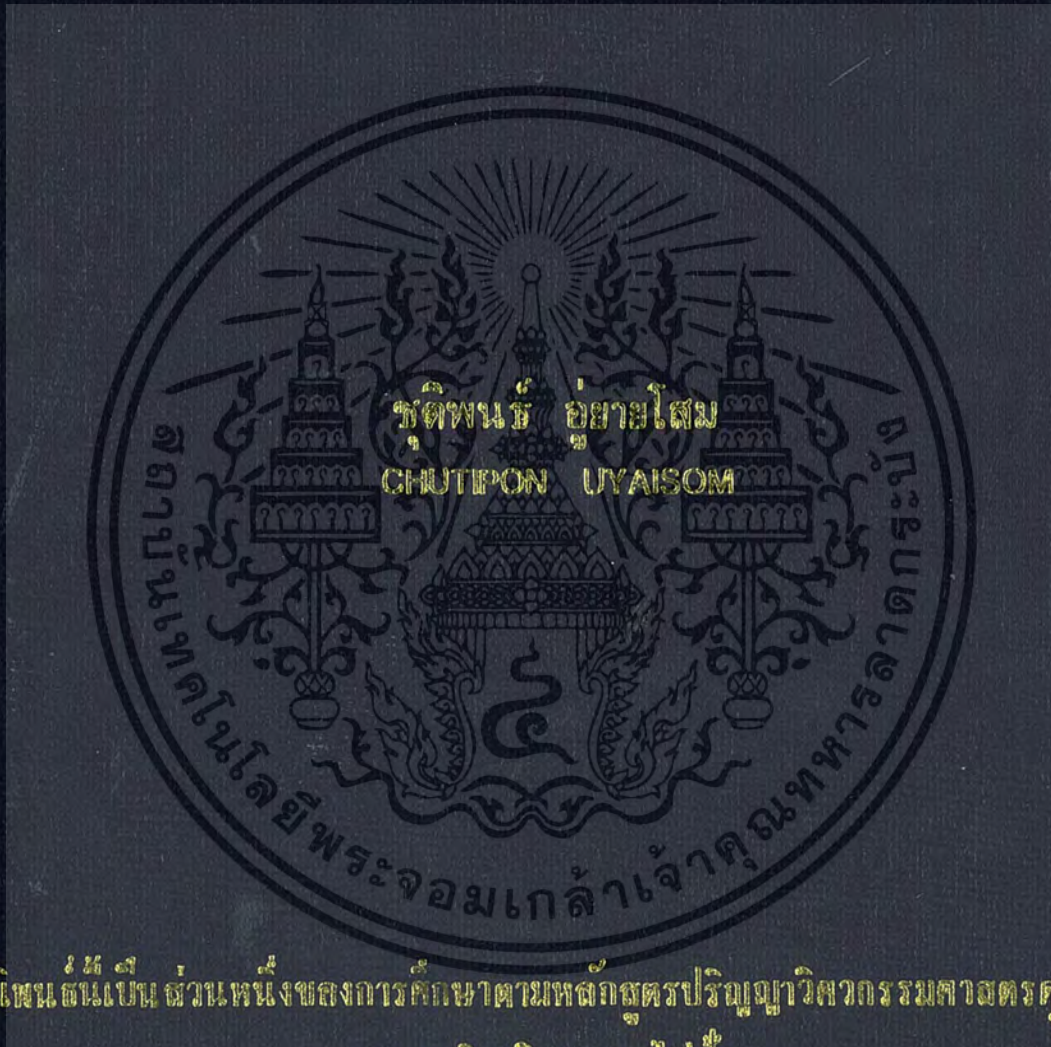


การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบต้นทุนพลังงาน  
และสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้าของบริษัทจำหน่าย

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY  
AND ELECTRICAL ENVIRONMENT OF LIGHTING EQUIPMENTS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-018-026

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบด้านพลังงาน  
และสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้าของบริภัณฑ์ส่องสว่าง

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY  
AND ELECTRICAL ENVIRONMENT OF LIGHTING EQUIPMENTS



T144155



ชุตินันท์ อู่ยายโสสม  
CHUTIPON UYAISSOM

b. 00266977  
i. ....

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 144155  
วันเดือนปี 01 ม.ค. 2559

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-018-026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY  
AND ELECTRICAL ENVIRONMENT OF LIGHTING EQUIPMENTS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016  
KMITL-2016-EN-D-018-026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้าของบริภัณฑ์ส่องสว่าง  
Thesis Title The Comparative Analysis of Energy and Electrical Environment of Lighting Equipment  
นักศึกษา นายชุตินันท์ อู่ยายโสม  
รหัสประจำตัว 56601362  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-D-018-026

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	
รศ.ดร.สมยศ	เกียรติวณิชวิไล	
รศ.ดร.วิบูลย์	ชินแขก	
รศ.ดร.สมชาติ	จิรวิภากร	
รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์	ชันเงิน	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-204

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้าของบริภัณฑ์ส่องสว่าง
นักศึกษา	นายชุตินันท์ อู่ยายโสม
รหัสประจำตัว	56601362
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชื่นเงิน

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้าของบริภัณฑ์ส่องสว่าง ที่เกิดจากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนหลอดไส้มาเป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ และการเปลี่ยนจากคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบที่แปด ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กธรรมดา มาเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือมาเป็นคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบที่ห้า ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ เนื่องจากสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 30-80 แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวอาจจะสร้างปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้า เช่น ปัญหาค่าตัวประกอบกำลังต่ำ ปัญหาฮาร์มอนิกส์ ปัญญาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรืออีเอ็มไอ ผ่านทางตัวนำ ซึ่งส่งผลเสียต่อระบบไฟฟ้ากำลัง อุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบควบคุม หรือระบบอัตโนมัติ ต่างๆ โดยผลการทดลองทางไฟฟ้าจะประกอบด้วย การบริโภคพลังงานไฟฟ้า การประหยัดพลังงานไฟฟ้า ผลกระทบข้างเคียงต่อสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้า และผลการทดลองทางแสงสว่าง รวมทั้งการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน โดยการทดลองวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรืออีเอ็มไอ ผ่านทางตัวนำ จะอ้างอิงมาตรฐาน CISPR-15 และ CISPR-16

ผลการวิจัยพบว่ากรณีของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์สามารถประหยัดพลังงานได้สูงถึงร้อยละ 76.22 แต่จะสร้างปัญหาทางสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้า และระยะเวลาของจุดคุ้มทุนเร็วมากคือ 0.38 ปี เท่านั้น โดยระบบคอมฟลูออเรสเซนต์ที่เหมาะสมที่สุด คือ คอมฟลูออเรสเซนต์ระบบที่แปดที่ใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ เนื่องจากสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 15.21 เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยไม่สร้างปัญหาฮาร์มอนิกส์ และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรืออีเอ็มไอ ผ่านทางตัวนำ และราคาถูกใช้เงินลงทุนต่ำจุดคุ้มทุนสั้นมากประมาณ 1.49 ปีเท่านั้น

หลอดแอลอีดีแบบที่แปดสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 64.13 % ของคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบที่แปดที่ใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กธรรมดา และหลอดแอลอีดีแบบใช้แทนหลอดไส้ธรรมดาสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 84.32 % ของหลอดไส้ธรรมดา แต่อาจจะสร้างปัญหาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า และสัญญาณรบกวนอีเอ็มไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	The Comparative Analysis of Energy and Electrical Environment of Lighting Equipments
Student	Mr. Chutipon Uyaisom
Student ID.	56601362
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern

## ABSTRACT

This thesis presents the comparative analysis of energy and electrical environment of lighting equipment due to replacing method for electrical energy saving such as replacing incandescent lamp to compact fluorescent lamp and replacing fluorescent lamp (T8) system with magnetic ballast conventional type to electronics ballast or fluorescent lamp (T5) system with electronics ballast. Which preferred method due to can be electrical energy savings of up to 30-80 %, However this method may create side effect problem to electrical environment such as low power factor problems, harmonics problems, focus on conducted EMI emission problems with effect to electrical power system, electrical equipment, control system, automatics system and so on.

The experiment results consists of electrical power consumption, electrical energy saving, illuminance and breakeven point analysis. Experimental measurements of electromagnetic interference or conducted EMI Emission are referred to CISPR-15 CISPR-16 standards The results of research showed that the effective of compact fluorescent lamp can be electrical energy saving up to 76.22 percent, but create side effect problem to electrical environment, and very short time of breakeven point is 0.38 years only. The selected of fluorescent lamps system is fluorescent lamps (T8) system with magnetic ballast low loss type due to can be electrical energy saving about 15.21 percent is referred of magnetic ballast conventional type, not create harmonics problem, conducted EMI problem, low cost, and low Investment very short times of payback period is 1.49 year only.

The LED lamp (T8 type) can be electrical energy saving up to 64.13 percent of fluorescent lamp (T8) system with magnetic ballast conventional type and LED lamp (incandescent type) can be electrical energy saving up to 84.32 percent of incandescent conventional type, but may create side effect to electrical power quality and EMI noise problems.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาในด้านต่างๆ ที่ดีมากๆ ในทุกหัวข้อเรื่อง จาก รศ. ร.อ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตา และความกรุณาจากท่าน และขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ดร.โชติรัส ขวณิชย์ อธิการบดี มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ที่เมตตาตามอบทุนการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งเป็นจำนวนเงินที่สูงมากถึง 700,000 บาท และให้เวลาในการศึกษาอีก 8 ปี

ขอกราบนมัสการขอบพระคุณ หลวงพ่อปัญญานันทมุนี (เจ้าอาวาสวัดปัญญานันทาราม จังหวัดปทุมธานี) ผู้ที่คอยสั่งสอน แนะนำ ให้วิธีคิด แนวความคิด ตามหลักพุทธศาสนา อันเป็นเสมือนเข็มทิศ และพลังผลักดันให้เดินหน้าทำงานต่อไปอย่างผู้มีสติปัญญา

ขอกราบขอบพระคุณครูผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่งของผมทุกๆ ท่าน ดังมีรายนามดังต่อไปนี้  
คณาจารย์จากมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ดังนี้

อาจารย์สุภกัญญา ขวณิชย์ รศ.ดร.สมบัติ ทิมทรัพย์ ดร. ราชนีย์ เหล็กกล้า ผศ.บุษยมาส ลินธูประมา รศ.ดร.พิมลพรรณ เรพเพอร์ อาจารย์ชลวัลย์ เสาวกุล อาจารย์ศิริจันทรา พลกนิษฐ อาจารย์คณิตศร บุญรัตน์ และคุณสมศักดิ์ วัชรอง (นักศึกษาช่วยงานวิจัย)

คณาจารย์จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังนี้

ศ.ดร.วันชัย รั้วรุจา รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ รศ.ดร.อนุวัฒน์จางวนิชเลิศ และดร.มงคล กลิ่นกระจาย (ม.เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี) และผศ.ดร.จักรพงษ์ จารุมิศรี (ส.เทคโนโลยีปทุมวัน) และอาจารย์อติสมัย โสพันธ์ (ม.ราชภัฏสวนสุนันทา) และครูแพท

ดร.ไกรสร อัญชลีวรรณพันธุ์ และคุณมารุต หนีแหนะ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน (ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือพีเทค (PTEC) ที่กรุณาเอื้อเฟื้อและช่วยเหลือในการทดสอบ

ขอขอบพระคุณ Prof.Dr. Shuichi Nitta และผศ.ดร.วุฒิพล ธาราธิเรศรชู้ (ม.ศรีนครินทรวิโรฒ) ที่ได้ให้คำแนะนำและแนวทางในการทำงานวิจัยอันเป็นประโยชน์และมีค่าอย่างยิ่ง และให้กำลังใจในการทำวิจัย รวมทั้งขอขอบใจพี่น้องครอบครัวชาว EMC Lab ทุกคน ที่ให้ความรักและให้กำลังใจเสมอ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อสนั่น รัตมี และคุณแม่ซี ทวีวรรณ ฤทธิเจริญ พีจร พี่แ้ว พี่เจียบ พี่ตุ้ย พี่ตั้ม พี่หญิง พี่น้อย ทิพย์ หลานๆ เหลนๆ ทุกคน ซึ่งเป็นครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่คอยแนะนำ ช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้กำลังใจทรัพย์ คอยปกป้องดูแล และคอยปลอบใจในเวลาที่ไม่สบายใจ และไม่สบายกายตลอดมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ต่างๆ อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งที่เอ่ยนามและไม่ได้เอ่ยนาม รวมทั้งจะใช้ความรู้ และโอกาสที่ได้ทำการศึกษาครั้งนี้ เพื่อประโยชน์ต่อส่วนรวม และประเทศชาติต่อไป

*“เส้นทางนี้ผิดพลาดได้แค่ 2 อย่าง..คือไม่เดินให้สุดทาง และไม่เริ่มเดินตั้งแต่ก้าวแรก”*

