

การวิเคราะห์และจัดลำดับกระบวนการทำงานติดตั้งระบบส่องสว่างภายนอกอาคาร เพื่อลดต้นทุน

ANALYSIS AND PROCESS MANAGEMENT OF OUTDOOR LIGHTING SYSTEM INSTALLATION TO REDUCE INSTALLATION COST

วินัย พรพจน์รัตนกุล*, ศุภี บรรจงจิต

Vinai Pornpojratanakul, Sulee Bunjongjit*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin.

**Corresponding author, e-mail: vinai.por@rmutr.ac.th*

Received: 17 October 2022; **Revised:** 24 August 2023; **Accepted:** 1 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อการพัฒนา ปรับปรุง กระบวนการติดตั้งวงจรแสงสว่างภายนอกอาคารเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง ต้นทุนต่ำ ซึ่งจากการสำรวจเดิมพบว่า การออกแบบวงจรแสงสว่างภายนอกอาคารนั้นมีต้นทุนที่สูง โหลดในแต่ละวงจรย่อยมีค่าต่ำ ไม่เกิดความคุ้มค่า และมีความเสียหายเกิดขึ้นกับวัสดุอุปกรณ์ในช่วงการก่อสร้าง อาทิ สายไฟ ท่อร้อยสาย ต้นไม้ในสวน โคมไฟ ซึ่งล้วนเกิดจากการขุดดินไม่ว่าจะขุดเพื่อติดตั้งท่อร้อยสาย หรือขุดเพื่อเคลื่อนย้ายต้นไม้จัดสวน โดยผลจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นลดต้นทุนจากการออกแบบวงจรแสงสว่างภายนอกอาคารใหม่ โดยมีเงื่อนไขว่าจำนวน ตำแหน่ง และโหลดทั้งหมดของโคมไฟยังคงเดิม จึงออกแบบใหม่โดยคำนึงถึงแรงดันตกในแต่ละวงจรย่อย เพื่อความคุ้มค่าในการใช้สายไฟ และลดโอกาสเสี่ยงจากการขุดให้เสียหาย ด้วยการเปลี่ยนลำดับการทำงานของระบบไฟฟ้าและภูมิสถาปัตย์ โดยพบว่า สามารถลดวัสดุประเภทท่อลงได้คิดเป็น 30.13% และต้นทุนลดลง 28.58% ซึ่งถือว่ามีนัยยะสำคัญในการบริหารจัดการโครงการ

คำสำคัญ: ระบบแสงสว่าง; แสงสว่างภายนอก; แรงดันตก; การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

This research aims to develop installation process for outdoor lighting system to attain high efficiency, low cost and reliable installation. The original exterior lighting circuit design has high cost and low load in each sub-circuit. In addition, the damage to materials in the construction period, such as wires, conduits, trees in the garden, lamps, which are all caused by excavation, whether digging to install conduits or digging to move garden trees may occur. The methodology aims to reduce cost without any impact on number, position, and load of the outdoor lighting. The new design considers the voltage drop on each sub circuit to improved efficient

and reduce damage to equipment materials by rearrange the working sequence between electrical system and landscape architecture. The result from implementation proposed process demonstrated that material usage can be reduced up to 30.13% and cost reduction by 28.58%, which is significant for project management.

Keywords: Lighting System; Outdoor Lighting; Voltage Drop; Economic Evaluation

บทนำ

การติดตั้งระบบไฟฟ้าและแสงสว่างภายนอกของอาคารที่ผ่านมานั้นได้เกิดความเสียหายขึ้นกับท่อร้อยสายไฟฟ้า หรือ ต้นไม้บริเวณสวนภายนอกอาคาร [1-2] เนื่องจากการทำงานที่เกี่ยวข้องกันระหว่างผู้รับเหมางานระบบไฟฟ้าและผู้รับเหมางานจัดสวน ส่งผลให้มูลค่าเงินที่เพิ่มขึ้นจากต้นทุนที่สูงอยู่แล้วและความล่าช้าในการทำงานด้วย ซึ่งการศึกษาและค้นหาแนวทางในการปรับปรุง พัฒนา และแก้ไข ในส่วนการทำงานของวงจรไฟฟ้าย่อยภายนอกอาคาร จะช่วยสามารถลดต้นทุนจากการติดตั้งวงจรไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคารได้ [3]

โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งระบบไฟฟ้าและแสงสว่างภายนอกของอาคารนั้นเกิดจากปัจจัยหลายประการ โดยปัญหาแรกนั้นคือความเสียหายของวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นท่อร้อยสายไฟ สายไฟ หรือต้นไม้ต่าง ๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นเพราะว่าการติดตั้งระบบไฟฟ้าภายนอกอาคารได้มีการติดตั้งแบบเดินท่อร้อยสายแบบฝังดิน และการปลูกต้นไม้ก็ต้องขุดดินเช่นเดียวกัน และปัญหาความเสียหายที่จะเกิดมากที่สุดมักจะเกิดกับโคมไฟส่องเน้นต้นไม้ เนื่องจากตำแหน่งของโคมไฟชนิดนี้นั้นต้องมีตำแหน่งอยู่ใกล้ต้นไม้มาก หรือเรียกได้ว่าแทบจะเป็นตำแหน่งเดียวกับต้นไม้ และสิ่งที่เป็นปัญหานั้นไม่ใช่ขนาดลำต้นของต้นไม้ แต่เป็นขนาดรากของต้นไม้ที่มีขนาดกว้าง และยังต้องใช้ความลึกในการขุดมาก ตำแหน่งของโคมไฟส่องเน้นต้นไม้ นั้นอยู่ใต้ต้นไม้ซึ่งค่อนข้างมีความใกล้กับตัวโคนต้นไม้ และอยู่เหนือจากรากที่อยู่ใต้ผิวดิน โดยโคมไฟนั้นมีตุ้มหล่อปูนทรงลูกบาศก์เป็นฐานของโคมไฟส่องเน้นต้นไม้ฝังอยู่ในดิน ส่วนการติดตั้งกล่องนั้นจะขึ้นอยู่กับกาพิจารณาของผู้ออกแบบเป็นกรณี ๆ ไป [4]

ปัญหาถัดไปคือ รากของต้นไม้ใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่นั้นมีความลึกในการขุดถึง 80-100 เซนติเมตร และมีพื้นที่โดยทั่วไปด้านละ 100 เซนติเมตร จากเดิมการลำดับการทำงานให้ติดตั้งระบบไฟฟ้าก่อนปลูกต้นไม้จัดสวน หากมีท่อร้อยสายไฟฝังใต้ดินผ่านในจุดนี้หากไม่ทำการประกอบแบบระหว่างต้นไม้และเส้นทางการเดินท่อให้หลีกเลี่ยงตำแหน่งรากของต้นไม้ ท่อร้อยสายไฟจะโดนขุดพังเสียหาย และหากการลำดับการทำงานให้ปลูกต้นไม้จัดสวนก่อนการมาติดตั้งท่อร้อยสายไฟในภายหลังจะส่งผลให้ต้องขุดต้นไม้พุ่มและ/หรือหญ้าเกิดความเสียหาย ซึ่งอาจเกิดขึ้น อาจเกิดจากการที่ผู้รับเหมางานระบบไฟฟ้ามีความจำเป็นที่จะต้องเข้าทำงานติดตั้งระบบไฟฟ้าหรือแก้ไขในส่วนที่มีปัญหา หรือความเสียหายของท่อร้อยสายไฟ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ผู้รับเหมางานจัดสวนทำการขุดดินเพื่อจะปลูกต้นไม้ แต่ไม่ทราบถึงตำแหน่งของท่อร้อยสายไฟ

