Research Article

Received: March 5, 2019; Accepted: May 24, 2019

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องเรียน : กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

An Energy Efficiency Improvement Opportunities of Lighting System in lecture rooms: A Case Study of Faculty of Science and Technology, Thammasat University

ธัญชนก หลำริ้ว, หฤทัย กลิ่นเพชร และธนาพล ตันติสัตยกุล*

สาขาวิชาสาขาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Tanchanok Lamrio, Haruethai Klinpet and Thanapol Tantisattayakul*

Department of Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องบรรยายด้วยหลอดแอลอีดีโดยใช้โปรแกรม DIALux ในการออกแบบ โดยประเมินความคุ้มค่าทางเศรษศาสตร์และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการประหยัดพลังงาน การสำรวจห้องบรรยาย 21 ห้อง พบว่ามีห้องบรรยายที่ผ่านมาตราฐาน 10 ห้อง จึงได้แบ่งแนวทางการปรับปรุงเป็น 2 แนวทาง คือ (1) ปรับปรุงทุกห้องบรรยาย และ (2) ปรับปรุงเฉพาะห้องที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่าพลังงานที่ประหยัดได้จากการเปลี่ยนหลอดไฟมีค่าประมาณ 15,585 kWh/year และ 4,914 kWh/year ซึ่งคิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 8.82 tCO_2e/year และ 2.78 tCO_2e/year ในแนวทางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทั้ง 2 แนวทางมีความคุ้มค่าทางเศรษศาสตร์ โดยมี NPV และ IRR เท่ากับ 387,515 บาท และ 96.3 % สำหรับแนวทางที่ 1 และ 122,201 บาท และ 96.0 % สำหรับแนวทางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ 1 อัตราการเพิ่มของอัตราค่าไฟ และปัจจัยที่ 2 การลดจำนวนชั่วโมงการใช้หลอดไฟ พบว่าปัจจัยที่มีผลในทางลบ คือการลดจำนวนการใช้หลอดไฟ ถ้าหากมีการใช้งานห้องบรรยายไม่ถึง 14.5 % ของจำนวนชั่วโมงที่ประมาณการไว้จะทำให้การลงทุนไม่คุ้มค่า

คำสำคัญ : อนุรักษ์พลังงาน; การลดก๊าซเรือนกระจก; ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์; โปรแกรม DIALux; หลอดแอลอีดี

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** thanapolosk@hotmail.com

doi: 10.14456/tstj.2020.105

Abstract

This research evaluated improvement options for the lighting system in lecture rooms in faculty of science and technology, Thammasat university, Rangsit Centre. The lecture rooms were surveyed and found that 11 rooms out of 21 rooms did not pass the standards regarding lighting system. The new lighting system using LED lamps was designed using DIALux program. Two options were evaluated in this research: option 1 – replacement with LED lamps in all the lecture rooms; and option 2 – replacement with LED lamps only in the lecture rooms that did not pass the standards. The energy savings and the environmental benefit in terms of greenhouse gas (GHG) reductions of each options were evaluated. In addition, an economic feasibility analysis was conducted to evaluate the practical implementation. The results showed that the energy conserved were 15,585 kWh/year and 4,914 kWh/year, and the estimated GHG reductions were 8.82 tCO_2e/year and 2.78 tCO_2e/year, for options 1 and option 2 respectively. In addition, both options were economically feasible with NPV = 387,515 THB and IRR = 96.3 % for option 1, and NPV = 122,201 THB and IRR = 96.0 % for option 2. The sensitivity analysis showed that the economic return is more sensitive to the operational hours of the lecture rooms than to the rate of increase in electricity rate. The implementation will not be economically feasible if the lecture rooms is used less than 14.5 % of the expected operational hours.

Keywords: energy conservation; greenhouse gas reduction; economic feasibility; DIALux; LED

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวัน และเป็นสิ่งสำคัญในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ การอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายละลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานแล้ว ยังสามารถช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย อาคารเป็นภาคส่วนที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูง และระบบแสงสว่างในอาคารเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสูงเป็นอันดับต้น ๆ [1] การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างควรคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานเป็นหลัก แสงสว่างที่เพียงพอและคุณภาพของแสงสว่างที่ดีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดการเกิดอุบัติเหตุและการสูญเสียต่าง ๆ จากสภาพที่ไม่ปลอดภัย การออกแบบระบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญ หลอดไฟชนิดไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดี (light emitting diode, LED) เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถให้ฟลักซ์การส่องสว่างที่สูงโดยใช้พลังงานน้อย จึงมีการนำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในระบบแสงสว่างได้ สัณฐิติ และอรรถพล ศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะทางแสงของหลอดแอลอีดีในระบบทางหลวง โดยจำลองระบบแสงสว่างเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างระหว่างโคมไฟชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS) ขนาด 250วัตต์ และโคมไฟชนิดหลอดแอลอีดี ขนาด 120 วัตต์ ที่พื้นผิวต่าง ๆ โดยใช้