ชุตินันท์ อู่ยาโยสม

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	IV
สารบัญ .....	V
สารบัญตาราง .....	IX
สารบัญรูป .....	X
คำย่อต่างๆ .....	XIV
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 การทบทวนวรรณกรรม .....	5
1.3 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	8
1.4 สมมุติฐานของการศึกษา .....	9
1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทดลอง .....	9
1.6 ขอบเขตการศึกษา .....	9
1.7 ขั้นตอนการศึกษา .....	10
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	11
2.1 ปริมาณและหน่วยวัดทางแสง (Quantities and Units) .....	11
2.1.1 บทนำ .....	11
2.2 ปริมาณทางไฟฟ้าแสงสว่าง .....	11
2.3 ปริมาณและหน่วยทางแสง (Photometric Quantities and Unit) .....	12
2.3.1 ฟลักซ์การส่องสว่าง Luminous Flux ( $\Phi$ , lm) .....	12
2.3.2 ความเข้มการส่องสว่าง –luminous Intensity (I, cd) .....	13
2.3.3 ความสว่าง-Illuminance (E, lx) .....	14
2.3.4 ความส่องสว่าง- Luminance (L, cd/m <sup>2</sup> ) .....	14
2.4 แหล่งกำเนิดแสง (Light Sources) .....	14
2.4.1 หลอดไส้ (Incandescent Lamps) .....	15
2.4.1.1 หลอดไส้แบบธรรมดา (Incandescent Lamp) .....	15
2.4.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Flurescent Lamp) .....	17
2.4.3 ชนิดของหลอด .....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบธรรมดา.....	19
2.4.3.2 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์.....	20
2.4.4 คุณลักษณะการทำงาน.....	20
2.4.5 อุปกรณ์ในวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	21
2.4.5.1 สตาร์ทเตอร์ (Starter).....	21
2.4.5.2 วงจรสำหรับหลอดชนิดต่างๆ (Operating Circuit).....	22
2.4.5.3 บัลลาสต์ (Ballast).....	23
2.4.5.3.1 บัลลาสต์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Ballast).....	23
2.4.5.3.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) ทั้งระบบ T8 และ T5.....	24
2.5 ฮาร์มอนิกส์และความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม.....	25
2.6 ความหมายของค่าตัวประกอบกำลัง.....	27
2.7 DPF: Displacement Power Factor.....	27
2.8 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle).....	30
2.9 สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ.....	31
2.9.1 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC).....	31
2.9.2 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ.....	32
2.9.3 องค์ประกอบแฝงของอุปกรณ์.....	33
2.9.3.1 ตัวเก็บประจุ.....	33
2.9.3.2 ตัวเหนี่ยวนำ.....	34
2.10 มาตรฐานและการวัดการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	36
2.10.1 มาตรฐาน EMC นานาชาติที่เกี่ยวข้อง.....	36
2.10.1.1 FCC REGULATIONS.....	36
2.10.1.2 CISPR.....	36
2.10.2 มาตรฐาน EMC ในประเทศ (มอก.).....	37
2.10.2.1 การจัดวางอุปกรณ์ (ตามมาตรฐาน มอก. 1955-2551).....	37
2.10.2.2 การจัดระนาบพื้น.....	39
2.10.3 ขีดจำกัดสัญญาณการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	39
2.10.4 โครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ หรือ LISN.....	40
2.10.5 ตัวอย่างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ EMI.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง.....	42
3.1 การทดลองทางไฟฟ้า.....	43
3.2 การทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI ผ่านทางตัวนำ.....	47
3.3 การทดลองทางแสง.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	51
4.1 ผลการทดลองทางไฟฟ้า.....	52
4.2 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำเบื้องต้น จากห้องปฏิบัติการทดลองทางไฟฟ้า และ EMC Lab.....	55
4.2.1 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ โดยอ้างอิงจากบทความ PEDS 2007.....	55
4.2.2 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ โดยอ้างอิงจากบทความ ICEAST 2007.....	60
4.2.3 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ โดยอ้างอิงจากบทความ APSAEM 2008.....	62
4.3 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ จากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือ พีเทค (PTEC).....	64
4.4 ผลการทดลองทางแสง.....	68
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	69
5.1 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกรณีหลอดไส้ธรรมดา กับ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์.....	70
5.2 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกรณีโคมคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 และ T5.....	74
5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลอง ค่า DPF, PF และค่า % THD <sub>i</sub> .....	79
บทที่ 6 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน.....	81
6.1 การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (breakeven point) กรณีของหลอด CFL กับหลอดไส้.....	82
6.2 การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (breakeven point) กรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดต่างๆ ทั้งระบบ T8 และ T5.....	85
6.3 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในรูปของคะแนนของสมรรถนะต่างๆ 8 ด้าน.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 หลอดแอลอีดี (LED lamp).....	97
7.1 บททั่วไป.....	97
7.2 การทดลองและผลการทดลองหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด.....	97
7.2.1 หลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด.....	97
7.2.2 หลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ที่ใช้แทนหลอดไส้.....	99
7.3 สรุปและวิเคราะห์กรณีหลอดแอลอีดี.....	100
7.3.1 สรุปกรณีตัวอย่างหลอดแอลอีดีขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด.....	100
7.3.2 สรุปกรณีตัวอย่างหลอดแอลอีดีขนาด 6 วัตต์ที่ใช้แทนหลอดไส้.....	101
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	102
เอกสารอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก (บทความที่ได้รับการตีพิมพ์).....	109
ประวัติผู้เขียน.....	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัญลักษณ์และหน่วยวัดของปริมาณทางแสง.....	11
2.2 ค่าพังก์ชันการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ.....	13
3.1 ไดอะแกรมของการทดลองทั้งหมด.....	42
4.1 กรณีศึกษาที่ใช้ในการทดลอง.....	51
4.2 ผลการทดลองทางแสงของหลอดไฟฟ้าแบบต่างๆ.....	68
5.1 สรุปผลการทดลองทั้งหมด.....	69
5.2 ผลการวัดค่า PF., PDF และ %THD <sub>i</sub> ของหลอดไฟฟ้าแต่ละแบบ.....	80
6.1 ราคาหลอดไฟชนิดต่างๆ.....	81
6.2 ระยะเวลาคืนทุนของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์.....	84
6.3 ระยะเวลาคืนทุน 1-5 ปี ของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์.....	84
6.4 ระยะเวลาคืนทุนของโคมฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ (ปี).....	88
6.5 ระยะเวลาคืนทุน 1-5 ปี ของโคมฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ.....	89
6.6 ราคาหลอดไฟชนิดต่างๆที่ปรับราคาลงแล้ว.....	90
6.7 ผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในรูปของคะแนนของสมรรถนะด้านต่างๆ 8 ด้าน.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เส้นโค้งความไวของตามนุษย์.....	12
2.2 การแบ่งประเภทหลอดไฟฟ้า.....	15
2.3 ส่วนประกอบสำคัญของหลอดไส้.....	16
2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	17
2.5 สตาร์ทเตอร์สำหรับหลอดแบบที่ใช้ตัวจุดหลอด.....	21
2.6 วงจรแบบ Switch-Start Circuit.....	22
2.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์.....	24
2.8 รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปจากไซน์ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบความถี่หลักมูลโดยมีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 และค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (THD) เท่ากับ 33%.....	26
2.9 ค่าตัวประกอบกำลังต่อค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกสรวมของกระแสไฟฟ้ากรณีหลอดไม่เป็นเชิงเส้น.....	29
2.10 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle).....	30
2.11 การเชื่อมโยงทางตัวเก็บประจุแฝง.....	32
2.12 การเชื่อมโยงผ่านทางตัวเหนี่ยวนำแฝง.....	32
2.13 การเกิดสัญญาณรบกวน.....	33
2.14 กราฟเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ.....	34
2.15 กราฟเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ.....	35
2.16 โครงบแบบทดสอบ: บริภัณฑ์วางบนโต๊ะ (การวัดสัญญาณรบกวนที่นำตามสาย).....	38
2.17 ขีดจำกัดสำหรับการแพร่กระจายผ่านทางตัวนำตามมาตรฐาน CISPR.....	39
2.18 วงจรของโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ AMN/LISN.....	40
2.19 กราฟอิมพีแดนซ์กับความถี่ของโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ AMN/LISN.....	41
2.20 ตัวอย่างเครื่อง EMI Analyzer ที่ใช้ในการวัด.....	41
2.21 ตัวอย่างเครื่องโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ LISN.....	41
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า.....	43
3.2 บล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI ผ่านทางตัวนำ.....	43
3.3 หลอดไส้ 40 วัตต์ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 8 วัตต์ และโคมดาวน์ไลท์ขนาด 6 นิ้ว.....	44
3.4 บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา และแบบการสูญเสียต่ำ ขนาดพิกัด 36 วัตต์.....	44
3.5 บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (LPF.) และแบบค่าตัวประกอบกำลังสูง (HPF.) ขนาด 36 วัตต์.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ (MB) โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 28 วัตต์ ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ (LPF.) โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 28 วัตต์ ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ (HPF.).....	45
3.7 ห้องมืดที่ใช้ในการทดลองวัดทางแสง และลักซ์มิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดค่าความสว่าง.....	48
3.8 โพรบวัดกระแส และเครื่องวิเคราะห์คุณภาพทางไฟฟ้า.....	48
3.9 หม้อแปลงอโต้ 0-250 VAC. 10 A.....	48
3.10 ห้องปฏิบัติการทดลองทางไฟฟ้า และ EMC Lab.....	49
3.11 ห้องควบคุมการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำจากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ หรือ PTEC.....	49
3.12 ห้องทดลองวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำจากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ หรือ PTEC.....	50
4.1 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากหลอดไส้ธรรมดาแบบไส้ธรรมดา ขนาด 40 วัตต์.....	52
4.2 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 8/40 วัตต์.....	52
4.3 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดา).....	53
4.4 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ).....	53
4.5 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ).....	53
4.6 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง).....	54
4.7 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากโคม FL. 28 วัตต์-T5 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ).....	54
4.8 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ จากโคม FL. 28 วัตต์-T5 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง).....	55
4.9 EMI noise จากหลอดไส้ ขนาด 40 วัตต์ (Max EMI noise = 40 dB $\mu$ V at 9 KHz).....	55
4.10 EMI noise จากหลอด CFL. ขนาด 8 วัตต์ (Max EMI noise = 69 dB $\mu$ V at 9 KHz).....	56
4.11 EMI noise จากหลอด FL.MB ขนาด 36 วัตต์ (Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 10 KHz).....	56
4.12 EMI noise จากหลอด FL.EB ขนาด 36 วัตต์ (Max EMI noise = 75 dB $\mu$ V at 31 KHz).....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอดไส้ 40 W กับหลอด CFL. 8 W).....	57
4.14 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอดไส้ 40 W กับหลอด FL.-MB 36 W).....	58
4.15 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอดไส้ 40 W กับหลอด FL.-EB 36 W).....	58
4.16 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอด CFL. 8 W กับหลอด FL.-MB 36 W).....	59
4.17 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอด CFL. 8 W กับหลอด FL.-EB 36 W).....	59
4.18 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอด FL.-MB 36 W กับหลอด FL.-EB 36 W).....	60
4.19 EMI noise จากหลอด FL.-MB 36 W (Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 0.010 KHz).....	60
4.20 EMI noise จากหลอด FL.-MB+cap.36 W (Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 0.009 KHz).....	61
4.21 EMI noise จากหลอด FL.-EB 36 W (Max EMI noise = 100 dB $\mu$ V at 0.092 KHz).....	61
4.22 EMI noise จากหลอด FL.-EB 36 W-Brand A-LPF.....	62
4.23 EMI noise จากหลอด FL.-EB 36 W-Brand A-HPF.....	62
4.24 EMI noise จากหลอด FL.-EB 36 W-Brand B.....	63
4.25 EMI noise จากหลอด FL.-EB 36 W-Brand C.....	63
4.26 EMI noise จากหลอดไส้ธรรมดาแบบไส้ธรรมดา ขนาด 40 วัตต์.....	64
4.27 EMI noise จากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 8/40 วัตต์.....	64
4.28 EMI noise จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดา).....	65
4.29 EMI noise จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ).....	65
4.30 EMI noise จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่า PF. ต่ำ).....	66
4.31 EMI noise จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบ PF. สูง).....	66
4.32 EMI noise จากโคม FL. 28 วัตต์-T5 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่า PF. ต่ำ).....	67
4.33 EMI noise จากโคม FL. 28 วัตต์-T5 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่า PF. สูง).....	67
5.1 กราฟเปรียบเทียบกระแสต้านเข้าระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.....	70
5.2 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าต้านเข้าระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.....	70
5.3 กราฟเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหลอด CFL.....	71
5.4 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 กราฟเปรียบเทียบ %THD; ระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.....	72
5.6 กราฟเปรียบเทียบ EMI (max) ระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.....	72
5.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความสว่างระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.....	73
5.8 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.....	73
5.9 กราฟเปรียบเทียบกระแสต้านเข้าของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	74
5.10 กราฟเปรียบเทียบการกินกำลังไฟฟ้าของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	74
5.11 กราฟเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	75
5.12 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	75
5.13 กราฟเปรียบเทียบค่า %THDi ของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	76
5.14 กราฟเปรียบเทียบค่า EMI (max) ของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	76
5.15 กราฟเปรียบเทียบค่าความสว่างของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	77
5.16 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ.....	77
6.1 กราฟระยะเวลาคืนทุนของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (ปี).....	85
6.2 กราฟระยะเวลาคืนทุนของโคมฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ (ปี).....	89
6.3 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบต่างๆ.....	93
6.4 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะ FL.T8-MB-36W กับ FL.T8-MB-low loss-36W.....	93
6.5 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะ FL.T8-MB-36W กับ FL.T8-EB-LPF-36W.....	94
6.6 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะ FL.T8-MB-36W กับ FL.T8-EB-HPF-36W.....	94
6.7 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะ FL.T8-MB-36W กับ FL.T5-EB-LPF-28W.....	95
6.8 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะ FL.T8-MB-36W กับ FL.T5-EB-HPF-28W.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อต่างๆ