ปัญหาสุดท้ายคือเรื่องการลดต้นทุนของงานระบบไฟฟ้าในหมวดของท่อร้อยสายไฟฟ้าและสายไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดต้นทุนเพิ่มเติมได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการเดินวงจร เพื่อลดวัสดุที่ใช้ได้โดยยังคงประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยแต่เดิมมีวงจรย่อยมากมายส่งผลให้มีปริมาณของท่อร้อยสายไฟและสายไฟมาก และการที่มีปริมาณท่อร้อยสายไฟและสายไฟมากนั้นยังเพิ่มโอกาสเสี่ยงต่อการขุดโดนท่อร้อยสายไฟ จากการขุดดินเพื่อปลูกต้นไม้จัดสวน และในหลาย ๆ วงจรนั้นมีโหลดที่น้อยเกินไปเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในด้านแรงดันตก [5-6]

โดยแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาในอดีตจนถึงปัจจุบันสำหรับปัญหาเรื่องการจัดลำดับการทำงานนั้นยังไม่มีแนวทางแก้ไขปัญหาที่ชัดเจน แต่จะเป็นการแก้ปัญหาเป็นแต่ละโครงการ ๆ ไป ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของผู้จัดการโครงการ เช่น บางโครงการจัดลำดับการทำงานโดยการให้ติดตั้งระบบไฟฟ้าก่อนการปลูกต้นไม้จัดสวน แต่ในบางโครงการก็จัดลำดับการทำงานโดยให้ปลูกต้นไม้จัดสวนก่อนติดตั้งระบบไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับแนวทางพัฒนาเรื่องการลดต้นทุนของงานระบบไฟฟ้าหมวดท่อร้อยสายไฟและสายไฟ [7-8] ปัจจุบันก็ยังไม่ได้มีการพัฒนาในเรื่องนี้แต่จะ

เป็นการไปลดต้นทุนในหมวดอื่น ๆ แทน งานวิจัยนี้จึงได้ทำวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางวิศวกรรมโดยการลดจำนวนวงจรลง มีการคิดค่าเฉลี่ยความยาวสายของวงจรสำหรับติดตั้งบนพื้นที่ภายนอกอาคารของโครงการ และได้กำหนดค่าโวลต์ขั้นต่ำ โดยเทียบประสิทธิภาพในด้านแรงดันตกเพื่อลดต้นทุน และผลของการลดจำนวนวงจรลงได้จะช่วยลดโอกาสความเสี่ยงจากการเสียหายจากการช็อตอีกด้วย ซึ่งแนวทางที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้ได้กับโครงการทุกขนาดที่มีพื้นที่ภายนอกสำหรับจัดการงานภูมิสถาปัตยกรรม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

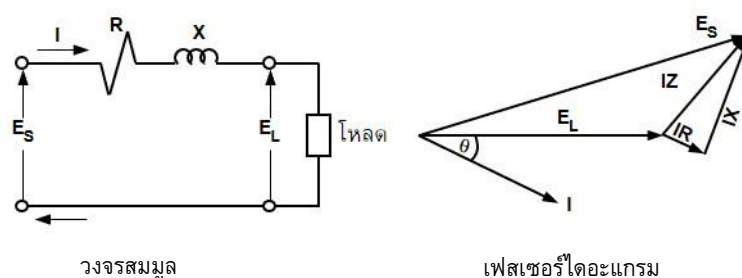
1. เพื่อการพัฒนา ปรับปรุง กระบวนการติดตั้ง วงจรแสงสว่างภายนอกอาคารเพื่อให้มีประสิทธิภาพและลดต้นทุนงานระบบไฟฟ้าหมวดสายและท่อร้อยสาย
2. เพื่อลดความเสียหายของวัสดุและจัดลำดับการทำงานบริเวณภูมิสถาปัตย์

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าให้โวลต์นั้น ควรคำนึงถึงแรงดันที่จุดใช้งานให้ไม่มีแรงดันตกเกินมาตรฐาน NEC 210.19(A)(1) [9] ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

1. แรงดันตกจากสายประธาน (Service) ไปยังโวลต์ (Load) มีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์
2. แรงดันตกในสายป้อน (Feeder) มีค่าไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์
3. แรงดันตกในวงจรย่อย (Branch Circuit) มีค่าไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์

โดยการคำนวณหาแรงดันตกสามารถคำนวณได้จากวงจรสมมูล 1 เฟส ดังแสดงในภาพที่ 1

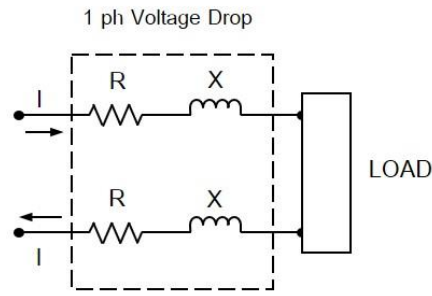


ภาพที่ 1 วงจรสมมูล และเฟสเซอร์ไดอะแกรม

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } E_s &= E_L + (I \angle -\theta)(R + jX) \\
 &= E_L + I(\cos\theta - j\sin\theta)(R + jX) \\
 &= E_L + I(R\cos\theta + X\sin\theta - jR\sin\theta + jX\cos\theta) \\
 &= (E_L + IR\cos\theta + IX\sin\theta) + jI(X\cos\theta - R\sin\theta)
 \end{aligned}$$

โดยองค์ประกอบจริงมีค่ามากกว่าองค์ประกอบจินตภาพ และมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนขององค์ประกอบจริง ดังนั้น เพื่อการคำนวณง่ายขึ้น สามารถเขียนรูปสมการใหม่เป็นค่าโดยประมาณได้ดังนี้

$$E_s - E_L = IR\cos\theta + IX\sin\theta = \text{Voltage Drop, VD}$$



ภาพที่ 2 แรงดันตกในวงจร 1 เฟส

เนื่องจากในวงจรสมมูล 1 เฟส มี 2 สาย คือ สายไลน์ (Line) และนิวทรัล (Neutral) ดังนั้นแรงดันตกจึงสามารถเขียนรูปสมการใหม่ได้ดังต่อไปนี้

$$VD = 2I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

โดย VD = แรงดันตก (Volt : V)
 I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (Amp : A)
 R = ค่าความต้านทานทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)
 X = ค่ารีแอคแตนซ์ทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)
 $\cos\theta$ = ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (Power Factor : P.F.)