โปรแกรม DIALux [2,3] ปฏิภาณ ศึกษาการใช้หลอดแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 เพื่อประหยัดพลังงานภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย การจำลองแสงสว่างโดยใช้โปรแกรม DIALux จำลองค่าความส่องสว่างของหลอดแอลอีดี และคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ต่ำกว่า 1 ปี [4] ชิดชนก และปุณณมี ศึกษาการใช้หลอดแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในโรงงาน และพบว่าหลอดแอลอีดีมีค่าใช้จ่ายรวมต่ำกว่าหลอดฟลูออเรส-เซนต์ [5] ผลงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าหลอดแอลอีดีมีประสิทธิภาพทางพลังงานที่ดีและมีความเหมาะสมทางเทคนิคในการใช้ทดแทนหลอดไฟฟ้าในระบบแสงสว่างรูปแบบเดิม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเหล่านี้ยังไม่ได้มีการวิเคราะห์ผลประโยชน์ในด้านอื่น เช่น ผลประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อมจากการประหยัดพลังงาน และไม่มีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (ยกเว้นงานวิจัยของ ปฏิภาณ [4] ที่มีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่ายด้วยระยะเวลาคืนทุน) ตลอดจนวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการดำเนินการจริง

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต มีอาคารเรียนขนาดใหญ่หลายอาคารที่มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณสูงและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ในปี พ.ศ. 2558 มีการใช้ไฟฟ้า 43,162 MWh และต่อมาในปี พ.ศ. 2559 ได้เพิ่มขึ้นเป็น 53,482 MWh [6] มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ได้ดำเนินการโครงการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องบรรยายโดยใช้หลอดแอลอีดีทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางตรงจากการประหยัดพลังงาน และผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในรูปของการลดก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการจริง โดยใช้ห้องบรรยายภายในอาคารเรียนและปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (บร.5) เป็นกรณีศึกษา

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการศึกษาเป็น 5 ขั้นตอน คือ (1) การสำรวจและรวบรวมข้อมูล (2) การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน (3) การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (4) การประเมินผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ (5) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแนวทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

2.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) ได้แก่ จำนวนและชนิดของหลอดไฟที่ติดตั้งอยู่ในห้องบรรยาย และข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) จากการรวบรวมเอกสาร แผนผังอาคารและห้องบรรยาย รายงานต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนชั่วโมงการใช้ห้องเรียน อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง ขนาดของห้องเรียน มาตรฐานค่าความส่องสว่างที่เกี่ยวข้อง

2.1.2 การสำรวจความสว่างของห้องบรรยาย

ตรวจวัดค่าความส่องสว่างของห้องบรรยายในปัจจุบัน โดยใช้วิธีวัดตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์วิธีดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับแสงสว่าง วิธีวัดใช้การวัดแสงเฉลี่ยทั่วไป และใช้เกณฑ์สำหรับห้องบรรยาย (300 lux) [7]

2.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสว่าง

ออกแบบระบบแสงสว่างใหม่โดยใช้โปรแกรม DIALux [8] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการออกแบบจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย [9] โดยในการออกแบบได้เลือกใช้หลอดไฟแอลอีดีทดแทนหลอดไฟเดิม

2.3 การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการปรับปรุง โดยสมการต่อไปนี้

$$E_{Baseline,i} = P_{old} \times H_i \quad (1)$$

$$E_{Project,i} = P_{\text{new}} \times H_i \quad (2)$$

$$\Delta E_i = E_{Baseline,i} - E_{project,i} \quad (3)$$

โดยที่ ΔE_i = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในเดือน i (kWh/เดือน); $E_{\text{Baseline, i}}$ = ค่าพลังงานไฟฟ้าในกรณีฐาน (พลังงานไฟฟ้าที่จะใช้หากไม่ได้เปลี่ยนหลอดไฟ) ในเดือน i (kWh/เดือน); $E_{\text{Project, I}}$ = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กรณีดำเนินโครงการ (มีการเปลี่ยนหลอดไฟ) ในเดือน i (kWh/เดือน); P_{old} = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟเก่าแต่ละชนิดคูณกับจำนวนหลอดที่ใช้งานในแต่ละห้องเรียน (kW); P_{new} = กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟใหม่แต่ละชนิดคูณกับจำนวนหลอดที่ใช้งานในแต่ละห้องเรียน (kW); h_i = จำนวนชั่วโมงการใช้งานของแต่ละห้องบรรยายในเดือน i (ชั่วโมง/เดือน) โดยคำนวณจากตารางเรียนของห้องบรรยายแต่ละห้อง ในภาคเรียนที่ 1, 2 และ 3