1. FL. : Fluorescent Lamp
2. CFL. : Compact Fluorescent Lamp
3. LED : Light Emitting Diode
4. MB. : Magnetic Ballast
5. EB. : Electronics Ballast
6. LPF. : Low Power Factor
7. HPF. : High Power Factor
8. PF. : Power Factor
9. % THD : Total Harmonics Distortion
10. EMI : Electromagnetic Interference



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันแหล่งพลังงานฟอสซิลของโลกกำลังจะเหลือน้อยลง และกำลังจะหมดไป ส่งผลทำให้ราคาพลังงานของโลก ไม่ว่าจะเป็นแก๊ส น้ำมัน จึงมีการปรับราคาสูงขึ้นตามมา ดังนั้นหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน จึงได้หันมาให้ความสำคัญกับเรื่องพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เรื่องของการประหยัดพลังงาน ซึ่งถือเป็นการลดต้นทุนทางธุรกิจแล้ว ยังถือเป็นการ ช่วยลดภาวะโลกร้อน และเป็นการอนุรักษ์โลกอีกด้วย

ซึ่งในประเทศไทยตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พศ 2554-2573) ของกระทรวงพลังงาน ได้ประกาศใช้กลยุทธ์ต่างๆ [1] ที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ดังนี้ [1]

(1) กลยุทธ์ด้านการส่งเสริมและสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน

1.2 มาตรการสนับสนุนการใช้อุปกรณ์/เครื่องใช้ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง

- การสนับสนุนการใช้อุปกรณ์/เครื่องใช้ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง เช่น หลอดไฟ CFL, เต้าหู้หุงต้มประสิทธิภาพสูง เป็นต้น

(2) กลยุทธ์ด้านการส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม

2.1 มาตรการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์/เครื่องใช้ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง

- การส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์/เครื่องใช้ที่มีเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง เช่น หลอดไฟ LED เครื่องทำน้ำร้อน Heat pump เป็นต้น

2.2 มาตรการสนับสนุนการพัฒนาบ้านประหยัดพลังงานต้นแบบ

- การสนับสนุนออกแบบและก่อสร้างบ้านสาธิตเพื่อเป็นตัวอย่างบ้านประหยัดพลังงาน

และนโยบายพลังงานของรัฐบาลปัจจุบัน ตามคำแถลงนโยบายของคณะรัฐมนตรีต่อรัฐสภา (23 สิงหาคม 2554) ดังตัวอย่างหัวข้อย่อย 3.5.1-3.5.5 [2] ที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ดังนี้ [2]

3.5.1 ส่งเสริมและผลักดันการอนุรักษ์พลังงานอย่างเต็มรูปแบบ โดยลดระดับการใช้พลังงานต่อผลผลิตลงร้อยละ 25 ภายใน 20 ปี และมีการพัฒนาอย่างครบวงจร ส่งเสริมการใช้อุปกรณ์และอาคารสถานที่ที่มีประสิทธิภาพสูง ส่งเสริมกลไกการพัฒนาพลังงานที่สะอาดเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก และแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน สร้างจิตสำนึกของผู้บริโภคในการใช้พลังงานอย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพให้เป็นระบบจริงจังและต่อเนื่องทั้งภาคการผลิต ภาคการขนส่ง และภาคครัวเรือน

3.5.2 สร้างเสริมความมั่นคงทางพลังงาน โดยแสวงหาและพัฒนาแหล่งพลังงานและระบบไฟฟ้าจากทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งใหม่การกระจาย แหล่งและประเภทพลังงานใหม่ ความหลากหลาย เหมาะสม และยั่งยืน

3.5.4 ส่งเสริมการผลิต การใช้ ตลอดจนการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก โดยตั้งเป้าหมายให้สามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อย่างน้อยร้อยละ 25 ภายใน 10 ปี ทั้งนี้ ใหม่การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างครบวงจร

3.5.5 ส่งเสริมและผลักดันการอนุรักษ์พลังงานอย่างเต็มรูปแบบ โดยลดระดับการใช้พลังงานต่อผลผลิตลงร้อยละ 25 ภายใน 20 ปี และมีการพัฒนาอย่างครบวงจร ส่งเสริมการใช้อุปกรณ์และอาคารสถานที่ที่มีประสิทธิภาพสูง ส่งเสริมกลไกการพัฒนาพลังงานที่สะอาดเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก และแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน สร้างจิตสำนึกของผู้บริโภคในการใช้พลังงานอย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพให้เป็นระบบจริงจังและต่อเนื่องทั้งภาคการผลิต ภาคการขนส่ง และภาคครัวเรือน

โดยงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสอดคล้องกับแผนพัฒนาระยะยาวของไทยในด้านพลังงานในปัจจุบัน ซึ่งมีเนื้อหา ดังนี้

1. PDP (Power Development Plan) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย โดยอนุมัติเมื่อ 23 มีนาคม 2553 มีผล 2553-2573 และฉบับปัจจุบันเป็นฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 (PDP 2010 Rev. 3)

- เพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทางเลือก/พลังงานทดแทน ให้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ให้ได้ 25% ใน 10 ปี
- ส่งเสริมการลดสัดส่วนระดับการใช้พลังงานต่อผลผลิตลดลง 20 % ใน 20 ปี
- AEDP (Alternative Energy Development Plan) แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 2555-2564 (ล่าสุด AEDP2015, 2558-2579)
- EE (Energy Efficiency Development Plan) แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี 2554-2573

โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า ของประเทศไทย (PDP ฉบับใหม่) ซึ่งมีประเด็นพิจารณาในการจัดทำแผน PDP ซึ่งได้รับความเห็นชอบจาก กพข. (ครั้งที่ 146) เมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2557 ดังนี้

ความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ เพื่อให้มีความมั่นคงครอบคลุมทั้งระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า รัยพื้นที่ สัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาถึงผลประโยชน์สูงสุดทางด้านเศรษฐศาสตร์ในประเด็นสำคัญ 4 ด้าน ได้แก่

1. ความยั่งยืนทางพลังงานของประเทศ (Sustainability) ได้แก่ การมีโรงไฟฟ้าในประเทศ และใช้ทรัพยากรในประเทศในการผลิตไฟฟ้า
2. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (Cost Effectiveness) มีราคาไฟฟ้าที่เหมาะสม ประชาชนและภาคธุรกิจสามารถยอมรับได้ และไม่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ
3. การกระจายแหล่งเชื้อเพลิง (Fuel Diversification) คือไม่พึ่งพาเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่ง มากจนทำให้เกิดความเสี่ยงด้านพลังงาน
4. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Emission) เพิ่มการใช้พลังงานสะอาดหรือพลังงานหมุนเวียน ความสอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนพัฒนาพลังงานหมุนเวียนของประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแผนอนุรักษ์พลังงาน ใหม่ พ.ศ. 2558-2579 โดยมีเป้าหมายลด EI 30% จากปี 2553 (แผนเดิมคือ 25%) โดยมียุทธศาสตร์แผนอนุรักษ์พลังงาน 2558-2579 ดังนี้

1. การใช้มาตรการแบบผสมผสานทั้งการบังคับและสนับสนุนจูงใจ
2. การใช้มาตรการที่จะส่งผลกระทบต่อวงกว้างให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม
3. การให้เอกชนเป็นหุ้นส่วนสำคัญในการส่งเสริมและดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน
4. การใช้มืออาชีพและบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) เป็นกลไกสำคัญ
5. การเพิ่มการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยี และเสริมสร้างธุรกิจผลิตสินค้าที่มีประสิทธิภาพ

พลังงานสูง

6. ยกระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานทุกภาคเศรษฐกิจให้ทัดเทียมสากล
7. ผลักดันมาตรการอนุรักษ์พลังงานอย่างเข้มข้นเพื่อช่วยเสริมความมั่นคงด้านพลังงานใน

ระดับภูมิภาค

โดยมีแนวทางการอนุรักษ์พลังงานดังนี้

1. อุตสาหกรรม
  - ยกระดับ SEC (พลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิต) ของอุตสาหกรรมแต่ละสาขา ให้เป็นระดับที่ดีที่สุดในโลก ณ ปี 2556

• ส่งเสริมอุตสาหกรรมที่มีค่าการใช้พลังงานต่อผลผลิตต่ำ

2. อาคารธุรกิจขนาดใหญ่

• ยกระดับ BEC (building energy code for minimum performance) ให้เป็นระดับ

Economic building

3. อาคารธุรกิจขนาดเล็กและบ้านอยู่อาศัย

• ยกระดับประสิทธิภาพพลังงานและเพิ่มสัดส่วนการใช้งานอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง โดยใช้กลไกทางภาษี

• บังคับติดฉลากแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์

4. ขนส่ง

• ปรับรูปแบบการเดินทางและขนส่งสินค้า (mode shift) เป็นระบบราง

• ยกระดับเกณฑ์มาตรฐาน Fuel economy ของยานยนต์

• พัฒนาการขับเคลื่อนและการจัดการระบบขนส่งให้ประหยัดพลังงาน

• สร้างกลไกให้สถาบันการเงิน และ ESCO ให้เข้ามาช่วยด้านการอนุรักษ์พลังงานในภาค

ขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแนวทางอนุรักษ์พลังงานภาคอาคารธุรกิจที่อยู่อาศัย (คิดเป็นสัดส่วน 15 % ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย) นั้น จะมุ่งเน้นการใช้แนวทางยกระดับประสิทธิภาพพลังงาน และสัดส่วนการใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง เช่น เป้าหมายในปีพ.ศ. 2553 จะใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ถึง 35 % และใช้หลอดไฟ T8 จนถึงเป้าหมายปีพ.ศ. 2573 จะใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ถึง 70 % และใช้หลอดไฟ T5 และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ และเป้าหมายปีพ.ศ. 2579 จะใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ถึง 100 % และใช้หลอดไฟ LED

ซึ่งการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างภายในอาคารทั่วไปจะมีสัดส่วนการใช้งานของพลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 15-30 % ซึ่งที่เหลือจะเป็นเครื่องปรับอากาศ 60 % และอื่นๆ อีก 10 % ดังนั้นจึงทำให้การประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่างมีความน่าสนใจเป็นพิเศษ ซึ่งพบว่าแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ โคมฟลูออเรสเซนต์ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีจุดเด่นคือ ให้แสงสว่างนวลตา หาซื้อง่ายราคาไม่แพง สามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดไส้ โดยในระบบการทำงานของโคมฟลูออเรสเซนต์จะมีทั้งระบบ T8 และ T5 ซึ่งจะมีบัลลาสต์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก และแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทั้ง 2 ชนิดนั้นจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน การประหยัดพลังงาน คุณภาพทางไฟฟ้า และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI ผ่านทางตัวนำ

ซึ่งวิธีการการประหยัดพลังงานโดยการเปลี่ยนมาใช้โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 และระบบ LED นั้นนิยมมาก เนื่องจากสามารถประหยัดไฟฟ้าได้เป็นเปอร์เซ็นต์ที่สูง และมีความเชื่อที่ว่าจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของโลกลง นั้นทำช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทำให้เกิดการลดภาวะโลกร้อน จึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่อีกเหตุผลด้านหนึ่งซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าอายุการใช้งานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งรวมทั้งหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บรรจุอยู่ภายใน นั้นสั้นมาก ประมาณ 1-5 ปี เท่านั้น และเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน ก็จะเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ ที่สะสมของ ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นอันตรายต่อมนุษย์ อีกทั้งยังสร้างมลพิษทางไฟฟ้า เช่น ปัญหาค่าตัวประกอบกำลัง ปัญหาฮาร์มอนิกส์ และปัญหาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะสร้างปัญหาต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่สำคัญ เช่น ระบบควบคุมแบบ PLC เป็นต้น ในขณะที่บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากกว่า 30 ปี และไม่สร้างปัญหามลพิษทางไฟฟ้า รวมทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อสิ้นอายุการใช้งานเนื่องจากสามารถรีไซเคิลได้ [6-16]