เมื่อแปลงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์จะนำค่าแรงดันตกมาหารด้วยระบบแรงดัน สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\%VD = (VD \div 230) \times 100$$

การคำนวณหาค่าแรงดันตกจะเป็นการหาค่าสูงสุด ดังนั้น ในการคำนวณจึงใช้ค่าความต้านทานกระแสลับที่อุณหภูมิปกติใช้งานของสายไฟฟ้า คือ 70 องศาเซลเซียส สำหรับสายพีวีซี และ 90 องศาเซลเซียส สำหรับสาย Cross-Linked Polyethylene หรือ XLPE ส่วนค่ารีแอคแตนซ์หรือค่า X_L ของสายไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามวิธีการวางสายไฟฟ้าเช่นเดียวกับการคำนวณกระแสลัดวงจร

สำหรับกรณีศึกษาที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นอาคารชุดที่มีพื้นที่ภูมิสถาปัตยกรรมภายนอกอาคารดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งการเดินระบบไฟฟ้าแสงสว่างประกอบภูมิสถาปัตย์นั้นจะต้องมีหลายวงจรและมีระยะทางที่ค่อนข้างสูงทำให้ค่าโหลดแต่ละวงจรโหลดมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถใช้ได้ถึง 16 AT และมีจำนวนวงจรที่ใหญ่จึงทำให้ต้นทุนหมวดงานสายไฟและท่อสายไฟสูงกว่าปกติ



ภาพที่ 3 อาคารตัวอย่างที่ใช้ในกรณีศึกษา

จากรูปแบบอาคารในภาพที่ 3 แสดงการติดตั้ง ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคารจะเป็นวงจรที่มีระยะทางการเดินสายที่ค่อนข้างไกล ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณแรงดันตกร่วมด้วยในการหาขนาดสายที่เหมาะสม วิธีการคำนวณแรงดันตกตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 [10] แสดงในสมการ

$$VD = \text{ค่าจากตาราง} \times \text{กระแส} \times \text{ระยะสาย} \div 1000$$

คำนวณแรงดันตกโดยกำหนด ระยะสายเท่ากับ 240 เมตร และ P.F. เท่ากับ 0.85 โดยค่ามาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 เท่ากับ 18 mV/A/m (สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร) และแรงดันตกน้อยกว่า 3% จะสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$3\% \times 230 \text{ V} = 18 \text{ mV/A/m} \times \text{กระแส} \times 240 \text{ m} / 1000$$

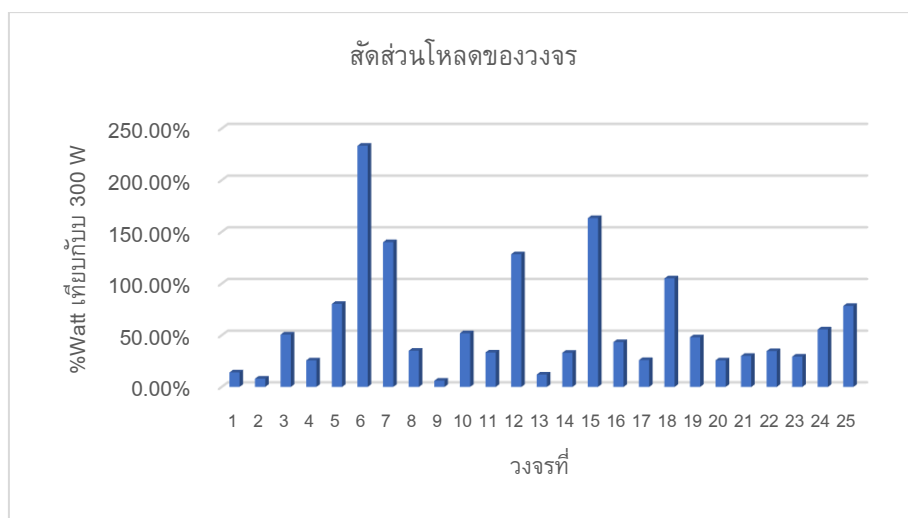
$$\text{กระแส} = 1.5972 \text{ A}$$

$$\text{Watt} = V \times I \times \text{P.F.}$$

$$\text{Watt} = 230 \text{ V} \times 1.5972 \text{ A} \times 0.85$$

$$\text{Watt} = 312.257 \text{ W}$$

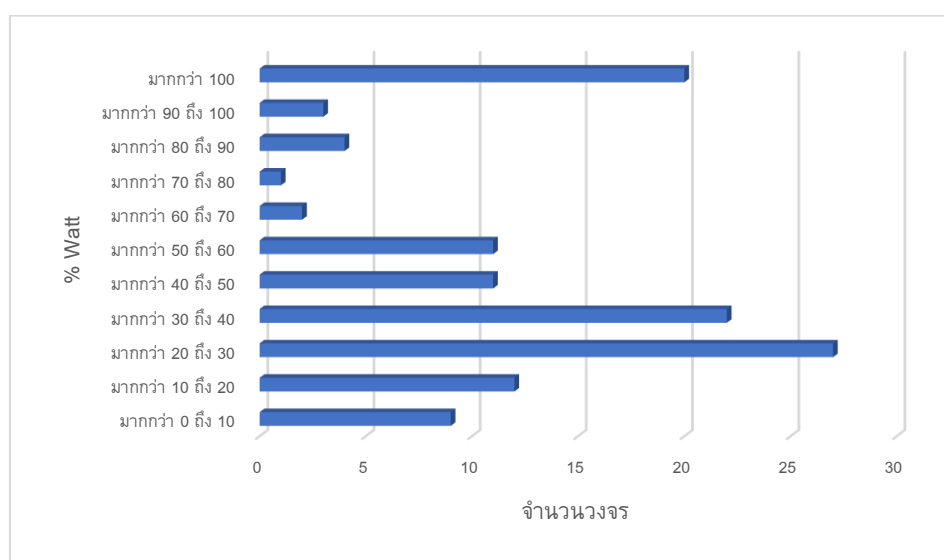
จากค่าวัตต์ที่คำนวณจึงใช้ค่า 300 W เพื่อความง่ายสำหรับการใช้งานจริงและนำค่านี้เป็นเกณฑ์สำหรับสายที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร และทำการเปรียบเทียบสัดส่วนกับโหลดที่มีการออกแบบจริงในวงจรตู้ไฟฟ้าแสงสว่างภายนอก (Lighting Outdoor: LO) และวงจรตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก (Equipment Outdoor: EO) ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 กราฟแสดงสัดส่วนโหลดของวงจรตู้ไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกของโครงการตัวอย่างที่ 1



