

การศึกษาผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีใช้หลอดแอลอีดีร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

Effect of Power Factor on Combination of Fluorescent with LED Tubes

คมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ* และ รัก สกุลพงศ์

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

เลขที่ 199 อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร E-mail: s2068029@gmail.com

Khomkrit Srisuwan* and Rak Skulphong

Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus.

199 Phang Khon District, Sakon Nakhon, E-mail: s2068029@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีใช้หลอดไฟแอลอีดีร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยสมบัติของหลอดไฟแอลอีดีเป็นภาระไฟฟ้าประเภทตัวเก็บประจุและหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดบัลลาสต์แกนเหล็กเป็นภาระไฟฟ้าประเภทตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อนำหลอดไฟทั้งสองชนิดมาต่อใช้งานร่วมกันจะทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟชดเชยซึ่งกันและกัน และทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบส่องสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นจากการทดลองพบว่า การใช้งานหลอดไฟแอลอีดี 2 หลอดต่อร่วมกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด ทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.69 เมื่อเทียบกับใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟแอลอีดีอย่างเดี่ยว 0.51 และ 0.52 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตัวประกอบกำลัง, หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์, หลอดไฟแอลอีดี

Abstract

This paper examines the effect of power factor in the case of LED tubes combined with fluorescent tubes. The properties of LED tubes are capacitive load and fluorescent tubes is inductive load. Therefore, when both lamps are used together, the reactive power will compensate each other. And increase the power factor of the lighting system. The experiments showed that a fluorescent tubes combined with 2 LED tubes to an increase the power factor of 0.69, which compared to fluorescent and LED tubes are 0.51 and 0.52 respectively.

Keywords: Power factor, Fluorescent tubes, LED tubes

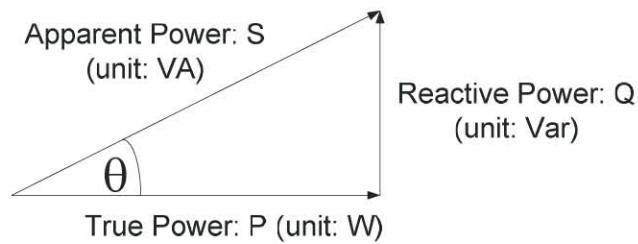
1. บทนำ

การอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร คือการลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงหรือการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ป้องกันความร้อนภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และการเปลี่ยนหลอดไฟ หลอดเรสเซนซ์ชนิดบัลลาสต์แกนเหล็กเป็นหลอดไฟแอลอีดีแทน ทำให้ลดค่าไฟฟ้าและลดต้นทุนการผลิตได้ จากวิธีการอนุรักษ์พลังงานที่กล่าวมา การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับคามนิยม เพราะช่วยลดค่าไฟฟ้าและแก้ไขปัญหาระบบไฟฟ้าตก ความไม่เสถียรภาพของการส่งกำลังไฟฟ้าให้โหด และลดค่าไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าได้ โดยพื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคือการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง เนื่องจากภาระไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นตัวเหนี่ยวนำ [1,2] และนอกจากนี้การเปลี่ยนหลอดไฟหลอดฟลูออเรสเซนซ์ T8 มาเป็นหลอดไฟแอลอีดี T8 ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงมากกว่า 50% จากการอ้างของผู้ผลิตและ จัดจำหน่ายหลอดไฟแอลอีดี [3] จากการศึกษาของ นิคม ธรรมปัญญา และคณะ ใช้หลอดไฟแอลอีดีทดแทนหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนซ์สามารถลดต้นทุนการปลูกดอกไม้ลงได้ [4] แต่การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแอลอีดีจำนวนมากย่อมเกิดผลเสียต่อคุณภาพกระแสไฟฟ้า (ฮาร์มอนิกส์) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เนื่องจากปัจจุบันการผลิตและจำหน่ายหลอดไฟแอลอีดีมีการแข่งขันค่อนข้างสูง ผู้ผลิตหลอดไฟแอลอีดีจึงลดต้นทุนการผลิตทำให้วงจรขับหลอดแอลอีดีถูกสร้างขึ้นไม่มีคุณภาพ เช่นใช้วงจรเรียงกระแสและวงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้า ทำให้คุณภาพกระแสไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังที่ป้อนให้หลอดต่ำ [5] ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้หลอดไฟแอลอีดี T8 ขนาดพิกัด 18W ร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนซ์ชนิดบัลลาสต์แกนเหล็ก T8 ขนาดพิกัด 40W เนื่องจากสมบัติของหลอดไฟทั้งสองเป็นภาระไฟฟ้าประเภทตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ อาจส่งผลให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น