ดังนั้นการวิจัยเพื่อหาคำตอบเชิงเปรียบเทียบของวิธีการประหยัดพลังงานในระบบโคมฟลูออเรสเซนต์ โดยวิธีการดังกล่าวจะต้องเป็นวิธีการที่ไม่สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้า เช่น ไม่สร้างปัญหาฮาร์มอนิกส์ ปัญหาสัญญาณรบกวน EMI ผ่านทางตัวนำ และต้องมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ (Break even point) และเป็นวิธีการที่มีมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานที่ยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 การทบทวนวรรณกรรม

- อ้างอิงลำดับที่ [6] Henry Shu-Hung Chung, Ngai-Man Ho, Wei Yan, Pok Wai Tam, and S. Y. Hui, Comparison of Dimmable Electromagnetic and Electronic Ballast Systems -An Assessment on Energy Efficiency and Lifetime, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 54, NO. 6 (2007), pp. 3145-3154.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะอ่อนไหวต่ออุณหภูมิที่ใช้งาน โดยถ้าอุณหภูมิที่ใช้งานสูงขึ้นทุกๆ  $10^{\circ}\text{C}$  จะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุลดลงครึ่งหนึ่ง โดยอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุชนิดนี้จะอยู่ที่ 1-5 ปีเท่านั้น ซึ่งอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุนี้ จะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ในขณะที่บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กจะมีส่วนประกอบสำคัญที่ทำจากขดลวด ทำให้ทนทานต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งมีอายุการใช้งานประมาณ 30-50 ปี

- อ้างอิงลำดับที่ [7] S. Y. Ron Hui, Leung Ming Lee, Henry Shu-Hung Chung, and Y. K. Ho, An Electronic Ballast with Wide Dimming Range, High PF, and Low EMI, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 16, NO. 4 (2011), pp. 465-472.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่โหลดได้ 15-20 % เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แบบพาสซีฟ ซึ่งโดยทั่วไปบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะทำการที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 25 kHz-50 kHz

- อ้างอิงลำดับที่ [8] Wei Yan, S.Y.R.Hui, and Henry Shu-Hung Chung, Energy Saving of Large-Scale High-Intensity-Discharge Lamp Lighting Network Using a Central Reactive Power Control System, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 56, NO. 8 (2009), pp. 3078-3154.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในฟลูออเรสเซนต์ และคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีอายุการใช้งานที่สั้นมาก ซึ่งจะเป็นการสะสมขยะอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก ซึ่งต่างจากบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กที่มีอายุใช้งานมากกว่า 30 ปี และสามารถรีไซเคิลได้ เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน

- อ้างอิงลำดับที่ [9] Ying-Chun Chuang and Hung - Liang Cheng, Single-Stage Single-Switch High-Power-Factor Electronic Ballast for Fluorescent Lamps, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 43, NO. 6 (2007), pp. 1434-1440.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : โคมฟลูออเรสเซนต์เป็นที่นิยมใช้มากขึ้นเรื่อยๆ โดยใช้งานในที่อยู่ออาศัย ภาคอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจ ซึ่งบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กจะทำงานที่ความถี่ 50 Hz และมีราคาสูง แต่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และมีเสียงฮัม ส่วนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะดีกว่า ซึ่งในวงจรจะประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส ซึ่งนั่นทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ โดยทั่วไปจะน้อยกว่า 0.6 และค่า %THD จะมีค่าสูงได้ถึง 100% ซึ่งจะต้องแก้ไขโดยการเพิ่มวงจร PFC เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

5. อ้างอิงลำดับที่ [10] Yiannis Nikolaidis , Petros A. Pilavachi , and Alexandros Chletsis, Economic evaluation of energy saving measures in a common type of Greek building”, Applied Energy, Vol. 86 (2009), pp. 2550–2559.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : การประหยัดพลังงานจากระบบแสงสว่างจะมี 2 วิธีการที่ง่ายที่สุด และมีประสิทธิภาพมากที่สุดของการประหยัดพลังงานคือ

(ก) การเปลี่ยนหลอดไส้มาเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่กินพลังงานต่ำ (ข) เปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีเก่า มาใช้เทคโนโลยีใหม่ที่กินพลังงานน้อยกว่า และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม  
หมายเหตุ ข้อความ “มิตรต่อสิ่งแวดล้อม” อาจมีความขัดแย้งกับที่ไม่ถูกต้องนัก เช่น ในกรณีใช้อุปกรณ์เหล่านี้ หมดยุคการใช้งาน จะสร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมนุษย์

6. อ้างอิงลำดับที่ [11] TaeHoon Hong, HyunJoong Kim, and TaeHyun Kwak, Energy-Saving Techniques for Reducing CO<sub>2</sub> Emissions in Elementary Schools, Journal of Management in Engineering, Vol. 28, No. 1 (2012), pp. 39-50.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : ภาวะโลกร้อนได้เติบโตขึ้นเป็นปัญหาระดับโลกที่รุนแรงอย่างมีนัยสำคัญกระตุ้นให้ทุกประเทศต้องออกแรงความพยายามต่างๆ ที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพวกเขาเป็นไปตามกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) รัฐบาลเกาหลีใต้เป็นเช่นเดียวกันที่ทำงานเกี่ยวกับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเป็นส่วนหนึ่งของความพยายามของมันเป็นอยู่ในขณะนี้การส่งเสริมโครงการโรงเรียนสีเขียว โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโรงเรียนการประหยัดพลังงานโดยการซ่อมแซมอาคารเรียนที่เสื่อมสภาพ ซึ่งนั่นหมายความว่าทั่วโลกให้ความสำคัญกับปัญหาภาวะโลกร้อนเป็นอย่างมาก รวมทั้งในสถานศึกษาด้วย

7. อ้างอิงลำดับที่ [12] J. Hourtoule, D. van Houtte, P. Fejoz, and P. Hertout, Magnetic compatibility of standard components for electrical installations Tests on programmable logical controllers and other electronic devices, Fusion Engineering and Design, Vol. 75-79 (2005), pp.179-183.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMC จะถูกนำมาทดสอบกับ อุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติ เช่น PLC หรือ programmable logical controllers และอุปกรณ์ ไฟฟ้าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น power supply และ converter เป็นต้น นั้นแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ ควบคุมเหล่านี้มีความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งอาจมีผลเมื่อใช้งานอยู่ใกล้กับปลั๊กสวิตซ์ อิเล็กทรอนิกส์

8. อ้างอิงลำดับที่ [13] Marie-Claude Dubois, Ake Blomsterberg, Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings, Energy and Buildings, Vol. 43 (2011), pp. 2572-2582.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างสามารถทำได้โดยการ ปรับปรุงเทคโนโลยีปลั๊กสวิตซ์ ซึ่งคาดการณ์ว่าจะทำให้ดีขึ้น 4-8 % และยังได้กล่าวถึงเทคโนโลยีใหม่ เช่น โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ รวมทั้งหลอดไฟชนิด LED เพื่อนำมาใช้เปลี่ยนใหม่แทนหลอดไฟแบบเดิมซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก

9. อ้างอิงลำดับที่ [14] N. G. Chondrakis and F. V. Topalis, Starting characteristics of fluorescent tubes and compact fluorescent lamps operating with electronic ballasts, Measurement, Vol. 42 (2009), pp. 78-86.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : การลดค่าใช้จ่ายในการซื้อ และการบำรุงรักษาในระบบไฟฟ้า กลายเป็นสิ่งจำเป็นของการลดลงของค่าใช้จ่ายในการซื้อและการบำรุงรักษาไฟฟ้าทั้งหมด ระบบได้กลายเป็นความจำเป็น ภาคธุรกิจ โดยเรื่องของหลอดไฟฟ้า จะเน้นในประเด็นต่อไปนี้:

1. การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของทุกระบบที่บริโภควัตต์
2. ใช้หลอดไฟที่มีอายุการใช้งานยาวนานในระบบทั่วไป
3. เพิ่มคุณภาพแสงสว่างให้ดีขึ้น

ซึ่งอายุการใช้งานของปลั๊กสวิตซ์จะถูกกำหนดจากอายุของตัวเก็บประจุ นั้นแสดงให้เห็นว่าอาจมีความ ขัดแย้งทางแนวความคิดในเรื่องดังกล่าวได้

10. อ้างอิงลำดับที่ [15] A.E.Emanuel and L.Peretto, The Response of Fluorescent Lamp with Magnetic Ballast to Voltage Distortion, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 1 (1997), pp. 289-295.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : หลอดไส้ นั้นจะไม่มีปัญหาเรื่องรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันที่ ไม่ผิดเพี้ยน ซึ่งต่างจากกรณีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีปัญหาดังกล่าว ซึ่งแสดงว่าการใช้วิธีการ เปลี่ยนหลอดไส้ มาใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์อาจสร้างปัญหาเรื่องคุณภาพสัญญาณไฟฟ้าตามมา

11. อ้างอิงลำดับที่ [16] Jiang Lin, A light diet for a giant appetite, A light diet for a giant appetite: An assessment of China's fluorescent lamp standard, Energy, VOL. 30 (2005), pp. 1873–1887.

สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง : มีข้อมูลรายงานผลเชิงเปรียบเทียบหลอด T8 จะมีค่าลูเมนของแสงมากกว่าหลอด T9 T10 และ T12 ที่ใช้กำลังวัตต์เท่ากัน นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้คอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 อาจจะทำให้ความสว่างลดลง และอาจส่งผลให้ค่าความสว่างเฉลี่ยของพื้นที่ใช้งานลดลง และอาจมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานการออกแบบระบบแสงสว่าง

โดยสรุปการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยที่กำลังจะดำเนินการนี้ควรจะมีจุดมุ่งเน้นความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเน้นไปทางด้านการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในด้านการใช้พลังงานที่เน้นการประหยัดพลังงาน และผลกระทบข้างเคียงที่จะเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า ซึ่งจะสร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้า โดยค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าที่สนใจได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้า ค่าตัวประกอบกำลัง โดยมีผลของค่า DPF ที่เกิดจากการใช้งานหลอดที่ไม่เป็นเชิงเส้นอย่างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ค่า %THD<sub>i</sub> และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ รวมทั้งผลของความสว่างที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนชนิดของหลอด หรือบัลลาสต์ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน และมีการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ของหลอดไฟฟ้าทั้ง 8 ด้าน ให้เห็นถึงจุดเด่น และจุดด้อยของแต่ละบริษัททางไฟฟ้า ซึ่งทั้งหมดจะนำไปสู่การหาคำตอบว่าหลอดไฟฟ้าชนิดใด ระบบคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบใด และบัลลาสต์ชนิดใด จะเป็นคำตอบหรือทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการประหยัดพลังงานที่ยั่งยืน ไม่สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้าขณะที่อยู่ในช่วงอายุการใช้งาน และไม่สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน

### 1.3 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการหลักการทำงานของคอมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดต่างๆ
2. เพื่อศึกษาเชิงเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานในคอมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้งานคอมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่มีต่อคุณภาพทางไฟฟ้า
4. เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้งานคอมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่มีต่อสัญญาณรบกวน EMI ผ่านทางตัวนำ
5. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนที่เหมาะสมของการลงทุน (Break even point)
6. เพื่อวิเคราะห์การนำหลอดไฟแอลอีดีมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 สมมติฐานของการศึกษา

หลอดไฟฟ้าแบบคอมแพคฟลูออเรสเซนต์และโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งระบบ T8 และ T5 และหลอดแอลอีดี มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องการประหยัดพลังงาน แต่อาจมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า สมรรถนะทางแสงสว่าง รวมทั้งอายุการใช้งานกับระยะเวลาคืนทุนที่มีความสัมพันธ์กันรวมทั้งราคา ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบความคุ้มค่าในการลงทุนกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน ที่จะสร้างปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย จึงอาจเป็นวิธีการประหยัดพลังงานที่ไม่คุ้มค่า ไม่ยั่งยืน และไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

#### 1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบต่อการใช้งานจริง จึงได้กำหนดต่อพารามิเตอร์สำคัญจำนวน 10 พารามิเตอร์ในการทดลอง และนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับระหว่างหลอดไส้ธรรมดา กับหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีและกรณีโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์ต่างกันทั้งในระบบที่แปด ที่ห้าและหลอดแอลอีดี ดังนี้