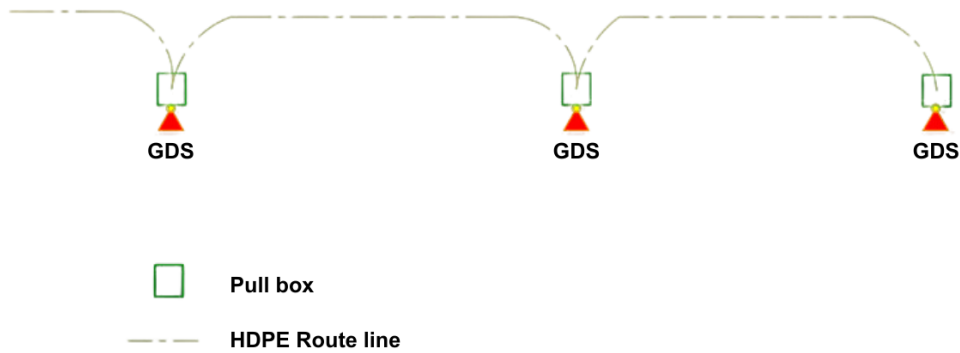
ภาพที่ 5 กราฟแสดงสัดส่วนโหลดของวงจรตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกของโครงการตัวอย่างที่ 1



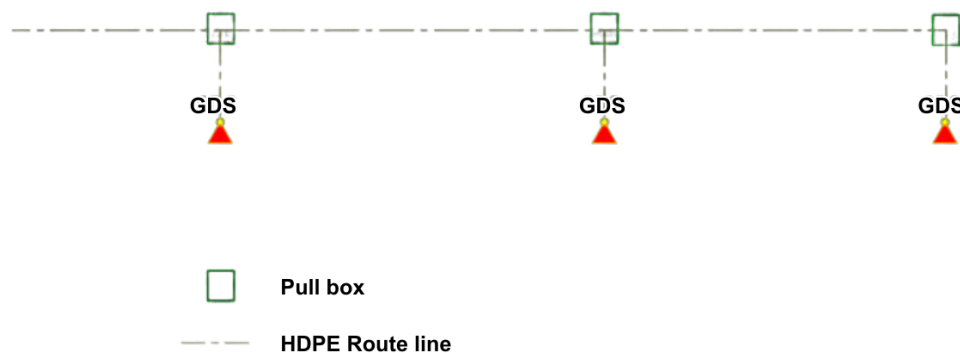
ภาพที่ 6 กราฟแสดงจำนวนวงจรในแต่ละช่วงโหลดของกรณีศึกษาทั้งหมด

จากกราฟแสดงจำนวนวงจรในแต่ละช่วงโหลดของกรณีศึกษาทั้งหมดในภาพที่ 6 สามารถสรุปได้ว่าค่าโหลดของวงจรส่วนใหญ่มีสัดส่วนอยู่ที่ช่วง 20% ถึง 30% จึงแสดงให้เห็นว่า ปัจจุบันการออกแบบวงจรนั้นใช้งานไม่คุ้มค่ากับประสิทธิภาพของสายไฟ ควรกำหนดค่าโหลดขั้นต่ำในแต่ละวงจรย่อยที่ 60% ของค่าวัตต์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ (300 วัตต์) เนื่องจากจากข้อมูลตารางแสดงสัดส่วนค่าวัตต์ของโหลดจริงเทียบกับค่าวัตต์ของเกณฑ์ใหม่ของกรณีศึกษาทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ค่านี้นั้นมีจำนวนวงจรที่มีค่าโหลดต่ำกว่า 75% ดังนั้นจึงสรุปค่าโหลดขั้นต่ำไว้ที่ 180 วัตต์ เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบในอนาคต

ในส่วนขอวิธีการเดินท่อร้อยสายไฟพบว่าทางผู้รับเหมางานระบบมีการเดินท่อร้อยสายไฟ แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การเดินท่อแบบที่ 1 และวิธีการเดินท่อแบบที่ 2 ดังภาพที่ 7 ซึ่งในส่วนของการเดินท่อร้อยสายของโคมไฟสองต้นไม้ใหญ่่นั้นได้มีการจัดทำแนวทางวิธีการเดินท่อร้อยสายไฟเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามการจัดลำดับการทำงานใหม่ และใช้เป็นมาตรฐานในการทำงานให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยกำหนดให้ใช้วิธีการเดินท่อแบบที่ 2



ก) วิธีการเดินท่อแบบที่ 1



ข) วิธีการเดินท่อแบบที่ 2

ภาพที่ 7 ตัวอย่างการเดินท่อ

วิเคราะห์ราคาเปรียบเทียบของกรณีศึกษาระหว่าง 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือ การเดินวงจรแบบเดิม รูปแบบที่ 2 คือรูปแบบปรับเกณฑ์การออกแบบใหม่ รูปแบบที่ 3 คือ รูปแบบปรับเกณฑ์การออกแบบใหม่เหมือนรูปแบบที่ 2 รวมกับการเพิ่มตำแหน่งของต่อไฟฟ้าในบริเวณพื้นภายนอก ซึ่งข้อมูลได้ทำการวิเคราะห์ประมาณราคาได้ดังตารางที่ 1 ถึง 4

ตารางที่ 1 ตารางระยะเดินสายวงจรและราคาตามการเดินวงจรรูปแบบที่ 1

วงจรที่	ตู้ไฟฟ้าแสงสว่างภายนอก : LO			ตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก : EO		
	ระยะท่อและ สาย (เมตร)	ราคาท่อ และสาย	Watt	ระยะท่อและ สาย (เมตร)	ราคาท่อ และสาย	Watt
1	187.57	24,196.53	42	187.57	24196.53	30
2	212.50	27,412.50	24	237.5	30637.5	256
3	187.57	24,196.53	152	218.37	28169.73	176
4	167.57	21,616.53	77	167.57	21616.53	88
5	176.00	22,704.00	241	196.1	25296.9	600
6	196.10	25,296.90	700	190.8	24613.2	461
7	190.80	24,613.20	420	190.8	24613.2	110
8	190.80	24,613.20	105	230.8	29773.2	21
9	230.80	29,773.20	18	168.41	21724.89	91
10	303.80	39,190.20	156	262.1	33810.9	142
11	241.17	31,110.93	100	318.77	41121.33	420
12	345.67	44,591.43	385	392.68	50655.72	110
13	294.55	37,996.95	36	423.99	54694.71	455
14	392.68	50,655.72	99	155.76	20093.04	90
15	423.99	54,694.71	490	164.58	21230.82	141
16	279.65	36,074.85	130	186.96	24117.84	88
17	211.79	27,320.91	78	259.49	33474.21	88
18	126.65	16,337.85	315	189.03	24384.87	167
19	164.58	21,230.82	144	252.8	32611.2	368
20	186.96	24,117.84	77	-	-	-
21	284.08	36,646.32	90	-	-	-
22	177.49	22,896.21	104	-	-	-
23	259.49	33,474.21	88	-	-	-
24	189.03	24,384.87	167	-	-	-
25	282.30	36,416.70	235	-	-	-
รวม	5,903.59	761,563.11	4,473	4,394.08	566,836.32	3,902