2.4 การประเมินผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก งานวิจัยนี้อ้างอิงระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (energy efficiency improvement for lightings) T-VER-METH-EE-01 [10] ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ซึ่งคิดจากการลดการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการใช้ไฟฟ้าลดลง โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

2.4.1 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (baseline emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่จะถูกปล่อยหากไม่ได้ดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$BE_{EL,y} = (\sum(N_{PJ,i,y} \times P_{PJ,i,y} \times H_{PJ,i,y}) \times 10^{-6}) \times EF_{Elec} \quad (4)$$

โดยที่ $BE_{EL,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี y หากไม่ได้มีการปรับปรุง (tCO_{e2}/year); EF_{Elec} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (tCO_{e2}/MWh); $N_{BL,i,y}$ = จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในในปัจจุบันชนิด i (ชุด); $P_{BL,i,y}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างชนิดที่ใช้ในปัจจุบันชนิด i (W/ชุด); $H_{PJ,i,y}$ = จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (หลังปรับปรุง) ในกลุ่ม i ในปี y (hour/year)

2.4.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (project emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่จะถูกปล่อยหากดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$PE_{EL,y} = (\sum(N_{PJ,i,y} \times P_{PJ,i,y} \times H_{PJ,i,y}) \times 10^{-6}) \times EF_{Elec} \quad (5)$$

โดยที่ $PE_{EL,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ (tCO2/year); EF_{Elec} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (tCO_{e2}/MWh); $N_{PL,i,y}$ = จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ชนิด i ในปี y (ชุด); $P_{PL,i,y}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ชนิด i ในปี y (W/ชุด); $H_{PJ,i,y}$ = จำนวนชั่วโมงการใช้งานของ

อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (หลังปรับปรุง) ในกลุ่ม i ในปี y (hour/year)

2.4.3 การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction)

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ERy = BEy - PE \quad (6)$$

โดยที่ ER_Y = การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี y (tCO_2e/year); BE_Y = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี y (tCO_2e/year); PE_Y = การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO_2e/year)

2.5 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.5.1 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

งานวิจัยนี้ใช้ตัวชี้วัด 3 ตัว ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (payback period, PB) ซึ่ง NPV และ IRR คำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{T}\left(\frac{CF_t}{(1+k)^t}\right) - I_0 \quad (7)$$

$$0 = \sum_{t=1}^{T}\left(\frac{CF_t}{(1+IRR)^t}\right) - I_0 \quad (8)$$

โดยที่ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท); IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (%); CF_t = ผลประโยชน์ของโครงการ หักลบด้วยค่าใช้จ่ายและ/หรือเงินลงทุนที่เกิดขึ้น ณ ปีที่ t (ถ้ามี) กรณีนี้ คือ ผลประโยชน์ในที่นี้ คือ ค่าไฟที่ประหยัดได้จากการเปลี่ยนหลอดไฟ (บาท/ปี); I_0 = เงินลงทุนเริ่มแรกในโครงการ กรณีนี้ คือ ราคาของหลอดไฟและค่าติดตั้งโคม (กรณีมีการติดตั้งเพิ่ม) (บาท); k = อัตราคิดลด (discount rate) (%) การศึกษานี้ให้อัตราคิดลด = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ (minimum loan rate, MLR) ณ ตุลาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งมีค่าประมาณ 6.7 % [11]; T = ระยะเวลาโครงการ (ปี) กรณีนี้จะประมาณจากอายุการใช้งานของหลอดไฟและจำนวนชั่วโมงการใช้งานของห้องบรรยาย ซึ่งมีค่า 9 ปี

CF_t ในสมการ (7) และ (8) คำนวณจาก $$CF_t = \sum_{i=1}^{12} Erate_i \times \Delta E_i \quad (9)$$

โดยที่ $Erate_i$ = อัตราค่าไฟเฉลี่ยของเดือน i (บาท/เดือน) การศึกษานี้ใช้อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนของของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ในปี พ.ศ. 2560 เป็นอัตราค่าไฟฟ้าในการคำนวณ และกำหนดให้เพิ่มขึ้น 3 % ต่อปีตลอดช่วงที่พิจารณา; ΔE_i = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในเดือน i (kWh/เดือน) จากสมการ (3); i = ดัชนีเลขเดือน; t = ดัชนีเลขปี

2.5.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis)