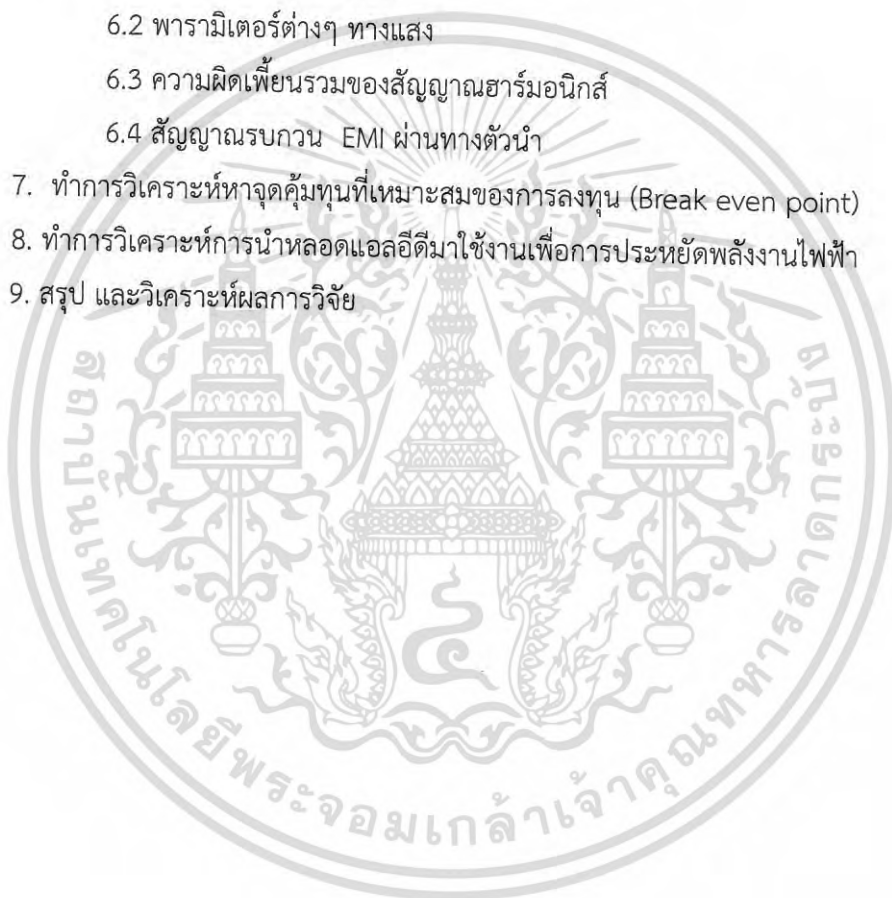
1. พิกัดกำลัง
2. แรงดันด้านเข้า
3. กระแสด้านเข้า
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือกำลังไฟฟ้าที่โหลดบริโภค
5. เปอร์เซนต์การประหยัดพลังงานไฟฟ้า (เปรียบเทียบระหว่างหลอดไส้ธรรมดา กับหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ และโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบแกนเหล็กธรรมดา กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งในระบบที่แปดและที่ห้า)
6. ค่าตัวประกอบกำลัง
7. เปอร์เซนต์ผลรวมของความผิดเพี้ยนรวมของกระแส หรือ %THD<sub>i</sub>
8. ผลการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ
9. ค่าความสว่าง หรือ Illuminance (lx)
10. ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง Illuminance efficiency (lx/W)

#### 1.6 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เน้นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานในระบบ หลอดไส้ กับหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ และโคมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดต่างๆ ซึ่งมีพิกัดกำลัง 36 วัตต์ในระบบ T8 และ 28 วัตต์ ในระบบ T5 และผลกระทบต่อการใช้งานทั้งทางไฟฟ้า ทางแสงสว่าง ทางความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกส์ ทางสัญญาณรบกวน EMI ผ่านทางตัวนำ และการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนที่เหมาะสมของการลงทุน (Break even point) และวิเคราะห์การนำหลอดแอลอีดีมาใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

## 1.7 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเรื่องของวิศวกรรมส่องสว่าง หลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ
2. ศึกษาหลักการทำงานของโคมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดต่างๆ
3. ศึกษาผลกระทบของการใช้งานโคมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่มีต่อคุณภาพทางไฟฟ้า
4. ศึกษาทฤษฎี และมาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ EMI
5. ศึกษาผลกระทบของการใช้งานโคมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่มีต่อสัญญาณรบกวน EMI ผ่านทางตัวนำ
6. ทำการวัดและทดลองต่างๆ
  - 6.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า
  - 6.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ทางแสง
  - 6.3 ความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกส์
  - 6.4 สัญญาณรบกวน EMI ผ่านทางตัวนำ
7. ทำการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนที่เหมาะสมของการลงทุน (Break even point)
8. ทำการวิเคราะห์การนำหลอดแอลอีดีมาใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า
9. สรุป และวิเคราะห์ผลการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ปริมาณและหน่วยวัดทางแสง (Quantities and Units) [3]

#### 2.1.1 บทนำ

การวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะใช้หลักการของพลังงาน (Energy) และกำลังงาน (Power) ซึ่งในระบบ SI มีหน่วยเป็น Joules (J) และ Watts (W) ตามลำดับ แต่หน่วยวัดทางไฟฟ้าแสงสว่างนั้นไม่สามารถใช้หลักการดังกล่าวได้เต็มที่ เหตุผลหนึ่งก็คือหน่วยของไฟฟ้าแสงสว่างนั้นไม่เพียงวัดค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาถึงสเปกตรัมความไวในการมองเห็นของตามนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นต่างๆเข้ามาประกอบด้วย การพิจารณาหน่วยทางไฟฟ้าแสงสว่างจึงขึ้นกับความต้องการในการใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งทำให้ได้หลักการวัดพื้นฐาน 4 อย่างด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์และหน่วยวัดของปริมาณทางแสง

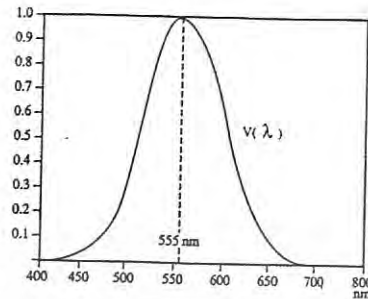
ปริมาณทางแสง	สัญลักษณ์	หน่วย
ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux)	$\phi$	Lumen (lm)
ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity)	I	Candela (cd)
ความสว่าง (Illuminance)	E	Lux (lx)
ความส่องสว่าง (Luminance)	L	(cd/m <sup>2</sup> )
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Illuminous efficiency)	-	(lx/W)
ประสิทธิผลการส่องสว่าง (Illuminous efficacy)	-	(lm/W)

### 2.2 ปริมาณทางไฟฟ้าแสงสว่าง

เมื่อพิจารณาแสงสว่างในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองเห็นได้ เราจะสนใจพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและความไวของตามนุษย์ประกอบด้วย

ในสภาพการมองเห็นปกติ (Photopic Vision) เมื่อมีแสงเพียงพอหรือในเวลากลางวัน ตามนุษย์มีความไวมากที่สุดที่ 555 nm ดังรูปที่ 2.1 จึงได้มีการกำหนดเป็นนิยามไว้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีกำลังงาน 1 W ที่ความยาวคลื่น 555 nm ให้มีค่าเท่ากับ 1 Light-Watt ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีกำลังงาน 1 W ที่มีความยาวคลื่นอื่นๆ ในช่วงความยาวคลื่นแสง (Visible Light) ต้องมีตัวคูณตามเส้นกราฟค่าความไวของตามนุษย์ (Spectral Eye Sensitivity)

ภายใต้เงื่อนไขในสภาพการมองเห็นปกติ (Photopic Vision) ที่เรียกว่า  $V(\lambda)$  Curve ดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งความไวของตามนุษย์

## 2.3 ปริมาณและหน่วยทางแสง (Photometric Quantities and Unit)

### 2.3.1 ฟลักซ์การส่องสว่าง Luminous Flux ( $\phi$ , lm)

ฟลักซ์การส่องสว่าง คือ กำลังงานแสงทั้งหมดที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสงในเวลา 1 วินาทีคูณด้วยตัวคูณค่าความไวของตามนุษย์ดังนี้ [3]

$$\phi = 683 \int_{380}^{780} P_{\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (2.1)$$

โดยที่  $\phi$  คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

$\lambda$  คือ ค่าความยาวคลื่นแสง (m)

$P_{\lambda}$  คือกำลังงานของแสงที่มีความยาวคลื่น  $\lambda$  (W)

$V(\lambda)$  คือค่าความไวของตามนุษย์ที่มีความยาวคลื่น  $\lambda$

จากค่ากำลังไฟฟ้าและฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficacy) ซึ่งค่าประสิทธิภาพของหลอดเป็นอัตราส่วนระหว่าง ฟลักซ์การส่องสว่างต่อกำลังไฟฟ้าของหลอดมีหน่วยเป็น lm/W โดยค่าฟลักซ์การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าฟลักซ์การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ [3]

หลอด	กำลัง (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)
1. ไฟจักรยาน	3	30
2. หลอดไส้	75	900
3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ประหยัดไฟ	18	900
4. หลอดฟลูออเรสเซนต์	58	5,400
5. หลอดโซเดียมความดันสูง	100	10,000
6. หลอดโซเดียมความดันต่ำ	130	26,000
7. หลอดแสงจันทร์	1,000	58,000
8. หลอดเมทัลฮาไลด์	2,000	190,000

### 2.3.2 ความเข้มการส่องสว่าง –luminous Intensity (I, cd)

ความเข้มการส่องสว่าง คือความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างในทิศทางหนึ่ง(ปริมาณแสงต่อมุมตัน) [3]

$$I = \frac{d\theta}{d\omega}$$

หรือ

$$\theta = \int I d\omega \quad (2.2)$$

ในที่นี้จะเริ่มอธิบายจากหลักการของมุมตัน (Solid Angle) ก่อน เมื่อพิจารณามุมใน 2 มิติ นั้น จะเป็นอัตราส่วนของความยาวส่วนโค้งต่อรัศมีของวงกลม โดยมุมรอบวงกลมจะมีขนาด  $2\pi$  Radian สำหรับทรงกลมก็สามารถนิยามได้ในทำนองคล้ายกัน โดยมุมตัน ( $\omega$ ) คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวทรงกลมของมุมตันที่พิจารณา (A) ต่อกำลังของรัศมีทรงกลม ( $r^2$ ) มีหน่วยเรียกว่า Steradians (sr) [3]

$$\omega = \frac{A}{r^2} \text{ Steradians (sr)} \quad (2.3)$$

เมื่อพิจารณามุมตันรอบทรงกลมจะได้ว่า  $\omega = \frac{4\pi r^2}{r^2}$  ดังนั้นทรงกลมจึงมีค่ามุมตันเป็นค่า  $4\pi = 4\pi$  sr และครึ่งทรงกลมจึงมีค่ามุมตันเป็น  $2\pi$  sr [3]

มาตรฐานหน่วยวัดทางแสง (Photometric Standard)

ก่อนปี 1979 มาตรฐานสำหรับ Candela คือ วัตถุดำ (Black-body Radiator) ของ Platinum ที่อุณหภูมิ 2042 K สามารถนิยาม Candela ได้ดังนี้

1 cd = 1/60 ของความเข้มการส่องสว่างของวัตถุดำ (Black-body Radiator) นั้นต่อมาในปี 1979 ได้มีการให้นิยามใหม่ของ Candela นี้ว่าคือ “ความเข้มการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่แน่นอน ซึ่งปล่อยแสงความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic) ที่ความถี่  $540 \times 10^{12}$  Hz (555 nm) ซึ่งให้ความเข้มแสงในทิศทางนั้น 1/683 W/sr หรือ 1/683 Light-Watts/sr

### 2.3.3 ความสว่าง-Illuminance (E, lx)

ความสว่างคือปริมาณของแสง หรือ ฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยมีสัญลักษณ์เป็น E มีหน่วยเป็น lux (lx) แสดงได้ดังสมการ [3]

$$E = \frac{\theta}{A} \quad (2.4)$$

### 2.3.4 ความส่องสว่าง- Luminance (L, cd/m<sup>2</sup>)

ความส่องสว่าง คือ ความเข้มการส่องสว่างจากพื้นผิวในทิศทางที่กำหนดต่อพื้นที่ผิวปรากฏ [3]

$$L = \frac{I}{A_p} \quad (2.5)$$

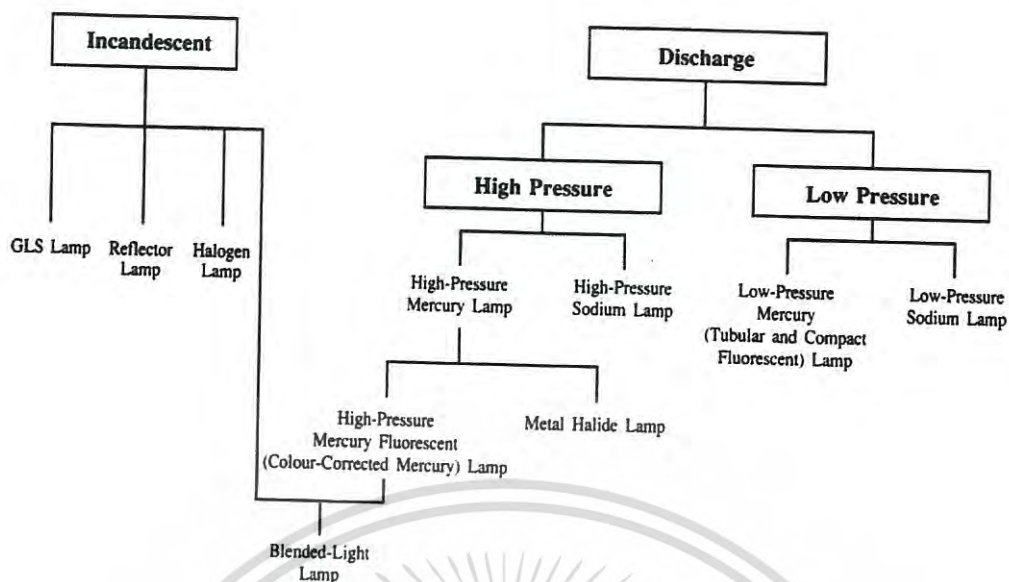
โดยที่  $A_p$  คือพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแนวแสงตกกระทบ

## 2.4 แหล่งกำเนิดแสง (Light Sources)

หลอดไฟฟ้าที่ไฟส่องสว่างนั้นมีมากมายหลายชนิด แต่อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลักคือ

1. หลอดไส้ (Incandescent Lamps)
2. หลอดดีสชาร์จ (Discharge Lamps)

หลอดไส้ให้แสงออกมาได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าที่ไส้หลอดซึ่งทำให้มันร้อนและให้แสงออกมา หลอดดีสชาร์จ ไม่มีไส้หลอด แต่ให้แสงออกมาได้โดยการกระตุ้นก๊าซที่อยู่ภายในหลอด หลอดดีสชาร์จยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็น แบบความดันต่ำ และความดันสูง การแบ่งประเภทของหลอดไฟฟ้าสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.2 [3]



รูปที่ 2.2 การแบ่งประเภทหลอดไฟฟ้า

คุณสมบัติที่สำคัญของหลอดไฟฟ้าที่จำเป็นต้องทราบมีดังนี้

- กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็น W
- ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux) มีหน่วยเป็น lm
- ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficacy) มีหน่วยเป็น lm/W
- อายุการใช้งานมีหน่วยเป็นชั่วโมง (hrs)
- อุณหภูมิสี (Colour Temperature) มีหน่วยเป็น Kelvin (K)
- ดัชนีการให้สี (Colour Rendering Index) หรือค่า  $R_a$
- ขนาดทางกายภาพ (Physical Size)
- ชนิดของขั้วรับหลอด

#### 2.4.1 หลอดไส้ (Incandescent Lamps)

หลอดไส้เป็นหลอดที่มีใช้มาแต่เดิมและยังมีใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบันมีขนาดเล็กมีการใช้งานหลายลักษณะ วิธีการทำงานของหลอดใช้หลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วซึ่งทำให้เกิดความร้อนและแสงสว่างขึ้น หลอดไส้มีประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficacy) น้อยที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด อย่างไรก็ตามก็ยังนิยมใช้หลอดไส้กันมาก เนื่องจากง่ายต่อการติดตั้งและค่าติดตั้งเริ่มต้นราคาถูก

หลอดไส้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

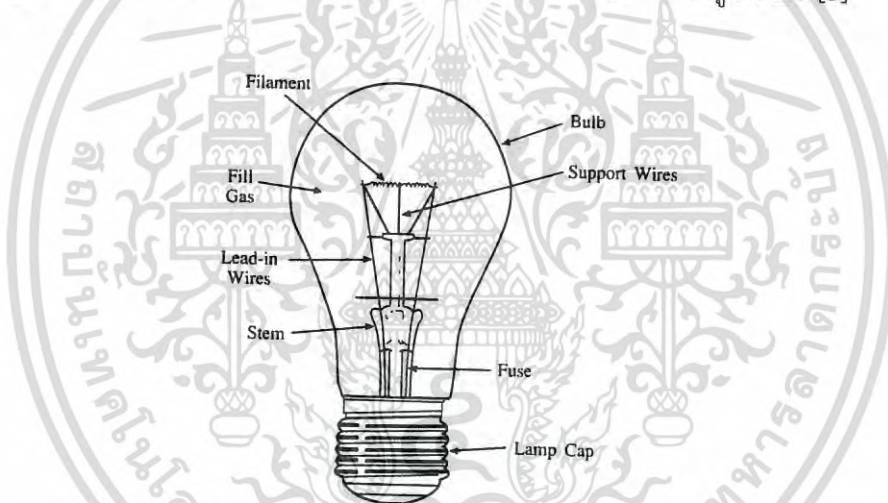
1. หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamps )
2. หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamps )

#### 2.4.1.1 หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamps)

หลอดไส้แบบธรรมดา เป็นหลอดที่นิยมใช้โดยทั่วไป มีหลายประเภท ได้แก่ หลอด GLS (General Lighting Service) และหลอดสะท้อนแสง (Reflector Lamp) หลอดชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวดทังสเตนบรรจุในหลอดแก้ว เมื่อกระแสไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดการเปล่งแสงออกมา ขณะหลอดทำงานขดลวดทังสเตนจะค่อยๆระเหย จนในที่สุดก็เสื่อมสภาพหมดอายุการใช้งาน

ส่วนประกอบที่สำคัญ

ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดไส้ ส่วนใหญ่ทำจากทังสเตน (Tungsten) ซึ่งมีข้อดีคือจุดหลอมเหลวมีค่าสูง (3653K) และมีความดันไอต่ำ ทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆได้ ซึ่ง อุณหภูมิ ทำงานของไส้หลอดจะมีค่าประมาณ 2800-3000K แสดงได้ในรูปที่ 2.3 [3]



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบสำคัญของหลอดไส้

ตัวรับรองหลอดไส้ (Filament Support)

ตัวรับรองหลอดไส้ประกอบด้วย Glass Stem Lead-in Wires และ Support Wires

Glass Stem ทำจาก Lead-Glass มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ยึด Lead-in Wires

Lead-in Wires แบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนบนทำหน้าที่ยึดจับหรือเชื่อมกับไส้หลอด ส่วนกลาง ถูกผนึกเป็นสุญญากาศด้วย Lead-Glass ส่วนล่างสุดปกติจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำหน้าที่เหมือนเป็นฟิวส์ของหลอด

Support Wires ทำจาก Molybdenum ซึ่งมีลักษณะยืดหยุ่นและไม่ทำปฏิกิริยากับ ทังสเตน ทำหน้าที่รองรับไส้หลอด

หลอดแก้ว (Bulb)

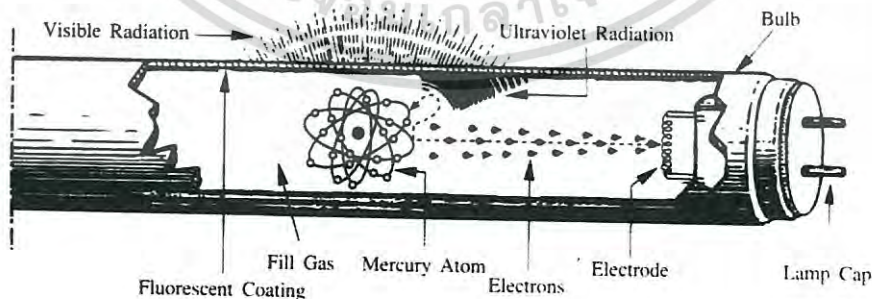
ตัวไส้หลอดจะถูกบรรจุอยู่ในหลอดแก้วที่ปิดผนึกซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไส้หลอดจาก อากาศภายนอกหลอดแก้วส่วนใหญ่ทำจาก Soda-Lime Glass แต่สำหรับหลอดที่ต้องการอุณหภูมิสูง จะใช้ Resistance Glass

หลอดแก้วมีหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น แบบใส (Clear) แบบฝ้า (Frosted) และแบบสี (Colour) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรูปร่างลักษณะต่างๆ ตามการใช้งาน เช่น หลอดเปลว เทียน (Candle) และหลอดปิงปอง (Round) ซึ่งเหมาะที่จะใช้สำหรับโคมไฟตกแต่ง โคมไฟกิ่ง และ โคมไฟประดับต่างๆ

#### 2.4.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดที่สสารจความดันต่ำ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 จากรูปแสดง หลักการทำงานของหลอด โดยไอของปรอทถูกทำให้ตีสสารจในหลอดแก้วซึ่งจะให้พลังงานในช่วงรังสี อัลตราไวโอเล็ต ความยาวคลื่น 254 nm พลังงานนี้จะไปชนผงฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Powder) หรือ ฟอสเฟอร์ (Phosphor) ซึ่งเคลือบไว้ที่หลอด แล้วเปลี่ยนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็น พลังงานในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (Visible Light) โดยพลังงานช่วงคลื่นต่างๆ จะขึ้นอยู่กับชนิด ของฟอสเฟอร์ที่จับอยู่

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงประมาณ 55-100 lm/W และอายุการใช้งานยาวนานถึง 1200 ชั่วโมง ดังนั้นจึงนิยมใช้มากในการให้แสงสว่าง ภายใน อาคารเกือบทุกประเภท เช่น อาคารสำนักงาน โรงเรียน โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น [3]



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดฟลูออเรสเซนต์

## ส่วนประกอบที่สำคัญ

ส่วนประกอบสำคัญของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้แก่ หลอดแก้ว (Blub) สารเคลือบหลอด (Fluorescent Coating) ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ก๊าซที่บรรจุ (Fill Gas) และขั้วหลอด (Lamp Cap) ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.4

### หลอดแก้ว (Blub)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ปกติจะทำด้วย Soda-Lime Glass มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐานได้แก่ 16 26 32 38 และ 54 mm โดยขนาดที่นิยมใช้ได้แก่ 26 mm สำหรับความยาวของหลอดที่ใช้มีขนาด 18W (600 mm) 36W (1200 mm) และ 58W (1500 mm)

### สารเคลือบหลอด (Fluorescent Coating)

เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของแสง ซึ่งได้แก่ ออมหภูมิสี ค่าดัชนีการให้สี ( $R_a$ ) และค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด สำหรับสารเคลือบฟอสเฟอร์แบบธรรมดาจะให้แสงครอบคลุมสเปกตรัมในช่วงที่มองเห็นเกือบทั้งหมด และให้ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างดี แต่การให้สีไม่ดีนัก นอกจากนี้ยังมีสารเคลือบชนิดพิเศษ อื่นๆ ได้แก่ Silicone Coating ซึ่งใช้เคลือบภายนอกหลอดสำหรับหลอดแบบที่ไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาการสตาร์ทหลอดในสภาวะที่ความชื้นสูงและ Conductive Coating ซึ่งใช้เคลือบสำหรับหลอดที่ใช้ในวงจรแบบจุดติดเร็ว (Rapid-Start Circuit) เป็นต้น

### ไส้หลอดหรือขั้วไฟฟ้า (Electrode)

ไส้หลอดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทำจากทั้งเสตนมีหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าให้แก่หลอดและทำให้เกิดอิเล็กตรอนสำหรับการดีสชาร์จ สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนมากไส้หลอดจะต้องทำการอุ่นก่อนการจุดหลอด ซึ่งการอุ่นทำได้โดยใช้สตาร์ทเตอร์ นอกจากนี้ยังมีหลอดแบบจุดติดเร็ว ซึ่งมีการอุ่นไส้หลอดตลอดเวลา และแบบจุดติดทันที (Instant-Start) ซึ่งไม่ต้องอุ่นไส้หลอด โดยทั้ง 2 แบบจะไม่ใช้สตาร์ทเตอร์

### ก๊าซที่บรรจุ (Fill Gas)

ก๊าซที่บรรจุในหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นก๊าซผสมของไอปรอท และก๊าซเฉื่อย ในอัตราส่วนประมาณ 1:3000 ขณะหลอดทำงาน ซึ่งโดยทั่วไปก๊าซเฉื่อยที่ใช้ได้แก่ อาร์กอน และคริปทอน โดยหลอดจะให้แสงสูงสุดเมื่อไอปรอทมีความดัน 0.8 Pa และก๊าซเฉื่อยมีความดันประมาณ 2500 Pa โดยพลังงานที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงรังสี UV ความยาวคลื่น 254 nm