2. ทฤษฎี

2.1 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือ power factor (PF.) [6] คืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง (True Power) ต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) นั่นคือค่าประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไฟฟ้ากระแสสลับจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Reactive Power) เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากภาระทางไฟฟ้าประเภทตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุไฟฟ้า ทำให้เกิดมุมต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (θ) สามารถแสดงเป็นเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 1 แสดงเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าหรือสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า เมื่อ S คือกำลังไฟฟ้าปรากฏ มีหน่วยเป็นโวลต์แอมแปร์ (VA) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$S = VI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

เมื่อ V คือแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีหน่วยเป็นโวลต์ (V) I คือกระแสไฟฟ้ากระแสสลับมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) P คือกำลังไฟฟ้าจริงมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) และ Q คือกำลังไฟฟ้าย่อยที่มีหน่วยเป็นโวลต์แอมแปร์รีแอคทีฟหรือวาร์ (VAR) กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าย่อยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) และสมการที่ (3) ตามลำดับ

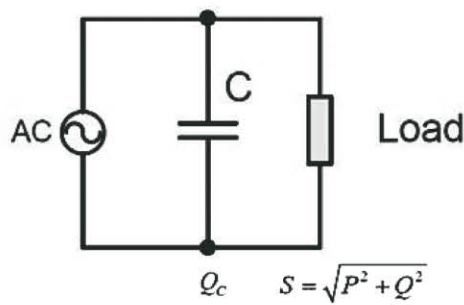
$$P = VI \cos \theta \quad (2)$$

$$Q = VI \sin \theta \quad (3)$$

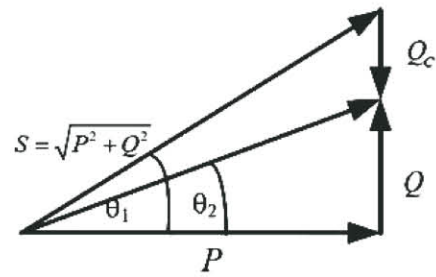
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ $\cos \theta$ ดังสมการที่ (4)

$$PF. = \cos \theta \quad (4)$$

จากสมการที่ (2) และ สมการที่ (4) ประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าจะสูงสุดเมื่อ $PF. = 1$ หรือกำลังไฟฟ้าย่อยมีค่าเท่ากับ 0 VAR ซึ่งความเป็นจริงไม่สามารถทำได้เนื่องจากภาระทางไฟฟ้าส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ (inductance load) ทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า 0.85 การปรับแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้เท่ากับหรือมากกว่า 0.85 จึงเป็นวิธีลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งวิธีปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง คือการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้า (C) เข้าระบบสายส่ง ดังรูปที่ 2 ก. เพื่อช่วยลดเขยกำลังไฟฟ้าย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2 ข.



ก.

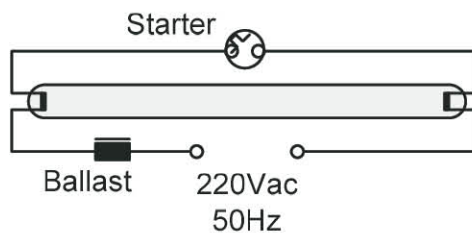


ข.

รูปที่ 2 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

2.2 วงจรหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

ชุดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างโดยอาศัยหลักการเรืองแสงของการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนในหลอดแก้วที่เคลือบสารเรืองแสงไว้ วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์มีส่วนประกอบดังนี้ หลอดไฟเคลือบด้วยสารเรืองแสง บัลลาสต์แกนเหล็ก และสตาร์ทเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ก. และเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจรหลอดไฟ จะสามารถเทียบเคียงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าได้ด้วยวงจรอนุกรมตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้างดังรูปที่ 3 ข.



ก.