การศึกษานี้วิเคราะห์ความอ่อนไหวเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของผลตอบแทนโครงการเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร 2 ตัว ได้แก่ อัตราการเพิ่มของอัตราค่าไฟฟ้า และจำนวนชั่วโมงการใช้งานของหลอดไฟ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการรวบรวมข้อมูลตรวจวัดความส่องสว่างของห้องบรรยาย

การเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าห้องบรรยายในอาคาร บร.5 จำนวน 21 ห้อง สามารถแยกตามขนาดและผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็น 6 รูปแบบ (L1-L6) หลอดไฟที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดไฟชนิด T5 และ T8 โดยมีจำนวนในแต่ละห้องดังแสดงในตารางที่ 1 การตรวจวัดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานพบว่ามีห้องบรรยายที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 10 ห้อง ดังแสดงในรูปที่ 1

Table 1 Current status of lighting system in lecture room and designed system by DIALux

Room layout	Room numbers	Operating hours [h/year]	Current lighting system			Designed system by DIALux		
			T5 [36 W]	T8 [28 W]	illuminance	LED		illuminance
			Qty	Qty	[Lux]	Qty	W	[Lux]
L1	S301	1263	4	8	275.3	8	18	358
	S302	1144.5	4	8	266.75	8	18	358
	S310	1101	4	8	173.5	8	18	358
L2	S303	1211.5	8	16	282.83	10	18	346
L3	S304	1058	5	0	81.8	10	18	379
L4	S305	1216	6	16	147.63	10	18	363
	S306	1051	7	15	153.75	10	18	363
	S308	1109	8	15	154.54	10	18	363
	S309	1107	8	16	165	10	18	363
	S311	1150.5	6	16	178	10	18	363
	S312	1064	8	16	174.79	10	18	363
L5	S201	1202.5	0	36	381	18	16	329
	S202	1376	0	36	399.86	18	16	329
	S203	1382.5	0	36	311.47	18	16	329
	S204	1624.5	0	34	420	18	16	329
	S210	1679	0	36	356.58	18	16	329
	S211	1504	0	24	302.58	18	16	329
	S212	1214.5	0	24	371.91	18	16	329
L6	S102	1288.5	0	69	339.62	35	16	319
	S103	834	0	67	354.16	35	16	319
	S104	1159	0	70	339.62	35	16	319

3.2 การออกแบบระบบแสงสว่างใหม่

การตรวจวัดค่าความส่องสว่าง สามารถแบ่งแนวทางการปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 ปรับปรุงอุปกรณ์แสงสว่างทุกห้อง 21 ห้อง และแนวทางที่ 2 ปรับปรุงอุปกรณ์แสงสว่างเฉพาะห้องที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 11 ห้อง การออกแบบใช้โปรแกรม DIALux จำลอง (simulation) เพื่อคำนวณหาจำนวนหลอดไฟแอลอีดี (ตำแหน่งโคมไฟคงไว้ที่เดิม เพื่อไม่ให้กระทบต่อโครงสร้างสายไฟปัจจุบัน) ที่ทำให้ค่าความส่องสว่างภายในห้องบรรยายผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ 300 lux [12] รูปที่ 2 แสดงแผนผังและการออกแบบห้องบรรยายแต่ละชนิด ซึ่งจำนวนหลอดแอลอีดีในแต่ละห้องแสดงในตารางที่ 1

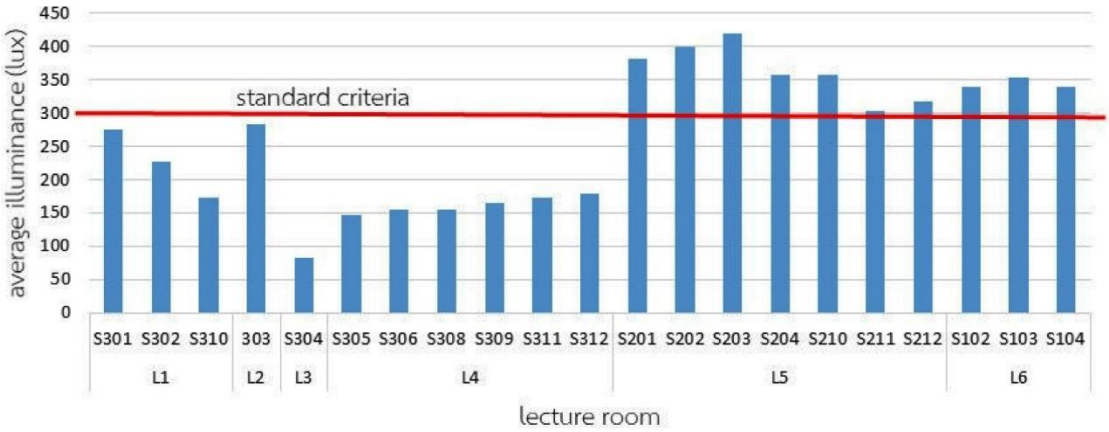
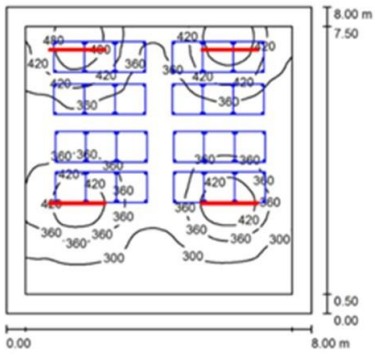
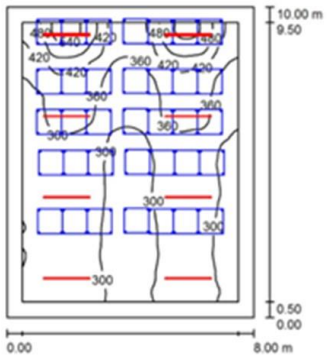


