การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก : กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก

Economic Analysis of Lighting Replacement for Reduce Greenhouse Gas Emissions : Case Study of The Explosive Division, Ordnance Industries Centre, Ordnance Corps

การุณย์ ชัยวณิชย์[1] กิตติชัย ช้างน้อย[2] สงขลา ไพศาลสุขะกุล[3]
ธีรวัต กุลสุวรรณ[4] กิตติศักดิ์ พิมพ์ขัน[5*] เขมชาติ ขนุนทอง[6]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
E-mail : pimkunkittisak@gmail.com*

Karun Chaivanich [1] Kittichai Changnoi[2] Songkhla Paisansukhakul[3]
Teerawat Kulsuwan[4] Kittisak Phimkan[5*] Khemchat Kanunthong[6]
[1]Department of Industrial Engineering, The Ordnance Engineering, Chulachomklao Royal Military Academy
E-mail : pimkunkittisak@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก หลังจากได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างและประเภทหลอดไฟพบว่ามีการใช้หลอดไฟทั้งหมด 577 ชุด เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ทั้งหมด เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน(Baseline Scenario) พบว่ามีค่าเท่ากับ 143,736.50 บาท, 22.10 tCO_2eq ต่อปี ตามลำดับ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟที่ใช้เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า เกิดการสูญเปล่าน้อยที่สุดจากการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยการเลือกใช้หลอด LED (Light emitting Diode) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาสำหรับการให้แสงสว่างทดแทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซ็นต์ ในการดำเนินโครงการ(Project Scenario) จะเป็นการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 เป็นหลอด LED ทั้ง 577 ชุด ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีจากการดำเนินโครงการมีค่าเท่ากับ 56,153.32 บาท, 8.65 tCO_2eq ต่อปี ตามลำดับ สามารถลดค่าไฟฟ้าที่ใช้ลงได้ 87,583.18 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 60.93 และสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 13.45 tCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 60.86 เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินโครงการมีค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR), ระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 1,139,076.02 บาท, 73.43%, 1.46 ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการดำเนินโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, กรณีฐาน, การดำเนินโครงการ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

The purpose of this research aimed to study energy efficiency by modified lighting equipment to reduced greenhouse gas emissions case study of The explosive division, ordnance industries centre, ordnance corps. Data were collected on the electrical energy consumption of lighting devices and lamp types. It was found that all of 577 lamps were fluorescence T8 types, when calculated the electricity cost and the amount of greenhouse gas emissions from the baseline scenario per year, there were 143,736.50 baht and 22.10 tCO_2eq respectively. So, all of T8 fluorescence types were changed to improve the efficiency of energy usage that achieved through the used of appropriate technology by choosing LED (Light Emitting Diode) lamps; a technology developed for lighting instead of fluorescent lamps. In this project, all 577 sets of T8 fluorescent lamps were replaced with LED lamps. The result found that electricity cost and greenhouse gas emissions from the project were 56,153.32 baht and 8.65 tCO_2eq, respectively. It was reduced the electricity cost by 87,583.18 baht, or 60.93%, and can reduced the amount of greenhouse gas emissions by 13.45 tCO_2eq, or 60.86%. Moreover, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback Period (PB) were used to analyzed economic value of project, there were 1,139,076.02 bath 73.43% and 1.46 year respectively. Therefore, it can be concluded that this project was worthy and efficient for investment.

Keywords: Green House Gas, Baseline Scenario, Project Scenario, Carbon Dioxide, Economic Analysis

1. บทนำ

การศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกเริ่มหลังจากการค้นพบในช่วงกลางทศวรรษที่ 18 ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กักเก็บความร้อนและรักษาความอบอุ่นของโลกไว้ต่อมาในต้นศตวรรษที่ 20 เริ่มมีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่ามนุษย์เป็นผู้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิโลกเพิ่มสูงขึ้น [1] การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามกรอบอนุสัญญาของสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework Convention on Climate Change Convention on Climate Change: UNFCCC) [2] เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของอากาศซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อันทำให้ส่วนประกอบของบรรยากาศโลก เปลี่ยนแปลงไปนอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกันจากปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) [3] ส่งผลกระทบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศอันเนื่องมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ทำให้มีการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศมากขึ้น จากสถานการณ์ดังกล่าวทำให้หลายประเทศรวมทั้งชุมชนและองค์กรในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลกเริ่มตื่นตัวและปฏิบัติการเพื่อหยุดการร้อนขึ้นของโลก ดังนั้นการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงเป็นหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนที่จะร่วมกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ

ในปัจจุบัน การใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปีรวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และด้วยการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สิ่งอุปกรณ์ไฟฟ้า[4] การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน จะมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต เพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาล ภายใต้สนธิสัญญาโตเกียว (Kyoto Protocol) ภายในปี พ.ศ. 2573 ประเทศไทยจะต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์[5] งานวิจัยเรื่องนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศอันเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนองค์ประกอบของบรรยากาศโลกโดยตรงหรือโดยอ้อมและที่เพิ่มเติมจากความแปรปรวนของสภาวะอากาศตามธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ฤดูกาล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่ ภาวะโลกร้อนนี้มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมสูงขึ้นทำให้ฤดูกาลต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ก็จะค่อย ๆ ตายลงและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด [6]

2.2 ภาวะโลกร้อน

ภาวะโลกร้อน หมายถึง การที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศบนโลกสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอากาศบริเวณใกล้ผิวโลกและน้ำในมหาสมุทร ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นถึง 0.74 ถึง 0.18 องศาเซลเซียส และจากแบบจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศพบว่าในปี พ.ศ. 2544 – 2643 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้นถึง 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียสสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเพราะก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาผลาญถ่านหินและเชื้อเพลิง รวมไปถึงสารเคมีที่มีส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ใช้ และอื่นๆ อีกมากมาย [7]

2.3 ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก

กิจกรรมของมนุษย์ในปัจจุบันก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas, GHG) ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกและสภาวะโลกร้อน ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีโอกาสสูง ถึง 8.5 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดข้อตกลงปารีส(Paris Agreement) จากการประชุม COP 21 ที่เป็นตราสารกฎหมาย ที่รับรองภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติ(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ที่ตั้งเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกต่ำกว่า 2 องศา[8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ในฐานะหน่วยงานภาครัฐภายใต้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้พิจารณาทิศทางสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการกำหนดทิศทางของประเทศในการจัดทำกรอบยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) เพื่อเป็นเป้าหมายการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนตามหลักธรรมาภิบาล โดยเป้าหมายที่สำคัญคือการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [9]

2.4 ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (T-VER-METH-EE-01)

การลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน เป็นโครงการที่มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเดิมเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยค่าความเข้มของแสงสว่างเป็นไปตามข้อกำหนดหรือมาตรฐานของ

หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง[12] ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ T-VER-METH-EE-01 สำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Improvement for Lightings) มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ข้อมูลกรณีฐาน (Baseline Scenario)

กรณีที่โครงการมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเดิมเป็นอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ให้ใช้สภาพเดิมของโครงการก่อนที่จะมีการปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเป็นข้อมูลกรณีฐานการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกรณีฐาน (Baseline Scenario)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน พิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมก่อนการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\mathrm{BE}_y = \mathrm{BE}_{EL,y} \quad (1)$$

โดยที่

BE_y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (tCO_2eq /year)

$\mathrm{BE}_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2563 (tCO_2eq /year)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mathrm{BE}_{EL,y} = \left(\sum\left(\mathrm{N}_{BL,i} \times P_{BL,i} \times H_{PJ,i,y}\right) \times 10^{-6}\right) \times EF_{Elec} \quad (2)$$

โดยที่

$\mathrm{BE}_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (tCO_2eq /year)

EF_{Elec} คือ ค่าสัมประสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (tCO_2eq /MWh)

$\mathrm{N}_{BL,i,y}$ คือ จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในกรณีฐาน

$P_{BL,i,y}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในกรณีฐาน (W/set)