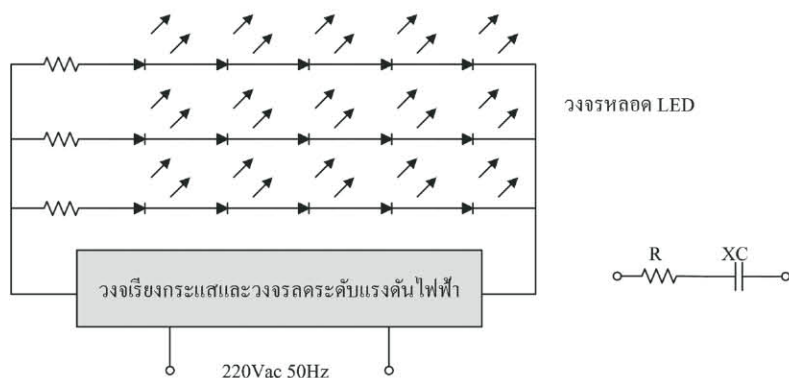
ข.

รูปที่ 3 ก. วงจรหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ข. วงจรสมมูล

2.3 หลอดไฟแอลอีดี

จากรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างวงจรชุดหลอดไฟแอลอีดี ซึ่งผลิตขึ้นเพื่อให้แสงสว่างแทนหลอดไฟชนิดไส้และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยจุดประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในงานส่องสว่าง เนื่องจากหลอดไฟแอลอีดีมีกำลังไฟฟ้าต่ำและให้แสงสว่างเทียบเท่าหรือมากกว่าหลอดไฟชนิดไส้ (incandescent) และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ วงจรหลอดไฟแอลอีดีประกอบด้วย วงจรเรียงกระแส วงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้าและวงจรอนุกรมแอลอีดี หรือขึ้นกับองค์ความรู้ของผู้ผลิตชุดหลอดไฟแอลอีดี และเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับ

วงจรหลอดไฟแอลอีดี จะสามารถเทียบเคียงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าได้ด้วยวงจรอนุกรมตัวต้านทานและตัวเก็บประจุไฟฟ้า ดังรูปที่ 4 ข.



รูปที่ 4 ก.วงจรหลอดไฟแอลอีดี ข.วงจรสมมูลหลอดไฟแอลอีดี

3. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

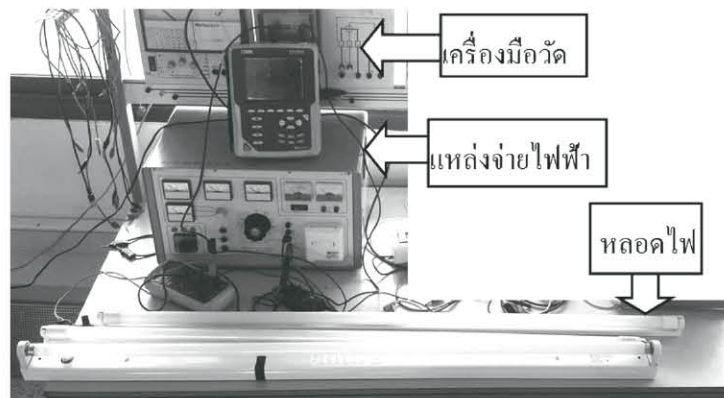
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

งานวิจัยนี้เลือกใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดบัลลาสต์แกนเหล็กพิกัด 40W และหลอดไฟแอลอีดีพิกัด 18W ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อศึกษาผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้งานร่วมกัน โดยข้อมูลจำเพาะของหลอดไฟทั้งสองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของผลิตภัณฑ์ที่ปรากฏ

หลอดไฟ (T8)	Volt.	Frequency	Power	$\cos\Phi$	Illumination
ฟลูออเรสเซนต์ 40W	220V	50Hz	40W	0.5	2600lm
แอลอีดี 18W	220V	50Hz	18W	n/a	1600lm