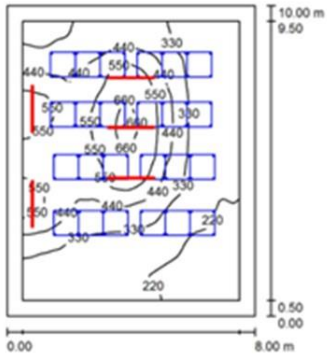
Figure 1 Average illuminance of the lecture rooms



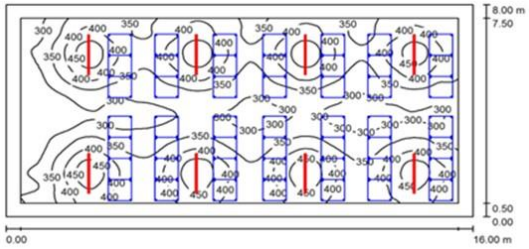
(a) L1-type-lecture room



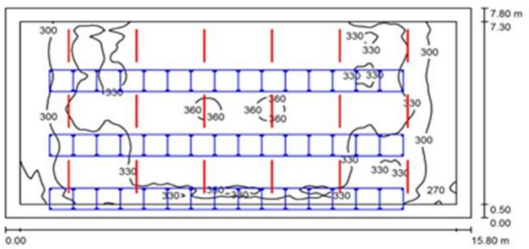
(b) L2-type-lecture room



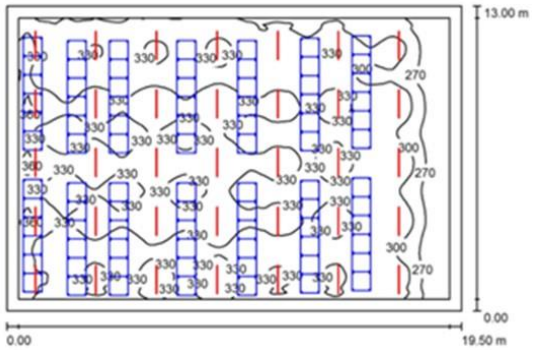
(c) L3-type-lecture room



(d) L4-type-lecture room



(e) L5-type-lecture room



(f) L6-type-lecture room

Figure 2 Layout and simulation results for lecture rooms by DIALux

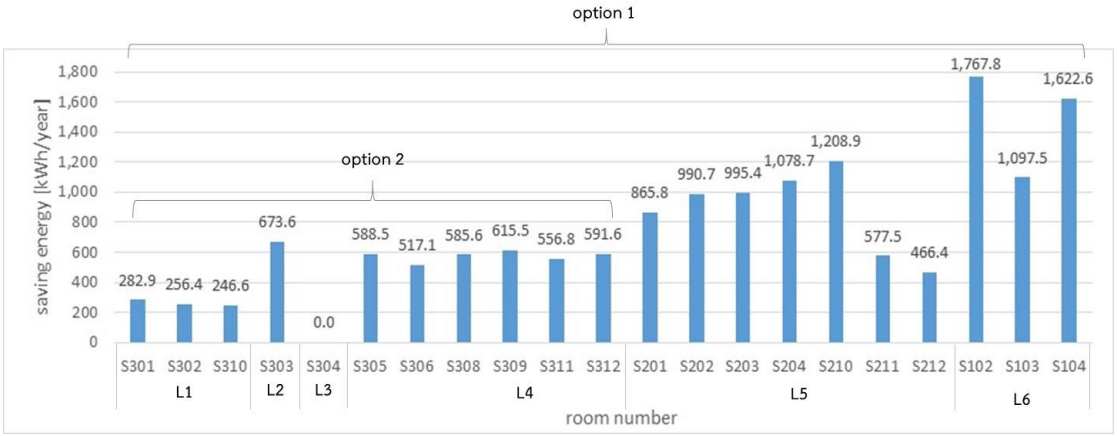


Figure 3 Energy saving

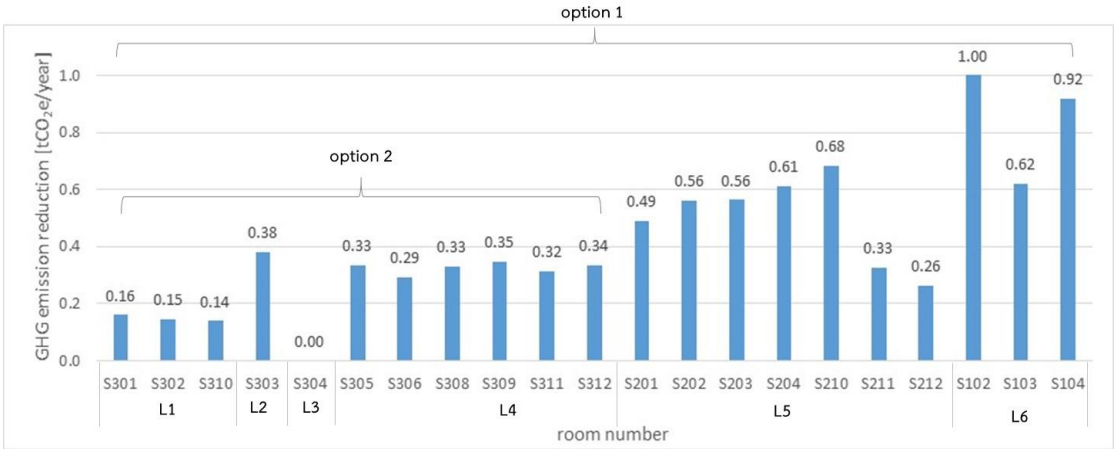


Figure 4 Greenhouse gas emission reduction from energy saving

3.3 ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ประหยัดได้จากการปรับปรุง

ข้อมูลหลอดไฟในปัจจุบัน หลอดไฟที่ได้จากการออกแบบและจำนวนชั่วโมงการใช้งานห้องบรรยาย สามารถประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดจากการปรับปรุงในแต่ละห้องดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าการปรับปรุงสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า 246-1768 kW/h ขึ้นกับขนาดของห้องและชนิดและจำนวนหลอดไฟในปัจจุบัน พลังงานที่ประหยัดได้ทั้งหมดของแนวทางที่ 1 (ปรับปรุงทุกห้อง) และแนวทางที่ 2 (ปรับปรุงเฉพาะห้องที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน) มีค่าประมาณ 15,586 และ 4,915 kWh/year ตามลำดับ

3.4 ผลการวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในระบบแสงสว่างแสดงอยู่ในรูปที่ 4 แนวทางที่ 1 และ 2 สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 8.83 และ 2.78 tCO_{2e}/year ตามลำดับ

3.5 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Table 2 Economic return from the improvement options

Improvement options	IRR	NPV (THB)	Payback period (PB)
Option 1: Implement in all the lecture rooms	96.3 %	387,515	1 year 25 days
Option 2: Implement only in the lecture rooms that do not pass the criteria	96.0 %	122,201	1 year 26 days