### ขั้วหลอด (Lamp Cap)

หลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีขั้วหลอดหลายลักษณะ สำหรับหลอดแบบแท่งที่ต้องการมีการอุ่นไส้หลอดจะมีขั้วหลอด 2 ด้านแต่ละด้านมี 2 คอนแทค (G5 สำหรับหลอดขนาด 16 mm G13 สำหรับขนาด 26 32 38 mm G20 สำหรับขนาด 54 mm) ส่วนหลอดแบบที่ไม่ต้องการมีการอุ่นไส้หลอดจะมีขั้วหลอดด้านละ 1 คอนแทค (Fa6) สำหรับหลอดแบบกลม (Circular) จะมีขั้วหลอด 1 อันเป็นแบบ 4 คอนแทค (G10q) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีขั้ว 2 แบบ ได้แก่ แบบพิน และแบบเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ชนิดของหลอด

หลอดฟลูออเรสเซนต์อาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ คือ

- หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบธรรมดา
- หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

#### 2.4.3.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบธรรมดา

เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นแรกที่ผลิตออกมา ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง และมีอายุการใช้งานยาวนานเมื่อเทียบกับหลอดไส้

หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นแรกมีเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่ คือ 38 mm หรือ T12 มีขนาด 20W (ยาว 600 mm) 40W (ยาว 1200 mm) 65W (ยาว 1500 mm)

ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลง หลอดรุ่นใหม่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กลง คือ 26 mm หรือ 8 หุน หรือ 1 นิ้ว หรือเรียกว่า หลอด T8 จึงเรียกกันทั่วไปว่า “หลอดคอม” มีขนาด 18W 36W และ 58W หลอดแบบนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สามารถใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมซึ่งใช้ขั้วขนาดเก่า คือ G13 เท่ากัน ขณะนี้หลอดคอมได้รับความนิยมมาก และจะแทนที่หลอดรุ่นแรกในที่สุด โดยสามารถใช้บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก และแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้

ขณะนี้ได้มีการพัฒนาหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่คือ หลอดประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Lamps : HE Lamps) หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่นี้มีขนาดเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 16 mm ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5/8 นิ้ว หรือ 5 หุน และใช้ขั้ว G5 เรียกหลอดแบบนี้ว่าหลอด T5 โดยหลอด T5 จะต้องใช้ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์เท่านั้น มีขนาด 14W 21W 28W และ 35W เนื่องจากซึ่งไม่มีการผลิตบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กสำหรับหลอด T5

หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดายังสามารถแบ่งตามวิธีการจุดหลอดได้ดังนี้

1. หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบใช้ตัวจุดหลอด (Switch-Start Lamp) เป็นหลอดที่ต้องมีการอุ่นไส้หลอดก่อน ซึ่งจะใช้สตาร์ทเตอร์เป็นตัวจุดไส้หลอด และใช้บัลลาสต์เป็นตัวจำกัดกระแสและทำหน้าที่ควบคุมแรงดันคร่อมหลอด กระแสจะไหลผ่านขั้วหลอดโดยผ่านสตาร์ทเตอร์ในช่วงไม่กี่วินาทีแรกซึ่งจะทำให้เริ่มเกิดการดีสชาร์จในหลอด เมื่อหลอดติดสตาร์ทเตอร์จะทำการเปิดวงจรออก
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบจุดติดเร็ว (Rapid-Start Lamp) เป็นหลอดแบบที่ไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ ภายนอกหลอดจะเคลือบด้วย silicone และภายในจะมีชั้นของ Conductive Coating

### 2.4.3.2 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

คือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ทำให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้เกิดความสวยงามและสามารถใช้แทนหลอดไส้ได้ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีมากมายหลายชนิดอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่สามารถใช้แทนหลอดไส้ได้
2. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ขนาดกระทัดรัด
3. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่สามารถใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาได้

#### หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่สามารถใช้แทนหลอดไส้ได้

หลอดแบบนี้ในรุ่นแรกจะมีบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์อยู่ภายในหลอดขั้วจะเป็น E14 หรือ E27 หลอดแบบนี้จะประหยัดไฟได้มาก แต่มีน้ำหนักมากและกำลังสูญเสียค่อนข้างสูง ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แบบใหม่ซึ่งใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์แบบใหม่นี้มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงมาก และอายุยาวนานมากทั้งยังสามารถใช้แทนหลอดไส้ได้ทันทีอีกด้วยซึ่งเรียกว่า หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

#### หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่สามารถใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาได้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดนี้ออกแบบให้ใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาเนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดามีความยาวมาก คือ 18W (600mm) 36W (1200 mm) ทำให้การตกแต่งให้สวยงามทำได้ยาก ดังนั้นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบใหม่นี้จึงออกแบบให้สั้นลงมากเพื่อความสวยงาม โดยออกแบบให้หลอดเป็นรูปตัว U เพื่อลดความยาว อาจเป็นแบบตัว U ชุดเดียว หรือ 2 ชุด ซึ่งมีขนาดโดยประมาณดังนี้ ทั้งนี้ในปัจจุบันมีหลอดแบบรูปเกลียวอีกด้วย

แบบ 1U ชุดเดียว		แบบ 2U 2 ชุด
18 W ยาว	225 mm	122 mm
24 W ยาว	320 mm	175 mm
36 W ยาว	415 mm	175 mm
55 W ยาว	535 mm	

### 2.4.4 คุณสมบัติการทำงาน

#### ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficacy)

ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาจแสดงโดยประสิทธิภาพรวมของวงจรหลอดทั้งหมด ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงชนิดของวงจรและอุปกรณ์ร่วมที่ใช้ ซึ่งได้แก่ บัลลาสต์ หรืออาจแสดงเฉพาะประสิทธิภาพของตัวหลอดเอง สำหรับค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ในตัวจะแสดงเป็นค่ารวมของวงจรหลอดทั้งหมด

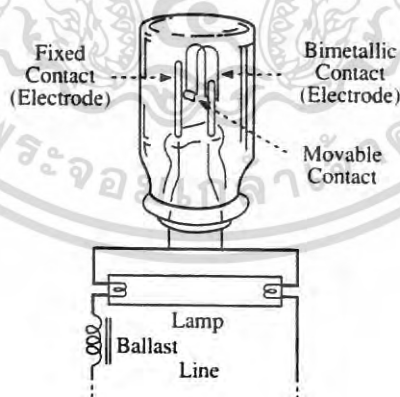
หลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 55-80 lm/W ปัจจุบันที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหลอดนอกจากสารที่เคลือบในหลอดแล้วปัจจัยอื่นที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหลอดได้แก่อุณหภูมิแวดล้อมและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

## 2.4.5 อุปกรณ์ในวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์

### 2.4.5.1 สตาร์ทเตอร์ (Starter)

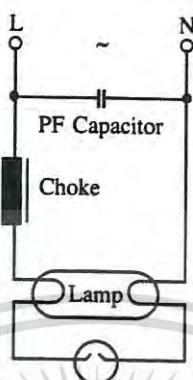
สำหรับวงจรหลอดที่ต้องมีการอุ่นไส้หลอดก่อนจุดจะต้องมีตัวช่วยจุดหลอดต่อรวมอยู่ในวงจรหลอดซึ่งมีส่วนช่วยในการอุ่นไส้หลอดในช่วง 2-3 วินาทีแรก หลังจากนั้นแรงดันค่าสูงจะถูกจ่ายที่ขั้วหลอดเพื่อทำให้เริ่มเกิดการดีสชาร์จ กระบวนการทำงานดังกล่าวนี้จะต้องใช้บัลลาสต์ร่วมกับตัวจุดหลอดซึ่งเรียกว่า สตาร์ทเตอร์ (Starter)

ตัวสตาร์ทเตอร์ (Starter) จะประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว เป็นโลหะคู่ (Bimetal) อยู่ในหลอดแก้วบรรจุก๊าซอาร์กอนและฮีเลียม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นอกจากนี้จะมีตัวเก็บประจุต่ออยู่ระหว่างขั้วทั้งสองเพื่อป้องกันคลื่นรบกวนที่เกิดจากการสปาร์ก ขั้นตอนในการจุดหลอดเริ่มจากการเปิดสวิตช์หลอด จะทำให้เกิดการดีสชาร์จในหลอดแก้วในตัวสตาร์ทเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น และ ทำให้ตัวโลหะคู่เกิดการโค้งงอทำให้หน้าสัมผัสปิดและเกิดกระแสไหลผ่านที่ขั้วหลอด ขณะนั้นการดีสชาร์จในหลอดแก้วในตัวสตาร์ทเตอร์จะหยุดลงและทำให้ขั้วโลหะคู่เย็นลงและเปิดวงจรออก ซึ่งการเปิดวงจรของสตาร์ทเตอร์จะทำให้เกิดแรงดันคร่อมขั้วหลอดซึ่งมีค่าถึง 1,000 V ทำให้เกิดการจุดติดของหลอดขึ้นถ้าหลอดยังไม่ติดครั้งแรก ก็จะเกิดกระบวนการเดิมนี้ซ้ำจนกระทั่งหลอดติด [3]



รูปที่ 2.5 สตาร์ทเตอร์สำหรับหลอดแบบที่ใช้ตัวจุดหลอด

### 2.4.5.2 วงจรสำหรับหลอดชนิด (Operating Circuit) เช่น วงจรแบบ Switch-Start Circuit [3]



รูปที่ 2.6 วงจรแบบ Switch-Start Circuit

- วงจรแบบนี้นิยมใช้มากที่สุด
- มีบัลลาสต์และ Glow Starter ซึ่งทำให้อิเล็กโตรรอน
- มีสตาร์ทเตอร์ (Starter) ทำหน้าที่เปิดวงจรให้บัลลาสต์จ่ายไฟ Starting Voltage ซึ่งทำให้อิปรอทในหลอดเกิดการดีสชาร์จ

โดยหลักการทำงานของชุดขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กมีดังนี้

จากรูปที่ 2.6 เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าไปที่บัลลาสต์ที่เป็นชนิดหลอดแกนเหล็ก ซึ่งบัลลาสต์จะทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปที่ขั้วหลอดและทำให้กระแสไฟมีค่าที่เหมาะสม และสม่ำเสมอ จากนั้นกระแสไฟจะไหลไปยังสตาร์ทเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่จุดอุ่นไส้หลอดก่อนประมาณ 2-3 วินาที แล้วกระแสไฟฟ้าก็จะไหลไปยังขั้วหลอดอีกด้าน และไหลกลับไปยังนิวตรอลซึ่งทำให้ครบวงจร

โดยขณะที่สตาร์ทเตอร์ต่อวงจรไฟฟ้า พลังงานจากไส้หลอดจะทำให้ก๊าซเกิดการไอออไนซ์ กลายเป็นตัวนำไฟฟ้าพลังงานที่ทำให้ก๊าซแตกตัวต้องมากพอ นั่นหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าต้องมาก จึงต้องอาศัยอุปกรณ์เพิ่มแรงดันไฟฟ้า ที่เรียกว่า บัลลาสต์ เมื่อบัลลาสต์เพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพียงพอที่จะทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออน เรียกว่า สถานะนี้ว่าพลาสมากระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้ ซึ่งอิเล็กตรอนไหลออกจากไส้หลอดผ่านพลาสมา จุดหลอดให้ติดขึ้น

จากนั้นเมื่อหลอดติดแล้วแผ่นโลหะในสตาร์ทเตอร์จะเย็นลง ทำให้น้ำสัมผัสแยกออกจากกัน และถูกตัดออกจากวงจรในที่สุด แต่หลอดยังคงเปล่งแสงอยู่ ส่วนตัวเก็บประจุในวงจรนี้ทำหน้าที่

ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น เนื่องจากตัวบัลลาสต์มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำนั่นเอง

#### 2.4.5.3 บัลลาสต์ (Ballast)

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีคุณสมบัติเป็นความต้านทานแบบลบ (Negative Resistance) จึงต้องใช้งานร่วมกับอุปกรณ์จำกัดกระแส (Current Limiting Device) หรือ บัลลาสต์ เพื่อป้องกันหลอดโดยบัลลาสต์ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ

1. บัลลาสต์แม่เหล็กไฟฟ้า
2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

##### 2.4.5.3.1 บัลลาสต์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Ballast)

บัลลาสต์ชนิดนี้ทำได้โดยใช้ขดลวดพันรอบแกนเหล็กเพื่อทำงานเป็น Choke (Reactor) ต่ออนุกรมกับหลอด มี 4 แบบ คือ