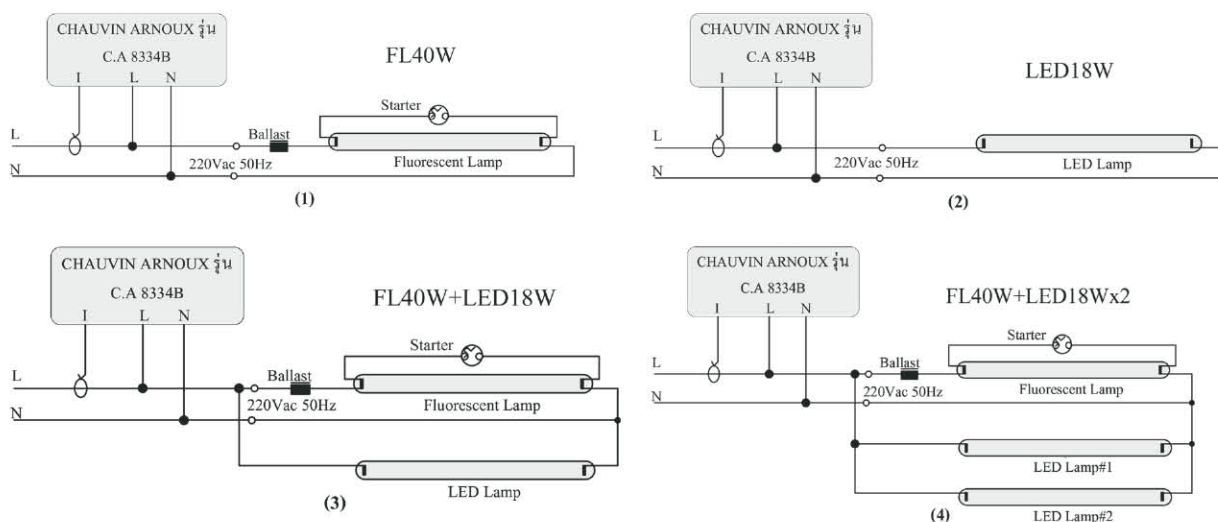
จากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟแอลอีดีที่ปรากฏบนหีบห่อ ซึ่งใช้ในการทดสอบผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ กรณีใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับหลอดไฟแอลอีดี นอกจากนี้ยังมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220V ความถี่ 50 Hz และ เครื่องมือวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า ยี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A 8334B ดังแสดงในรูปที่ 5 และหลอดไฟที่ใช้ทดลองทั้ง 2 ชนิด สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป



รูปที่ 5 อุปกรณ์ทดลอง

3.2 วิธีทดลอง

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กรณีศึกษาใช้หลอดไฟแอลอีดีร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรณีศึกษา คือ กรณีที่ 1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 40W จำนวน 1 หลอด (FL40W) กรณีที่ 2 หลอดไฟแอลอีดี 18W จำนวน 1 หลอด (LED18W) กรณีที่ 3 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 40W จำนวน 1 หลอดต่อร่วมกับหลอดไฟแอลอีดี 18W จำนวน 1 หลอด (FL40W+LED18W) และกรณีที่ 4 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 40W จำนวน 1 หลอดต่อร่วมกับหลอดไฟแอลอีดี 18W จำนวน 2 หลอด (FL40W+LED36W) ดังรูปที่ 6 โดยทุกกรณีศึกษาจะวัดกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟแต่ละชนิด



รูปที่ 6 วงจรการทดลองกรณีศึกษาที่ 1 - 4

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลอง เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า 220V ความถี่ 50Hz ให้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟแอลอีดี ในกรณีที่ 1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาดพิกัด 40W และกรณีที่ 2 หลอดไฟแอลอีดีขนาดพิกัด 18W พบว่ากำลังไฟฟ้าจริงของหลอดฟลูออเรสเซนต์วัดได้มีค่าเท่ากับ 49.9W มากกว่าพิกัดที่ระบุไว้เล็กน้อยและตัวประกอบกำลังที่วัดได้เท่ากับ 0.51 (Lagging) ใกล้เคียงกับพิกัดที่ระบุไว้ ส่วนกรณีที่ 2 กำลังไฟฟ้าจริงของหลอดแอลอีดีวัดได้ 17W ใกล้เคียงกับพิกัดที่ระบุไว้ และตัวประกอบกำลังที่วัดได้เท่ากับ 0.52 (Leading) นั้นแสดงว่าหลอดไฟชนิดนี้เป็นภาระไฟฟ้าประเภทตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

กรณีศึกษาที่ \ ค่าวัดได้	I (A)	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	PF.
1. FL40W	0.44	49.5	97.1	83.6	0.51 (Lagging)
2. LED18W	0.15	17.0	32.5	27.3	0.52 (Leading)