$H_{PJ,i,y}$ คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการในกลุ่ม T8 ในปี 2563 (hour/year)

2.4.2 การคำณวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการพิจารณาการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ พิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ติดตั้งใหม่ โดยการตรวจวัดหรือคำนวณจากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมหลังการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 และ 4

$$PE_y = PE_{EL,y} \quad (3)$$

โดยที่

PE_y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการ (tCO_2eq /year))

$PE_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ (tCO_2eq /year)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\mathrm{PE}_{EL,y} = \left(\sum\left(\mathrm{N}_{Pj,i,y} \times P_{pj,i,y} \times H_{PJ,i,y}\right) \times 10^{-6}\right) \times EF_{Elec} \quad (4)$$

โดยที่

$\mathrm{PE}_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ (tCO_2eq /year)

EF_{Elec} คือ ค่าสัมประสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (tCO_2eq/MWh)

$\mathrm{N}_{Pj,i,y}$ คือจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

$P_{pj,i,y}$ คือค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

$H_{PJ,i,y}$ คือจำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (hour/year)

2.4.3 การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction)

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$ER_y = BE_y - PE_y \quad (5)$$

โดยที่

ER_y คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี 2563 (tCO2e/year)

BE_y คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี 2563 (tCO2e/year)

PE_y คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ ในปี 2563 (tCO2e/year)

2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

2.5.1. วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (The net present value method)

วิธีนี้จะคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตตามอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ หรือต้นทุนเงินทุนกับต้นทุนเงินทุนเริ่มแรก สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6[13]

$$NPV = \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}\right) - I \quad (6)$$

โดยที่

NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

I คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก

C_t คือ กระแสเงินสดได้รับ

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n

n คือ จำนวนงวดดอกเบี้ย/จำนวนปี

r คือ อัตราดอกเบี้ย/อัตราผลตอบแทน

2.5.2. ระยะคืนทุน (Payback Period)

เกณฑ์ระยะคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 7[13]

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลต่างค่าไฟฟ้าสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (7)$$

2.5.3. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด(Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 8[13]

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (8)$$

โดยที่

B_t คือ ผลตอบแทนของโครงการในปี ที่ t

C_t คือ ต้นทุนของโครงการในปี ที่ t

n คือ อายุของโครงการ

t คือ ปีของโครงการ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 (ฐิติกร หมายมั่น ,สมบัติ ทีฆทรัพย์ ,อติกร เสรีพัฒนานนท์ และ บัณฑิต รัตนไตร,2561) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียตามแนวทางของ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย เท่ากับ 5553.17 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) [12]

3.2 (นันทญา เขียวแสวง ,จินตนา อมรสงวนสิน และ วรางคณา ศรนิล,2555) ศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบยั่งยืนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรณีศึกษาสำนักงานเขตบางแค ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานเขตบางแคเท่ากับ 4224.91 tCO_2eq ต่อปี การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 306.31 tCO_2eq ต่อปี[13]

3.3 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2557) การใช้หลอดประหยัดพลังงานชนิดหลอด LED โดยการปรับเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ ไปเป็นหลอด LED ขนาด 18 วัตต์ ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้มาก หลอด LED ที่นำมาเปลี่ยนจะให้ค่าความสว่างใกล้เคียงกับหลอด T8 เดิม และสามารถประกอบลงในชุดโคมเดิมได้ รวมทั้งหลอดแอลอีดีมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดชนิดเดิมมากจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุนมีระยะเวลาการคืนทุน ประมาณ 2 - 4 ปี [14]

3.4 (ไพบูลย์ ศรีอนันท์, 2561) ได้ศึกษาแนวทางการใช้หลอดไฟ LEDและศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหลอดไฟ LED มาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษาอาคารเกษมจาติกวิณิช มหาวิทยาลัยบูรพา พบว่าจะมีต้นทุนในการปรับเปลี่ยนตั้งแต่ 379,590.00 บาท ถึง 2,376,260.00 บาท และจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนทั้ง 4 เงื่อนไขพบว่า หลอดไฟ LED สามารถลดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าลงจากเดิมได้ 54.03 % ถึง 81.42 % และค่าบริการการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างภายในอาคารเรียนกรณีศึกษาลดลงตั้งแต่ 114,047.60 บาท ถึง 172,166.25 บาท[15]