ตารางที่ 2 ตารางระยะเดินสายวงจรและราคาตามการเดินวงจรรูปแบบที่ 2

วงจรที่	ตู้ไฟฟ้าแสงสว่างภายนอก : LO			ตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก : EO		
	ระยะท่อและ สาย (เมตร)	ราคาท่อ และสาย	Watt	ระยะท่อและ สาย (เมตร)	ราคาท่อ และสาย	Watt
1	212.50	27412.5	66	248.1	32004.9	286
2	187.57	24196.53	229	224.47	28956.63	264
3	176.00	22704	241	196.1	25296.9	600
4	196.10	25296.9	700	190.8	24613.2	461
5	190.80	24613.2	420	230.8	29773.2	131
6	230.80	29773.2	123	287.4	37074.6	233
7	332.60	42905.4	256	318.77	41121.33	420
8	345.67	44591.43	385	454.39	58616.31	565
9	392.68	50655.72	135	185.94	23986.26	231
10	423.99	54694.71	490	186.96	24117.84	88
11	283.65	36590.85	208	259.49	33474.21	255
12	126.65	16337.85	315	249.7	32211.3	368
13	221.54	28578.66	221	-	-	-
14	299.08	38581.32	194	-	-	-
15	259.49	33474.21	255	-	-	-
16	197.60	36416.7	235	-	-	-
รวม	4,076.72	53,6823.2	4473	3,032.92	39,1246.7	3,902

ตารางที่ 3 ตารางระยะเดินสายวงจรและราคาตามการเดินวงจรรูปแบบที่ 3

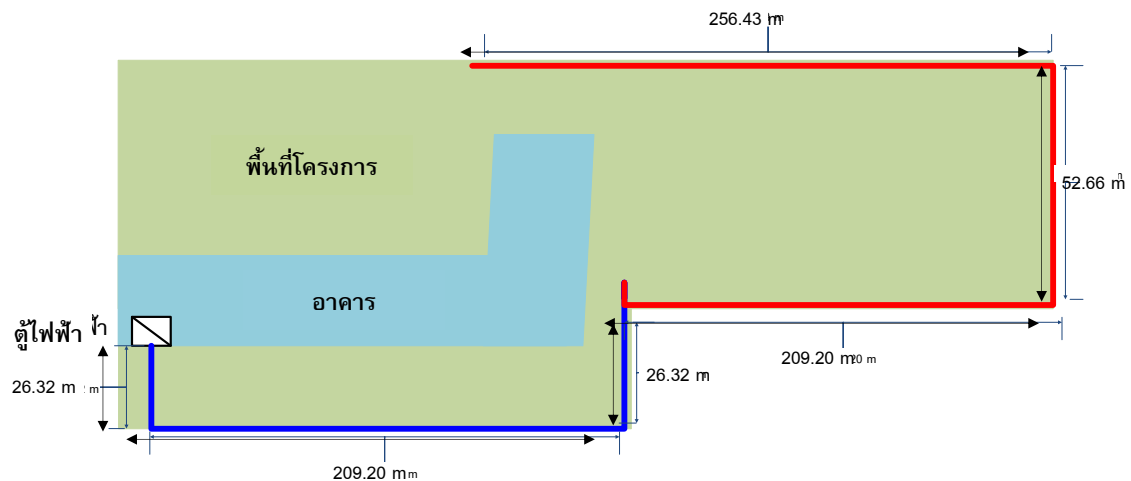
วงจร ที่	ตู้ไฟฟ้าแสงสว่างภายนอก : LO				ตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก : EO			
	ระยะท่อ และสาย (เมตร)	ราคาท่อ และสาย (บาท)	Watt	ตำแหน่งตู้	ระยะท่อ และสาย (เมตร)	ราคาท่อ และสาย (บาท)	Watt	ตำแหน่งตู้
1	59.16	8400.72	66	บ้อมยาม	77.76	11041.92	286	บ้อมยาม
2	128.53	18251.26	229	บ้อมยาม	147.43	20935.06	264	บ้อมยาม
3	124.05	16002.45	241	บ้อมยาม	196.1	25296.9	600	ห้องควบคุม
4	196.10	25296.90	700	ห้องควบคุม	190.8	24613.2	461	ห้องควบคุม
5	190.80	24613.20	420	ห้องควบคุม	221.28	31421.76	131	ห้องปั๊ม
6	221.28	31421.76	123	ห้องปั๊ม	150.97	21437.74	233	ห้องปั๊ม
7	176.04	24997.68	256	ห้องปั๊ม	249.54	32190.66	420	ห้องปั๊ม
8	278.14	35880.06	385	ห้องปั๊ม	302.6	42969.2	565	ห้องปั๊ม
9	211.70	30061.40	135	ห้องปั๊ม	195.94	27823.48	231	ห้องปั๊ม
10	279.00	35991.00	490	ห้องปั๊ม	162.19	20922.51	88	ห้องควบคุม
11	292.95	41598.90	208	ห้องควบคุม	189.5	26909	255	ห้องควบคุม
12	126.65	16337.85	315	ห้องควบคุม	180.8	23323.2	368	บ้อมยาม
13	221.54	31458.68	221	ห้องควบคุม	-	-	-	-
14	217.58	30896.36	194	ห้องควบคุม	-	-	-	-
15	189.50	26909.00	255	บ้อมยาม	-	-	-	-
16	197.60	25490.40	235	บ้อมยาม	-	-	-	-
รวม	3,110.62	401,269.98	4,473		2,264.91	292,173.39	3,902	

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบราคาตู้ไฟฟ้าและสายเมน

	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
ราคาตู้ไฟฟ้าและสายเมน (บาท)	72,324	72,324	368,300
ราคารวมหมวดงานสายไฟและท่อร้อยสาย (บาท)	1,400,723	1,000,393	1,061,743

การวิเคราะห์แรงดันตก

เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการใช้งานของโหลดว่าสามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ ต้องคำนึงถึงแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดโดยสายที่ใช้เป็นสายที่มีแกนทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซีหนึ่งแกนหรือมากกว่าพร้อมปลอกหุ้มพีวีซีด้านนอกที่หุ้มฉนวน หรือ สาย NYY ขนาด 2.5 ตารางมิลลิเมตร มีแรงดันตกเท่ากับ 18 mV/A/m จากแรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวนพีวีซีหลายแกน ที่ 70°C จากตารางระยะเดินสายของวงจรและราคาตามการเดินวงจรรูปแบบที่ 2 จะเห็นได้ว่าโหลดที่มีโอกาสที่จะมีแรงดันตกเกิน 3% คือ วงจรที่ 10 ของตู้ LO และวงจรที่ 8 ของตู้ EO



ภาพที่ 8 ภาพรวมวงจรที่ 10 ของตู้ไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกโครงการตัวอย่าง