การทดลองกรณีที่ 3 เป็นการทดลองใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับหลอดไฟแอลอีดี ซึ่งผลการทดลองพบว่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้เท่ากับ 67.5W เท่ากับกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟทั้งสองชนิดรวมกัน ส่วนค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าวัดได้เท่ากับ 0.63(Lagging) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการทดลองกรณีที่ 1 และ 2 และ การทดลองกรณีที่ 4 เป็นการทดลองโดยใช้หลอดไฟแอลอีดีจำนวน 2 หลอดร่วมกับหลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด ผลการทดลองพบว่า กำลังไฟฟ้าจริงวัดได้เท่ากับ 84.5W ซึ่งเท่ากับกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟทั้ง 3 รวมกัน ส่วนตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่วัดได้เท่ากับ 0.69(Lagging) ซึ่งพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4

กรณีศึกษาที่ \ ค่าวัดได้	I (A)	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	PF.
3. FL40W+LED18W	0.5	67.5	107.0	83.5	0.63 (Lagging)
4. FL40W+LED36W	0.54	84.5	121.8	87.7	0.69 (Lagging)

5. สรุป

จากการศึกษาผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากรณีใช้หลอดไฟแอลอีดีร่วมกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์พบว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแสงสว่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากหลอดไฟแอลอีดีเป็นภาระไฟฟ้าประเภทตัวเก็บประจุสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่เป็นตัวเหนี่ยวนำได้ นอกจากนี้ภาพรวมระบบส่องสว่างที่มีการใช้หลอดไฟทั้งสองชนิดรวมกันจะมีประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) เพิ่มขึ้น เนื่องจากมี

ความสว่างเพิ่มขึ้นและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4 แนวทางการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยนี้ คือ กรณีโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดบัลลาสต์แกนเหล็กขนาด 2x40W หรือ 3x40W สามารถลดจำนวนหลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ได้ 2-3 หลอด ด้วยใช้หลอดไฟแอลอีดีร่วมกับหลอดไฟแอลอีดีกรณี ที่ 3 และกรณีที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าประสิทธิภาพของแสงสว่างต่อกำลังไฟฟ้าจริง

กรณีศึกษาที่	กำลังไฟฟ้า (W)	Illumination (lm)	Luminous Efficacy (lm/W)	PF.
1. FL40W	49.5	2600	52.53	0.51 (Lagging)
2. LED18W	17.0	1600	94.12	0.52 (Leading)
3. FL40W+LED18W	67.5	4200	62.22	0.63 (Lagging)
4. FL40W+LED36W	84.5	5800	68.64	0.69 (Lagging)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉัตรพงษ์ บุปผา, มนัส บุญเที่ยรทอง และ สุโขติ รักไทยเจริญชีพ, “การปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, ครั้งที่9, โรงแรมเคพีแกรนด์ จังหวัดจันทบุรี, 2560, หน้า 84-87.
- [2] เฉลียว เกตุแก้ว, ชัยณรงค์ เอี่ยมพูน, นิคม กุลมาตย์, อภิเชษฐ์ รอดทอง และโสภา แซ่เฮ้ง, “การสร้างชุดการเรียนรู้การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำด้วยตัวเก็บประจุ,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, ครั้งที่ 6, มาริไทม์ ปาร์คแอนสปิริตส์ จังหวัดกระบี่, 2557, หน้า 521-524.
- [3] W.R. Ryckaert, K.A.G. Smet, I.A.A. Roelandts, M. Van Gils and P. Hanselaer, “Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation,” Energy and Buildings, Vol. 49, 2012, pp. 429-436.
- [4] นิคม ธรรมปัญญา, นายอนันต์ นาอิน และนายอุดร อาวาสพรหม, “การหาค่าประกอบที่เหมาะสมในการใช้หลอด LED ทดแทนหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เพื่อลดต้นทุนค่าไฟฟ้าในการปลูกดอกเบญจมาศ (นาร่อง ณ. โครงการหลวงสะโงะ จ.เชียงราย),” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, ครั้งที่9, โรงแรมเคพีแกรนด์ จังหวัดจันทบุรี, 2560, หน้า 274-277.
- [5] ชัชนันท์ ลิ้มปะวะสส์, กัปตัน ปวีร์วัฒน์ และนรินทร์ วัฒนกุล, “การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพกระแสสำหรับหลอดแอลอีดี,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, ครั้งที่ 6, มาริไทม์ ปาร์คแอนสปิริตส์ จังหวัดกระบี่, 2557, หน้า 297-300.
- [6] เอก ไชยสวัสดิ์, การวัดและเครื่องมือวัดไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 7, สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2547. หน้า 319-321.