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1.1 ประวัติความเป็นมาของพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา

กองโรงงานวัตถุระเบิดฯ เป็นหน่วยงานของกรมสรรพาวุธทหารบก ก่อกำเนิดขึ้นจากความจำเป็นของทางราชการที่ได้เล็งเห็นว่าวัตถุระเบิดนั้นต่างกับสิ่งอุปกรณ์อื่น ๆ ทั้งในเรื่องของการจัดเก็บ การใช้ประโยชน์ การดูแลรักษา มีที่ตั้งอยู่ที่ พื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำป่าสัก ตำบลบ้านเกาะ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในเนื้อที่ 181 ไร่ 2 งาน 40 ตารางวา

4.1.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในอาคาร

กองโรงงานวัตถุระเบิดฯ มีอาคารทั้งหมด 6 อาคาร ประกอบด้วยอาคาร บก.รง.วรบ.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ., อาคาร ผสล.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.,อาคารโรงงานซ่อม,อาคารโรงทหาร,อาคารโรงเลี้ยง,อาคารโรงนอนทหารจุ 120 คน โดยทั้ง 6 อาคารใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 แบบมาตรฐาน (Standard Batten Type) ทั้งหมด มีจำนวนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 แต่ละอาคาร

	บริเวณที่ติดตั้ง	จำนวน (set)
1	อาคาร บก.รง.วรบ.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	65
2	อาคาร ผสล.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	18
3	อาคารโรงงานซ่อม	76
4	โรงทหาร	134
5	อาคารโรงเลี้ยง	20
6	อาคารโรงนอนทหารจุ 120 คน	264
รวม		577

4.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.2.1 ข้อมูลกรณีฐาน (Baseline Scenario)

เป็นข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 สำหรับกรณีฐานจะใช้ข้อมูลสภาพเดิมของโครงการก่อนที่จะมีการปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น โดยคำนวณจากกำลังไฟฟ้า จำนวนชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ จำนวนรวมทั้งสิ้น 577 หลอด โดยมีการเก็บข้อมูลจริงจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 6 อาคาร แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชั่วโมงการใช้งานหลอดไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละอาคาร

	บริเวณที่ตั้ง	ชั่วโมง/วัน	วัน/ปี	ชั่วโมง/ปี
1	อาคาร บก.รง.วรบ.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	8	239	1,912
2	อาคาร ผสล.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	8	239	1912
3	อาคารโรงงานซ่อม	8	200	1600
4	โรงทหาร	6	239	1434
5	อาคารโรงเลี้ยง	6	239	1434
6	อาคารโรงนอนทหารจุ 120 คน	6	239	1434

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน พิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้า

สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง โดยคำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2563 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในแต่ละอาคารแสดงดังตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 0.5664 tco_2/MWh[16] โดยใน 1 ชุดของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 มีค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด 36 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ 10 วัตต์ รวมหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 1 ชุด มีค่ากำลังไฟฟ้า 46 วัตต์ เมื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดโดยใช้สมการที่ 1 จากนั้นจึงได้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานโดยใช้สมการที่ 5 ค่าของตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Scenario)

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
EF_{Elec}	0.5664	tCO_2/MWh
$N_{BL,i,j}$	577	Set
$P_{BL,i,j}$	46	W/set
$H_{PJ,i,j}$	ค่าในตารางที่ 2	Hour/year

จากการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี 2563 ของกองโรงงานวัตถุระเบิดฯ พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 22.10 tCO_2eq/ปี

4.2.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

พิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ติดตั้งใหม่โดยเปลี่ยนเป็นหลอดไฟ LED(Light emitting Diode) ชนิดโคมไฟฟ้าแบบเปลือย หลอด LED TUBE T8 ขนาด 6x120 ซม. แบบมาตรฐาน (Standard Batten Type) การคำนวณจากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมหลังการดำเนินโครงการ โดยค่าของตัวแปรแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
EF_{Elec}	0.5664	tCO_2/MWh
$N_{BL,i,j}$	577	Set
$P_{BL,i,j}$	18	W/set
$H_{PJ,i,j}$	ค่าในตารางที่ 2	Hour/year

จากการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการของกองโรงงานวัตถุระเบิดฯ พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 8.65 tCO_2eq/ปี

4.2.3 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

การคำนวณผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการโดยใช้สมการที่ 8 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้จากการดำเนินโครงการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 เป็นหลอดไฟแบบ LED เท่ากับ 13.45 tCO_2eq/ปี

ตารางที่ 5 ข้อมูลปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก(tCO_2eq/ปี)

พารามิเตอร์	ค่า
ER_y	8.65
BE_y	22.10
PE_y	13.45

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะคำนวณมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net Present Value : NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR), ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) เพื่อให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ การคำนวณกำหนดให้ค่าของตัวแปรต่างๆ มีรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตัวแปร	รายละเอียด
I	เงินจ่ายลงทุนครั้งแรกประกอบด้วยค่าวัสดุคือชุดหลอดไฟ LED ขนาด 6x120 ซม. ราคา 590 บาทต่อชุด ค่าแรงในการติดตั้งหลอดไฟ LED 115 บาทต่อชุด, หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 6x120 ซม. ราคา 360 บาทต่อชุด ค่าแรงในการติดตั้งหลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ 115 บาทต่อชุด[17] อายุการใช้งานของหลอดฟลูออร์เรสเซนต์ T8 และหลอดไฟ LED เท่ากับ 8,000 และ 30,000 ตามลำดับ[18]
C_t	กระแสเงินสดได้รับคิดจากค่าบริการไฟฟ้าที่ประหยัด และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอดไฟที่น้อยลงเนื่องจากอายุการใช้งานของหลอดพิ่มขึ้น
n	จำนวนงวดดอกเบี้ย/จำนวนปี คำนวณโดยใช้อายุโครงการ 20 ปี โดยเป็นอายุการใช้งานของหลอด LED ที่เป็นกลุ่มที่มีอายุการใช้งานนานที่สุด (เปิดใช้ 6 ชั่วโมงต่อวัน, เปิดใช้ปีละ 239 วัน)
r	อัตราดอกเบี้ย/อัตราผลตอบแทน กำหนดให้เท่ากับร้อยละ 7
Ft	ค่า Ft ในการคำนวณค่าไฟฟ้าผันแปรเท่ากับ 1.39 สตางค์ต่อหน่วย [19]

ในการคำนวณค่าไฟฟ้าคำนวณจากอัตราค่าบริการไฟฟ้าประเภท 6 ส่วนราชการและองค์การที่ไม่แสวงหาผลกำไรเมื่อคำนวณค่า NPV, IRR, PB โดยใช้ตัวแปรข้างต้นได้ผลการคำนวณเท่ากับ 1,139,076.02 บาท, 73.43%, 1.46 ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการลงทุนเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนและจะคืนทุนในเวลา 1.46 ปี

5. อภิปรายผล

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก โดยการเปลี่ยนหลอดไฟภายในอาคาร 6 อาคาร จากเดิมหลอดฟลูออเรสเซน T8 จำนวน 577 ชุด เปลี่ยนเป็นหลอดไฟ LED (Light emitting Diode) จำนวน 577 ชุด ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน(Baseline Scenario) พบว่ามีค่าเท่ากับ 143,736.50 บาท, 22.10 tCO2eq ต่อปี ตามลำดับ ผลการคำนวณค่า

ไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีจากการดำเนินโครงการมีค่าเท่ากับ 56,153.32 บาท, 8.65 tCO2eq ต่อปี ตามลำดับ สามารถลดค่าไฟฟ้าที่ใช้ลงได้ 87,583.18 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 60.93 และสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 13.45 tCO2eq คิดเป็นร้อยละ 60.86 เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินโครงการมีค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR), ระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 1,139,076.02 บาท, 73.43%, 1.46 ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการดำเนินโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ[20] ซึ่งได้สรุปว่าการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์เป็นหลอด LED 18 วัตต์ มีระยะการคืนทุนที่ 12.25 – 22.32 เดือน และงานวิจัยของ[21] ซึ่งได้สรุปว่าการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์เป็นหลอด LED 18 วัตต์มีระยะการคืนทุนที่ 1.1 ปี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรองจิต กิติกาศ และผกามาศ ถิ่นพังงา. (2553). งานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

[2] สำนักวิชาการพลังงานภาค 2 กระทรวงพลังงาน. (2553). ก๊าซเรือนกระจก. ข้อมูลจาก :http:// www.region2.m-energy.go.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มิถุนายน 2564)

[3] ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร. แผนปฏิบัติการว่า ด้วยการลดปัญหาภาวะโลกร้อนของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2550-2555. สืบค้นจาก : http://www.bma.go.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มิถุนายน 2564)

[4] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน),"แผนปฏิบัติการองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561 - 2580)" ,

[5] วรวิทย์ ลีลาวรรณ และ ธนากร เมียงอารมณ์. (2562). แนวทางในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก. วารสารวิจัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 11-23

[6] สุภาวดี สาระวัน. (2562). การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ. ข้อมูลจาก :https://www.scimath.org/article-chemistry/item/10620-climate-change. (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[7] พนิตานันท์ สุวรรณบลนุกูล. (2561). ภาวะโลกร้อน (ออนไลน์). ข้อมูลจาก : https://www.ay-sci.go.th/aynew/20181231-2/. (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[8] องค์การบริหารจัดการ ก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน). (2560). การคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า.

[9] กลไกลลดก๊าซเรือนกระจก. (2564). โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย. ข้อมูลจาก http://ghgreduction.tgo.or.th/about. (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[10] กลไกลลดก๊าซเรือนกระจก. (2564). ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน. ข้อมูลจาก : http://ghgreduction.tgo.or.th/tver-method/tver-methodology(วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[11] กนกวรรณ จันทร์เจริญชัย (2555) การเตรียมและการประเมินโครงการ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(พิมพ์ครั้งที่ 16) กรุงเทพมหานคร:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[12] ฐิติกร หมายมั่น , สมบัติ ทีฆทรัพย์ , อดิกร เสรีพัฒนานนท์ และบัณฑิต รัตนไตร. (2561). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. ปีที่ 12 ฉบับที่ 2. 195-209.

[13] นันทญา เขียวแสวง ,จินตนา อมรสงวนสิน และ วรางคณา ศรนิล. (2555). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบยั่งยืนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรณีศึกษา สำนักงานเขตบางแค. สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2557). คู่มือกรณีตัวอย่างมาตราการอนุรักษ์พลังงาน ในโรงงานควบคุม และอาคารควบคุม.

[15] ไพบูลย์ ศรีอนันต์, (2561). การศึกษาความเป็ นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษากรณีศึกษา อาคารเกษม จาติกวนิช มหาวิทยาลัยบูรพา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[16] สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2560). ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยสำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก.

[17] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2565). บัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน พ.ศ, 2565,

[18] เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์. (2560). การศึกษาความคุ้มค่าของการทดแทนหลอดแอลอีดีสำหรับห้องเรียน. วารสารวิชาการการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1 . 47-53.

[19] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2564). ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft). ข้อมูลจาก : https://www.pea.co.th/ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า/ArtMID/606/ArticleID/148090/ค่า-Ft-ประจำเดือน-มกราคม-เมษายน-2565 (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[20] ชลิญญา สุดา. (2564). แนวทางการลดต้นทุนการจัดการฟาร์มสัตว์น้ำขนาดเล็กโดยการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดซนิดแอลอีดี. แก่นเกษตร, 49 (suppl. 1) ,172-178

[21] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. (2555). การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและผลตอบแทนของการเปลี่ยนหลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดแอลอีดี (LED) กรณีศึกษาห้องประชุมอรพิม โรงแรมสีมาธานี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7. 390-397.