifier Circuits with OPA128. Available [online]: <http://www.ti.com>.
- [17] Inex. เอกสารประกอบการใช้งาน XBee-Pro โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4GHz. กรุงเทพมหานคร, 2551.
- [18] Parallax. PIR Sensor. Available [online]: <http://www.parallax.com>
- [19] Inex. ZX-PIR โมดูลตรวจจับความเคลื่อนไหว, กรุงเทพมหานคร.