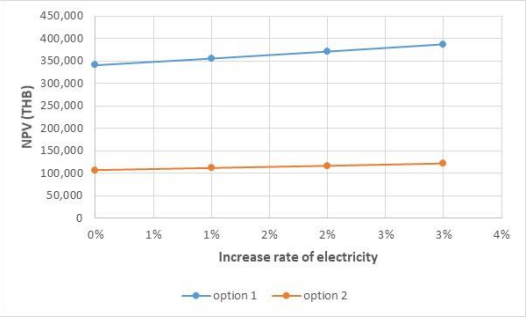


Figure 5 NPV at different increase rates of electricity tariff

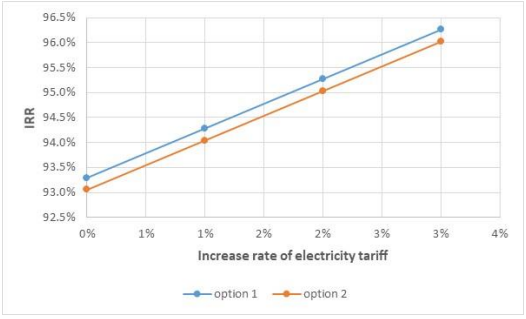


Figure 6 IRR at different increase rates of electricity tariff

3.5.1 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ สามารถนำมาวิเคราะห์หาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พบว่าทั้ง 2 แนวทาง มีระยะเวลาคืนทุนของโครงการที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 1 ปี 1 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นเมื่อเปรียบเทียบกับอายุการใช้งานของหลอดแอลอีดี ระยะเวลาคืนทุนในการศึกษานี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ ปฏิภาณ [4] IRR ของแนวทางที่ 1 และ 2 มีค่าประมาณ 96.3 และ 96.0 % ในทำนองเดียวกัน NPV ของแนวทางที่ 1 และ 2 มีค่าประมาณ 587,515 และ 122,201 บาท จาก IRR และ NPV พบว่าทั้งสองแนวทางมี IRR มากกว่า 6.7 % ซึ่งเป็นอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการในการศึกษานี้ และมี NPV มากกว่า 0 จึงสรุปได้ว่าทั้งสองแนวทางมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การที่ IRR ของทั้งสองแนวทางมีค่าใกล้เคียงนั้น เพราะว่าผลประโยชน์จากการประหยัดค่าไฟของทั้งสองแนวทางเมื่อคิดเปรียบเทียบกับเงินลงทุนในแต่ละแนวทางแล้ว มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน ทำให้อัตราผลตอบแทนในรูปเปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณา NPV แล้วจะพบว่าแนวทางที่ 1 มีค่ามากกว่าแนวทางที่ 2 ประมาณ 3 เท่าตัว เนื่องจากจำนวนหลอดไฟที่เปลี่ยนในแนวทางที่ 1 นั้นมากกว่าแนวทางที่ 2 ส่งมูลค่าเพิ่มจากการลงทุนตามแนวทางที่ 1 มากกว่าแนวทางที่ 2

3.5.2 ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยง

NPV และ IRR เมื่ออัตราการเพิ่มของอัตราค่าไฟเปลี่ยนไปแสดงอยู่ในรูปที่ 5 และ 6 จะเห็นได้ว่า NPV และ IRR ลดลงเมื่ออัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราค่าไฟลดลง อย่างไรก็ตาม แม้อัตราค่าไฟจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าที่ประมาณการไว้ (3 %) NPV ของทั้งสองแนวทางยังมีค่ามากกว่าศูนย์ และ IRR ยังคงมีค่ามากกว่า 6.7 % ตลอดช่วงที่พิจารณา ซึ่งแสดงว่าการลงทุนยังคงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แม้ในกรณี

ที่อัตราค่าไฟไม่เพิ่มขึ้นเลย (0 %) ดังนั้นสรุปได้ว่าอัตราการเพิ่มของค่าไฟไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบทางลบต่อผลตอบแทนของโครงการ

รูปที่ 7 และ 8 แสดง NPV และ IRR เมื่อการใช้งานหลอดไฟลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการคาดการณ์ ในรูปจะเห็นได้ว่า NPV และ IRR จะลดลงเมื่อมีการใช้งานหลอดไฟลดลงกว่าที่ประมาณการไว้ โดยการลงทุนทั้งสองแนวทางจะไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อีกต่อไปหากจำนวนชั่วโมงการใช้งานของหลอดไฟไม่ถึง 14.5 % ของที่ประมาณการไว้ อย่างไรก็ตาม โอกาสที่การใช้หลอดไฟ (การใช้ห้องบรรยาย) จะลดลงมากขนาดนี้เกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าจำนวนชั่วโมงการใช้งานของหลอดไฟเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบทางลบต่ออผลตอบแทนของโครงการต่ำ

4. สรุป

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในห้องเรียนของอาคารเรียนเรียนปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (บร. 5) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ด้วยโปรแกรม DIALux สามารถแบ่งแนวทางการปรับปรุงเป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 ปรับปรุงอุปกรณ์แสงสว่างทุกห้องและแนวทางที่ 2 ปรับปรุงอุปกรณ์แสงสว่างเฉพาะห้องที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน การออกแบบโดยใช้โปรแกรม DIALux จำลอง (simulation) ค่าความส่องสว่างในแต่ละห้องเมื่อใช้หลอดไฟแอลอีดีโดยให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ 300 lux ผลการศึกษาพบว่าพลังงานที่ประหยัดได้จากการเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอดไฟแอลอีดีมีค่าประมาณ 15,585 และ 4,914 kWh/Year ซึ่งคิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 8.82 และ 2.78 tCO_2e/year ในแนวทางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการลงทุนมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ทั้ง 2 แนวทาง โดยแนวทางที่ 1 มี NPV 387,515 บาท และ IRR 96.3 % และแนวทางที่ 2 มี NPV 122,201 บาท และ IRR 96.0 % การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลตอบแทนต่อปัจจัย (1) อัตราการเพิ่มของอัตราค่าไฟ และ (2) จำนวนชั่วโมงการใช้หลอดไฟ พบว่าปัจจัยที่มีผลในทางลบ คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งานหลอดไฟ โดยหากจำนวนชั่วโมงการใช้หลอดไฟลดลงจนไม่ถึง 14.5 % ของจำนวนชั่วโมงที่ประมาณการไว้จะทำให้การลงทุนไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่างด้วยการเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอดแอลอีดีเป็นโครงการที่ช่วยอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีความเสี่ยงในการลงทุนต่ำ แนวทางการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับอาคารเรียนอื่นภายในมหาวิทยาลัย หรืออาคารในหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีความสนใจ

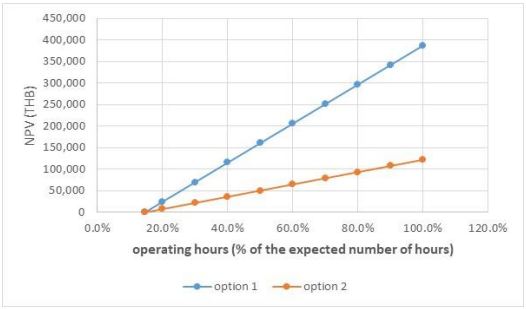


Figure 7 NPV at different operating hours

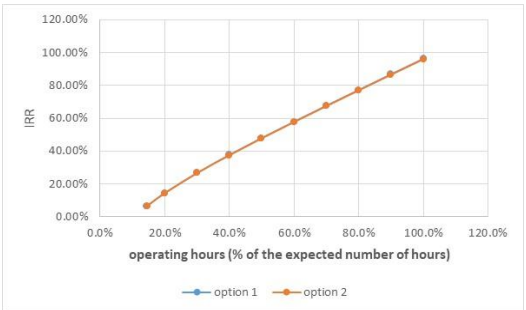


Figure 8 IRR at different operating hours

5. References

[1] Coordinating Center for Energy Conservation Building Design, Department of Alternative Energy Department and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand, 2017, Guidelines for Building Design for Energy Conservation, Available Source: http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/ files/ guidelinrBEC2017. pdf, October 9, 2018. (in Thai)

[2] Yoomak, S. and Ngaopitakkul, A., 2015, Study and analysis luminescence characteristics of light-emitting diode for the highway, Srinakharinwirot Univ. J. Sci. Technol. 7(14): 40-52. (in Thai)

[3] Yoomak, S. and Ngaopitakkul, A., 2017, The study and analysis of lighting quality of road lighting system based on application in different road surface properties, Srinakharinwirot Univ. J. Sci. Technol. 9(17): 137-149. (in Thai)

[4] Kerdlap, P., 2017, The design and installation of illumination system for energy saving by using LED lamp of fluorescent T8: Faculty of Engineering, Eastern Asia University, EAU Heritage J. Sci. Technol. 11(1): 140-147. (in Thai)

[5] Prasopsuk, C., Sachakamol, P., 2012, Energy conservation by LED replacement Case Study: Taching Cotton Ltd., pp. 1091- 1095, Proceeding of IE Network Conference 2012, Phetchaburi. (in Thai)

[6] Thammasat University, Rangsit Campus Electricity Usage, Available Source: http://sustainable.tu.ac.th/energy-and-climate-change/electricity-usage-rangsit-campus, October 9, 2018.

[7] Department of Labour Protection and Welfare, 2018, Proclamation of Department of Labour Protection and Welfare: Rules for Measurement Methods and Analysis of Working Conditions Regarding the Level of Heat, Light or Sound, as Well as the Duration and Type of Business to be Performed, Available Source: http://legal.labour.go.th/2018/images/ law/ Safety2554/ 3/ s_1018. pdf, October 9, 2018. (in Thai)

[8] DIALux, Available Source: https://www.dial.de/en/company, September 2, 2018.

[9] Baloch, A.A., Shaikh, P.H., Shaikh, F., Leghari, Z.H., Mirjat, N.H., Uqaili, M.A., 2018, Simulation tools application for artificial lighting in buildings, Renew. Sust. Energ. Rev. 82: 3007-3026.

[10] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2016, Thailand Voluntary Emission Reduction Methodology (Energy Efficiency Improvement for Lightings), Available Source: http://ghgreduction.tgo.or.th/tver-method/tver-methodology-for-voluntary-greenhouse-gas-reduction/ee/ item/444-energy-efficiency, October 1, 2018. (in Thai)

[11] Bank of Thailand, Loan Interest Rate, Available Source: http://www.bot.or.th/

thai/statistics/financialmarkets/interestrate/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx, October 1, 2018.

[12] Knowledge Base DIALux 4, Lumen Method, Available Source: https://dialux4.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000078303-lumen-method, October 1, 2018.