จากภาพที่ 8 กรณีศึกษาแบ่งคิด 2 ส่วน โดยมี 1. เส้นทางสีน้ำเงิน 2. เส้นทางสีแดง ซึ่งเส้นทางสีน้ำเงินคือ สายไฟที่มีกระแสสำหรับจ่ายโหลดทั้งวงจร ส่วนเส้นทางสีแดงคือสายไฟที่มีกระแสลดลงตามจุดของโหลด ซึ่งต้องไม่เกิน 3% ของแรงดันใช้งาน หรือมีค่าไม่เกินกว่า 6.9 V

$$VD = \text{ค่าจากตาราง} \times \text{กระแส} \times \text{ระยะสาย} \div 1000$$

คำนวณแรงดันตกเส้นทางสีน้ำเงิน ระยะเส้นทางสีน้ำเงิน 156 เมตร ค่าจากตารางมีค่าเท่ากับ 18 mV/A/m (สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร) กำลังไฟฟ้าปรากฏ เท่ากับ 490 VA

$$VD1 = 18 \text{ mV/A/m} \times (490/230) \text{ A} \times 156 \text{ m} / 1000$$

$$VD1 = 18 \text{ mV/A/m} \times 2.13 \text{ A} \times 156 \text{ m} / 1000$$

$$VD1 = 5.98 \text{ V}$$

จากการคำนวณแรงดันตกเส้นทางสีแดงตามตารางการคำนวณแรงดันตกของ LO-10 สำหรับสาย PVC หลายแกนขนาด 2.5 ตารางมิลลิเมตร

$$VD2 = 4.24 \text{ V}$$

$$VD1+VD2 = 10.12 \text{ V}$$

ซึ่งค่าแรงดันตกของวงจรนี้นั้นมีค่ามากกว่า 6.9 V ส่งผลให้ไม่สามารถใช้สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร

จากการคำนวณแรงดันตกของเส้นทางสีน้ำเงินและเส้นทางสีแดงสำหรับสายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร มีแรงดันใช้งาน 3% จึงต้องเพิ่มขนาดสายเป็น สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีค่า 11 mV/A/m จากแรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวนพีวีซีหลายแกน ที่ 70 องศาเซลเซียส

$$VD1 = 11 \text{ mV/A/m} \times (490/230) \text{ A} \times 156 \text{ m} / 1000$$

$$VD1 = 11 \text{ mV/A/m} \times 2.13 \text{ A} \times 156 \text{ m} / 1000$$

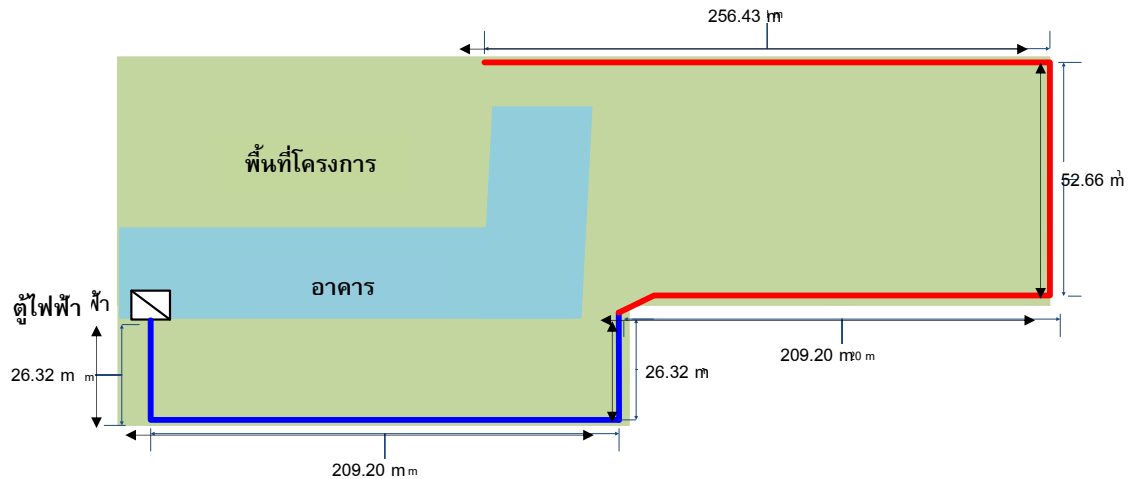
$$VD1 = 3.65 \text{ V}$$

จากการคำนวณแรงดันตกเส้นทางสีแดงตามตารางการคำนวณแรงดันตกของ LO-10 สำหรับสายพีวีซี หลายแกนขนาด 4 ตารางมิลลิเมตร

$$VD2 = 2.94 \text{ V}$$

$$VD1+VD2 = 6.59 \text{ V}$$

ซึ่งค่าแรงดันตกของวงจรนี้นั้นมีค่าน้อยกว่า 6.9 V ส่งผลให้สามารถใช้สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางมิลลิเมตร ได้



ภาพที่ 9 ภาพรวมวงจรที่ 8 ของตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกโครงการตัวอย่าง

จากภาพที่ 9 กรณีศึกษาแบ่งคิด 2 ส่วน โดยมี 1.เส้นทางสีน้ำเงิน 2.เส้นทางสีแดง ซึ่งเส้นทางสีน้ำเงินคือสายไฟที่มีกระแสสำหรับจ่ายโหลดทั้งวงจร ส่วนเส้นทางสีแดงคือสายไฟที่มีกระแสลดลงตามจุดของโหลด เช่นกัน

คำนวณแรงดันตกเส้นทางสีน้ำเงิน ระยะเส้นทางสีน้ำเงิน 121 เมตร ค่าจากตารางมีค่าเท่ากับ 18 mV/A/m (สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร) กำลังไฟฟ้าปรากฏ 565 VA

$$VD1 = 18 \text{ mV/A/m} \times (565/230) \text{ A} \times 121 \text{ m} / 1000$$

$$VD1 = 18 \text{ mV/A/m} \times 2.46 \text{ A} \times 121 \text{ m} / 1000$$

$$VD1 = 5.358 \text{ V}$$

จากการคำนวณแรงดันตกเส้นทางสีแดงตามตารางการคำนวณแรงดันตกของ EO-8 สำหรับสาย PVC หลายแกนขนาด 2.5 ตารางมิลลิเมตร

$$VD2 = 5.885 \text{ V}$$

$$VD1+VD2 = 11.243 \text{ V}$$

พบว่าค่าแรงดันตกของวงจรนี้นั้นมีค่ามากกว่า 6.9 V ส่งผลให้ไม่สามารถใช้สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร

จากการคำนวณแรงดันตกของเส้นทางสีน้ำเงินและเส้นทางสีแดงสำหรับสายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร มีแรงดันเกิน 3% จึงต้องเพิ่มขนาดสายเป็น สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีค่าจากตารางเท่ากับ 11 mV/A/m

$$VD1 = 11 \text{ mV/A/m} \times (565/230) \text{ A} \times 121 \text{ m} / 1000$$

$$VD1 = 11 \text{ mV/A/m} \times 2.46 \text{ A} \times 121 \text{ m} / 1000$$

$$VD1 = 3.274 \text{ V}$$

จากการคำนวณแรงดันตกเส้นทางสีแดงตามตารางการคำนวณแรงดันตกของ EO-8 สำหรับสายพีวีซีหลายแกนขนาด 4 ตารางมิลลิเมตร

$$VD2 = 3.596 \text{ V}$$

$$VD1 + VD2 = 6.87 \text{ V}$$

ซึ่งค่าแรงดันตกของวงจรนี้นั้นมีค่าน้อยกว่า 6.9 V ส่งผลให้สามารถใช้สายฉนวนพีวีซีขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางมิลลิเมตรได้

การปรับปรุงลำดับการทำงาน

ผลการศึกษาพบว่า ปัญหาที่เกิดจากการที่ทางผู้รับเหมาจัดสวนชุดไปโดนท่อสายไฟเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นไม่บ่อยนัก แต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นบ่อยและส่งผลกระทบต่อระบบแรงกว่าคือการที่ผู้รับเหมางานระบบทำงานแล้วก่อให้เกิดความเสียหายกับต้นไม้ต่าง ๆ จึงทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้

1. ปัญหาที่เกิดจากการที่ทางผู้รับเหมาจัดสวนชุดไปโดนท่อสายไฟ มักเกิดจากทางผู้รับเหมาสวนไม่ทราบว่บริเวณที่จะขุดนั้นมีท่อสายไฟ และผู้รับเหมางานระบบเดินท่อสายไฟได้ไม่เป็นไปตามแบบสำหรับก่อสร้าง

2. ปัญหาที่เกิดจากการที่ผู้รับเหมางานระบบนั้นทำงานแล้วก่อให้เกิดความเสียหายกับต้นไม้ต่าง ๆ มีสาเหตุมาจากการไม่จัดลำดับการทำงาน และการไม่ประสานงานกันระหว่างผู้คุมงานจัดสวนและผู้คุมงานระบบ บางครั้งทางผู้รับเหมาระบบได้รับพื้นที่สำหรับการทำงาน พื้นที่นั้นก็ได้ทำการปลูกต้นไม้ทั้งหมดแล้ว จึงก่อให้เกิดความเสียหายสำหรับต้นไม้ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทำการเดินท่อร้อยสายได้ ซึ่งข้อสรุปสำหรับการแก้ปัญหาในครั้งนี้สรุปการจัดลำดับการทำงานแผนงานต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ตัวอย่างแผนลำดับการทำงาน

แผนงาน	ระยะเวลา	วันที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
งานติดตั้งระบบไฟฟ้า													
ติดตั้งท่อร้อยสายไฟฝังดินโซนที่ 1 ส่วนแรก	3.0	←————→											
ติดตั้งท่อร้อยสายไฟฝังดินโซนที่ 1 ส่วนหลัง	1.0							↔					
และติดตั้งโคม								↔					
ติดตั้งท่อร้อยสายไฟฝังดินโซนที่ 2 ส่วนแรก	3.0				←————→								
ติดตั้งท่อร้อยสายไฟฝังดินโซนที่ 2 ส่วนหลัง	1.0										↔		
และติดตั้งโคม											↔		
งานปลูกต้นไม้และจัดสวน													
ปลูกต้นไม้ใหญ่โซนที่ 1	3.0				←————→								
ปลูกไม้พุ่ม+หญ้าโซนที่ 1	1.0								↔				
ปลูกต้นไม้ใหญ่โซนที่ 2	2.0							←————→					
ปลูกไม้พุ่ม+หญ้าโซนที่ 2	1.0											↔	

ผลการวิจัย

จากปริมาณสายไฟ และท่อร้อยสายที่ลดลงจากแบบเดิม รวมถึงราคาตู้ไฟและสายเมนที่เกี่ยวข้องในการเดินระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั้ง 3 วิธีสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6 ถึง 8 จากตารางแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนวิธีการเดินสายจากวิธีที่ 1 เป็นวิธีที่ 2 ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนลงมากที่สุดโดยสามารถลดราคารวมได้ถึง 400,330 บาท

หรือ 28.58% ในขณะที่การเดินสายในวิธีที่ 3 ที่มีการเพิ่มตู้ไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นเพิ่มเติมนั้นสามารถลดวัสดุของสายและท่อร้อยสายได้มากถึง 47.80 % แต่ในขณะเดียวกันราคาตู้ไฟฟ้าและสายเมนต้องมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับตำแหน่งตู้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณรวมทั้งระบบแล้วจะพบว่าวิธีที่ 3 ก็สามารถลดราคาต้นทุนรวมได้แตกต่างจากวิธีที่ 2 เล็กน้อย โดยสามารถลดลงจากวิธีที่ 1 ได้ 24.20 %

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบราคาสายและท่อร้อยสายไฟวงจรย่อย

ความยาวของสายไฟและท่อร้อยสายวงจรย่อย (เมตร)					
วิธีที่ 1		วิธีที่ 2		วิธีที่ 3	
ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)	ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)	ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)
10,297	-	7,194	30.13%	5,375	47.80%

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบราคาตู้ไฟฟ้าและสายเมน

ราคาตู้ไฟฟ้าและสายเมน (บาท)					
วิธีที่ 1		วิธีที่ 2		วิธีที่ 3	
ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)	ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)	ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)
72,324	-	72,324	0	368,300	-409.23%

ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบราคารวมของแต่ละรูปแบบ

ราคารวมติดตั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด (บาท)					
วิธีที่ 1		วิธีที่ 2		วิธีที่ 3	
ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)	ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)	ระยะ (เมตร)	ลดลง (%)
1,400,723	-	1,000,393	28.58%	1,061,743	24.20%

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าให้โหนดนั้น เราคำนึงถึงแรงดันที่จุดใช้งานไม่มีแรงดันตกเกินมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า (National Electrical Code : NEC) ที่กำหนดไว้ แรงดันตกในวงจรย่อย (Branch Circuit) มีค่าไม่เกิน 3% จากการคำนวณจุดที่เสี่ยงที่สุดของการเกิดแรงดันตก คือ กลุ่มวงจรย่อยที่ 10 ของตู้ LO และ กลุ่มวงจรย่อยที่ 8 ของตู้ EO

$$\begin{aligned} &\text{จากการคำนวณ voltage drop กลุ่มวงจรย่อยที่ 10 ของตู้ LO} \\ &= 2.86 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{จากการคำนวณ voltage drop กลุ่มวงจรย่อยที่ 8 ของตู้ EO} \\ &= 2.98 \% \end{aligned}$$

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยจะพบว่าเมื่อมีการปรับปรุงวิธีการเดินสายไฟภายนอกอาคารใหม่ โดยยังคงระดับแรงดันตกให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 จะพบว่าเมื่อมีการจัดเรียงวงจรแสงสว่างภายนอกใหม่ให้มีความเหมาะสมกับปริมาณโหลดที่ใช้งานในแต่ละวงจรย่อย จะทำให้ระบบไฟฟ้าภายนอกอาคารมีความสูญเสียจากแรงดันตกในระบบมีน้อยลงและมีประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงขึ้นตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

ข้อที่ 1 สำหรับรูปแบบการติดตั้งที่ออกแบบใหม่ที่กล่องดึงสายอยู่ที่ตำแหน่งดวงโคมนั้นจะมีระยะการเดินสายที่สั้นกว่า ทำให้ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของสายไฟฟ้าลงได้ ซึ่งจากการถอดแบบและประมาณราคา จากการถอดแบบทำให้ทราบว่า ปริมาณท่อลดลงประมาณ 3,103 เมตร หรือคิดเป็น 30.13% ส่งผลให้ต้นทุนลดลง 400,330 บาท หรือคิดเป็น 28.58% ในกรณีที่มีการเพิ่มตู้ไฟในบริเวณพื้นที่ทำการเดินแสงสว่างภายนอกถึงแม้ว่าจะส่งผลให้ราคาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจะเพิ่มสูงขึ้น แต่สามารถลดระยะการขุดต่อร้อยสายและปริมาณสายที่ใช้ในการเดินระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้มากถึง 4,922 เมตร หรือคิดเป็น 47.80% ส่งผลให้ลดต้นทุนลดลง 338,980 บาท หรือคิดเป็น 24.20% ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้ใช้งานได้อย่างมีนัยยะสำคัญตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ในด้านการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อจากระบบและงานภูมิสถาปัตย์ การจัดลำดับการทำงานให้จากระบบส่วนแรกซึ่งเป็นงานขุดวางท่อร้อยสาย งานระบบและวางรากต้นไม้ให้ควบคู่กันตามด้วยการติดตั้งโคมและปรับภูมิทัศน์ในส่วนหลังนั้นจะช่วยลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายจากการขุด อีกทั้งตำแหน่งกล่องดึงสายและโคมที่อยู่ใกล้กัน รวมไปถึงระยะของสายที่สั้นจะช่วยให้งานภูมิสถาปัตย์สามารถลดความเสี่ยงที่มีอยู่แล้วลงไปอีกชั้น

วิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานโครงการก่อสร้างที่มีพื้นที่ภูมิสถาปัตย์ได้ โดยสามารถใช้การถอดแบบและข้อมูลตารางโหลดของอาคารเป็นตัวกำหนดแนวทางการวางแนวสายไฟ ตู้ไฟ ของระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกให้มีระยะทางที่สั้น มีประสิทธิภาพ และลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายในการทำงานได้ อย่างไรก็ตาม การเดินสายแบบใหม่นี้ยังมีข้อจำกัดในบางแง่มุมซึ่งสามารถสรุปประเมินข้อดี-ข้อเสียได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 9 ตารางแสดงข้อดี-ข้อเสียของการศึกษา

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ลดต้นทุนได้ 28.58%	1. ความหลากหลายในการใช้งานลดลง
2. จำนวนท่อลดลงจึงลดโอกาสการเกิดความเสียหายจากการขุด	2. เวลาบำรุงรักษาจะไม่สามารถใช้งานได้เป็นบริเวณกว้าง
3. ติดตั้งง่ายขึ้น ลดความจำกัดของพื้นที่ในการทำงาน	3. หากมีปัญหา ELCB ทริปเพราะกระแสรั่วลงดินจะใช้เวลาหาจุดที่มีปัญหานั้นขึ้นเนื่องจากจุดต่อในวงจรเยอะขึ้น

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าข้อเสียที่เกิดของวิธีการที่นำเสนอสามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้โดยการติดตั้งจุดตัดต่อในวงจรเพื่อแบ่งโซนเพื่อเปิดหรือปิดกันส่วนที่จะต้องบำรุงรักษาให้เหมาะสม และรวมถึงติดตั้งเบรกเกอร์ป้องกันการดูดของกระแสไฟฟ้า (Earth Leakage Circuit Breaker : ELCB) ให้มีความเหมาะสม ซึ่งจะต้องมีการศึกษาการทำงานของระบบป้องกันที่เหมาะสมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อมีการติดตั้งจุดตัดต่อในวงจรเพิ่ม เพื่อให้วิธีการที่นำเสนอมีต้นทุนที่ต่ำกว่าการติดตั้งแบบทั่ว ๆ ไป โดยยังคงประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอก

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้จัดสรรงบประมาณทุนวิจัย และให้การสนับสนุนเวลา สถานที่ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ สำหรับการทําวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ardavani, O., Zerefos, S., and Doulos, L. T. (2020). Redesigning the exterior lighting as part of the urban landscape: The role of transgenic bioluminescent plants in mediterranean urban and suburban lighting environments. *Journal of Cleaner Production*, 242, Article number 118477. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118477>
- [2] Yang, X., Zhou, Q., and Tian, D. (2023). Improved landscape sampling method for landscape character assessment. *Frontiers of Architectural Research*, 12(1), 118-128. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.05.009>
- [3] Leslie, R. P. (1998). A simple cost estimation technique for improving the appearance and security of outdoor lighting installations. *Building and Environment*, 33(2-3), 79-95. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(97\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(97)00051-6)
- [4] Zhang, J., Sunkavalli, K., Hold-Geoffroy, Y., Hadap, S., Eisenman, J., and Lalonde J.-F. (2019). All-weather deep outdoor lighting estimation. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 10150-10158). Article number 8953336. 32nd IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2019. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.01040>
- [5] Dzhuraev, S. D., Rahimov, R. A., Sultonov, S. M., Nazirov, K. B., Ganiev, Z. S., and Karimov, R. C. (2022). Study and analysis of power quality in the electrical networks of the outdoor lighting of the dushanbe city. *Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022* (pp. 1167-1169). 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022. <https://doi.org/10.1109/ElConRus54750.2022.9755782>
- [6] Desai, A., Pandya, V., Mukhopadhyay, I., and Ray, A. (2020). Temperature effects on DC cable voltage drop in utility scale rooftop solar pv plant based on empirical model. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (pp. 2397-2402). Article number 9300709. 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, PVSC 2020. <https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300709>
- [7] Gnana Swathika, O. V., Karthikeyan, K., Subramaniam, U., Udayanga Hemapala, K. T. M., and Bhaskar, S. M. (2022). Energy efficient outdoor lighting system design: Case study of IT campus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1026(1), Article number 012029. International Conference on Sustainability: Developments and Innovations, ICSDI 2022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1026/1/012029>
- [8] Gorgulu, S., and Kocabey, S. (2020). An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems: A case study for a university campus. *Journal of Cleaner Production*, 260, Article number 121060. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121060>
- [9] National Fire Protection Association. (2008). *NFPA 70 National Electrical Code 2008 Edition*. Retrieved from <https://www.powerandcables.com/wp-content/uploads/2020/01/2008-National-Electrical-Code-NFPA-70.pdf>
- [10] The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage. (2022). *Thai Electrical Code 2021* (2nd Edition). Global Graphic Machines Co. Ltd.