1. บัลลาสต์ธรรมดา (Standard Electromagnetic Ballast) บัลลาสต์แบบนี้มีคุณสมบัติดังนี้
  - มี P.F ต่ำ
    - ขนาด 18W มี P.F 0.37 Lagging
    - ขนาด 36W มี P.F 0.50 Lagging
  - กำลังสูญเสียค่อนข้างสูงคือ 8-10W
2. บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ (Low Watt Loss Ballast) บัลลาสต์แบบนี้มีคุณสมบัติดังนี้
  - มี P.F ต่ำ
    - ขนาด 18W มี P.F 0.30 Lagging
    - ขนาด 36W มี P.F 0.47 Lagging
  - กำลังสูญเสียจะน้อยกว่าแบบแรกคือ 5-6 W ทำให้การใช้บัลลาสต์แบบนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้จึงเป็นที่นิยมมากกว่าแบบแรก
3. บัลลาสต์ตัวประกอบกำลังสูง (High Power Factor Ballast) บัลลาสต์แบบนี้จะมีตัวเก็บประจุ (Capacitor) ติดตั้งอยู่ภายในเพื่อให้ P.F. รวมมีค่าสูง คือ 0.85-0.95 Lagging
4. บัลลาสต์แบบจุดติดเร็ว (Rapid Start Ballast) บัลลาสต์แบบนี้ไม่ต้องใช้ร่วมกับสตาร์ทเตอร์ จึงมีขดลวดเล็กๆสำหรับจ่ายไปให้ความร้อนกับ ขั้วอิเล็กโทรด และสามารถสตาร์ทได้ทันทีโดยไม่มีการกระพริบ
 

บัลลาสต์ Rapid Start จะต้องใช้กับหลอดแบบ RS ซึ่งมีแถบ Starting Strip

บัลลาสต์แบบนี้ จะมี P.F. สูง คือ 0.9-0.95 Lagging

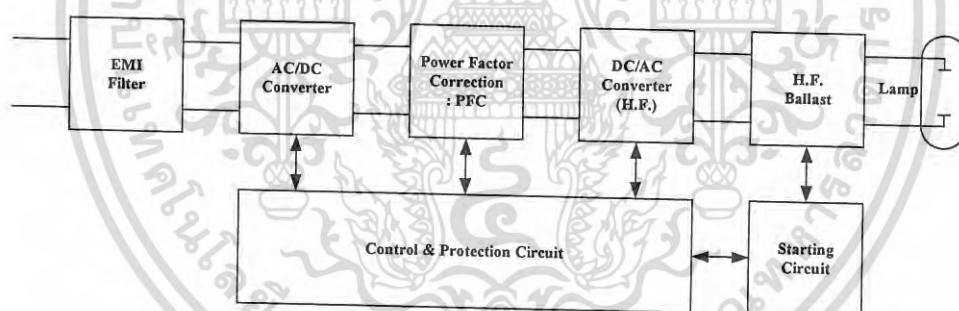
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.5.2.3 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) ทั้งระบบ T8 และ T5

เป็นบัลลาสต์ที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการทำงาน โดยทั่วไปจะใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) เปลี่ยนแรงดันจากไปกระแสสลับเป็นไปกระแสตรง แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณ Square-Wave ที่ความถี่สูงในช่วงประมาณ 25-100 kHz และจ่ายให้แก่ตัวหลอด บัลลาสต์ชนิดนี้แม้ว่าจะมีราคาค่อนข้างแพง แต่มีข้อดีกว่าบัลลาสต์แม่เหล็กไฟฟ้าหลายข้อได้แก่

- ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดและของวงจรหลอดรวมทั้งหมด
- ไม่เกิดการกระพริบและไม่เกิดแสงวาบ (Stroboscopic)
- จุดติดทันที และไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์
- ช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของหลอด
- ไม่ต้องปรับปรุงเรื่องตัวประกอบกำลัง (Power Factor)
- ไม่มีเสียงรบกวน
- มีน้ำหนักเบา

โดยหลักการทำงานของชุดขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีดังนี้ [5]



รูปที่ 2.7 บล็อกโตอะแกรมของวงจรขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ส่วนประกอบและการทำงานของแต่ละส่วนในวงจร มีดังนี้

EMI Filter :

วงจรกรองอีเอ็มไอ มีหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน EMI ที่มาจากภายนอกของระบบของบัลลาสต์ เช่นมาจากสายไฟของระบบจำหน่าย ซึ่งผลบังคับใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยมักจะประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่อกัน เพื่อกรองสัญญาณรบกวนออกไปไม่ให้ไหลเข้าสู่วงจรได้ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันบัลลาสต์เสียหายจากสภาวะชั่วขณะด้วย

AC-DC Converter :

ในขั้นตอนนี้จะใช้เพื่อสร้างสัญญาณแรงดันดีซี และปรับระดับแรงดันไฟฟ้าจากสายเอซี โดยปกติจะใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า เอซีทูดีซี หรือวงจรเรกติไฟเลอร์แบบฟลูบริดจ์ที่ใช้ไดโอด ซึ่งต่อกับตัวเก็บประจุเพื่อกรองสัญญาณดีซีให้เรียบ โดยวงจรนี้เป็นวงจรอย่างง่ายซึ่งจะทำให้มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ ซึ่งจะต้องปรับปรุงโดยวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง หรือวงจร power factor correction : PFC

DC-AC อินเวอร์เตอร์บัลลาสต์และความถี่สูง

ขั้นตอนเหล่านี้จะใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับหลอดไฟที่มีความถี่สูง โดยอินเวอร์เตอร์สร้างรูปแบบของคลื่นความถี่สูงและจะใช้ในการ จำกัด กระแสไฟที่ไหลผ่านไปยังหลอด โดยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่สามารถนำมาใช้ในการดำเนินการฟังก์ชันนี้ด้วยความได้เปรียบเนื่องจากขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเพราะมันทำงานที่ความถี่สูง

**หมายเหตุ** ในกรณีของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะใช้หลักการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพียงแต่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณ EMI และไม่มีวงจร หรืออุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

## 2.5 ฮาร์โมนิกส์และความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม [4]

ระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังที่ได้ออกแบบให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ แต่ผลจากการดึงกำลังไฟฟ้าของโหลดบางชนิด ได้ทำให้เกิดกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล ซึ่งความถี่ที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลเหล่านี้จะก่อให้เกิดภาวะมลพิษทางไฟฟ้าขึ้น (electrical pollution) โดยที่จะเรียกว่า “ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง” และด้วยผลของฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ ที่ทำให้รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังจะไม่ได้เป็นรูปไซน์โดยสมบูรณ์แต่จะได้อุปกรณ์ที่ผิดเพี้ยนไปจากไซน์แทน (distorted waveform) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ฮาร์โมนิกส์ (harmonics) หมายถึงส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ของสัญญาณหรือ ปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล ตัวอย่างเช่น ส่วนประกอบที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2 (second harmonic) เป็นต้น

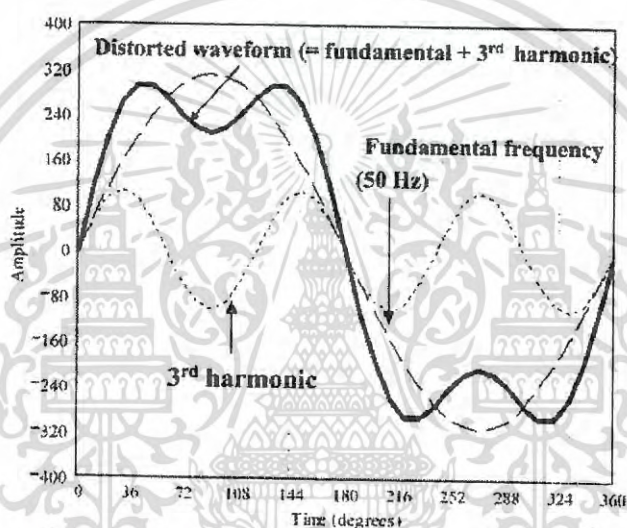
ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่ารูปคลื่นของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่เป็นรูปไซน์โดยสมบูรณ์ จะไม่มีฮาร์โมนิกส์รวมอยู่ด้วยเสมอการที่จะบอกว่ารูปคลื่นนั้นๆ ผิดเพี้ยนมาหรือน้อยไปจากรูปคลื่นไซน์ จะต้องพิจารณาจากค่า “ความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม” (Total Harmonic Distortion: THD) ซึ่งความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม (Total Harmonic Distortion: THD) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสอง (root-sum-square) ของค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ (harmonic component) กับค่ารากกำลังสองเฉลี่ย ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(fundamental component) เทียบเป็นร้อยละ ดังแสดงในสมการที่ (2.6) และ (2.7) ค่า THD มีค่าน้อยหมายถึง สัญญาณมีฮาร์มอนิกส์รวมขนาดไม่มากปนกับความถี่หลักมูล [4]

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{krms}^2}}{V_{1rms}} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{krms}^2}}{I_{1rms}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปจากไซน์ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบความถี่หลักมูลโดยมีฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 และค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม (THD) เท่ากับ 33%

ซึ่งผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีผลต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าจะมีผลทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 กรณี ดังนี้ คือ

1. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีขนาดและรูปคลื่นสัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป
2. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่า rms ของแรงดันหรือกระแส สูงขึ้นที่เกิดจากค่าฮาร์มอนิกส์ หรือมีการขยายของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก ที่เกิดจากฮาร์มอนิก รีโซแนนซ์ปัญหาฮาร์มอนิกที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ความหมายของค่าตัวประกอบกำลัง

ค่าตัวประกอบกำลัง (power factor: PF) มีนิยามคือ “ค่าตัวประกอบกำลังจะเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหารด้วยค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ” หรือเขียนในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (2.7) [4]

$$PF = \frac{P_{avg}}{S} = \frac{P_{avg}}{V_{rms} I_{rms}} \quad (2.7)$$

โดย  $P_{avg}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (average power)  
 $S$  = กำลังไฟฟ้าปรากฏ (apparent power)

ในทางปฏิบัติแล้วภาระทางไฟฟ้าหรือโหลดทางไฟฟ้า จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือแบบ เชิงเส้น (linear load) และแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear load) ซึ่งโหลดทั้งสองแบบนี้จะให้ค่าตัวประกอบกำลังที่แตกต่างกัน

โดยผลเสียในระบบไฟฟ้ากรณีที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะมีดังนี้

1. เสียค่าไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงมาก
2. ความสามารถในการจ่ายกระแสของหม้อแปลงลดลง
3. ต้องใช้สายไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากกระแสในสายสูงขึ้น
4. ความสามารถในการจ่ายกระแสของสายไฟฟ้านลดลง
5. เสียเงินค่าปรับค่าตัวประกอบกำลังต่ำ หรือค่าชดเชยค่า Q

## 2.7 DPF: Displacement Power Factor

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกำลังจริงของค่าหลักมูล (fundamental) ต่อกำลังปรากฏที่ค่าหลักมูล โดยสมการที่ใช้คำนวณหาค่า DPF จะแสดงในสมการที่ 2.8-2.9 [4]

$$DPF = \cos \phi_1 \quad (2.8)$$

โดยที่

$$\phi_1 = \text{angle between } v_1 \text{ and } i_1 \text{ หรือมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส} \quad (2.9)$$

ซึ่งถ้าเป็นกรณีสัญญาณไซน์ (ที่ไม่ผิดเพี้ยน) ค่า displacement power factor จะสามารถคำนวณได้เหมือนกับ apparent power factor ดังสมการ โดยที่มุม  $\phi$  คือมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสหลักมูล

โดยความสัมพันธ์ของค่า Displacement Power Factor และค่า power factor จะเป็นไปตามสมการที่ 2.9 [4]

$$PF = \frac{I_1}{I_{rms}} DPF \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกรณีที่โหลดไม่เป็นเชิงเส้นก็จะเป็นแหล่งสร้างสัญญาณฮาร์มอนิกส์ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับค่าตัวประกอบกำลัง ดังสมการที่ 2.11-2.12 [4]

$$V_{rms} = V_{1,rms} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} \quad (2.11)$$

$$I_{rms} = I_{1,rms} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} \quad (2.12)$$

จากนั้นแทนลงในสมการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง ซึ่งจะสามารถใช้ในการคำนวณหาค่า PF. ทั้งในกรณีที่ เป็นเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้นได้ ดังนี้ [4]

$$PF = \frac{P_{avg}}{V_{1,rms} I_{1,rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_v}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} \quad (2.13)$$

ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดได้ดังนี้

1. โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากฮาร์มอนิกส์อันดับที่สูงกว่าหลักมูลจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่า  $P_{avg} \cong P_{1,avg}$
2. เนื่องจากความผิดเพี้ยนรวมฮาร์มอนิกส์รวมของแรงดันจากแหล่งจ่าย ( $THD_v$ ) โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่า 10 % เสมอ ดังนั้นจากสมการที่ 2.11 จะได้  $V_{rms} \cong V_{1,rms}$   
ด้วยสมมุติฐานทั้ง 2 ข้อดังกล่าว สมการที่ในการคำนวณหาค่า PF. จึงสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.13 [4]

$$PF \approx \frac{P_{1,avg}}{V_{1,rms} I_{1,rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} \approx PF_{disp} \times PF_{dist} \quad (2.14)$$

โดยที่

$PF_{dist}$  คือ ค่าตัวประกอบกำลัง distortion (distortion power factor)

$PF_{disp}$  คือ ค่าตัวประกอบกำลัง displacement (displacement power factor) โดยในกรณีโหลด

ที่เป็นเชิงเส้น ค่า  $PF = PF_{disp}$

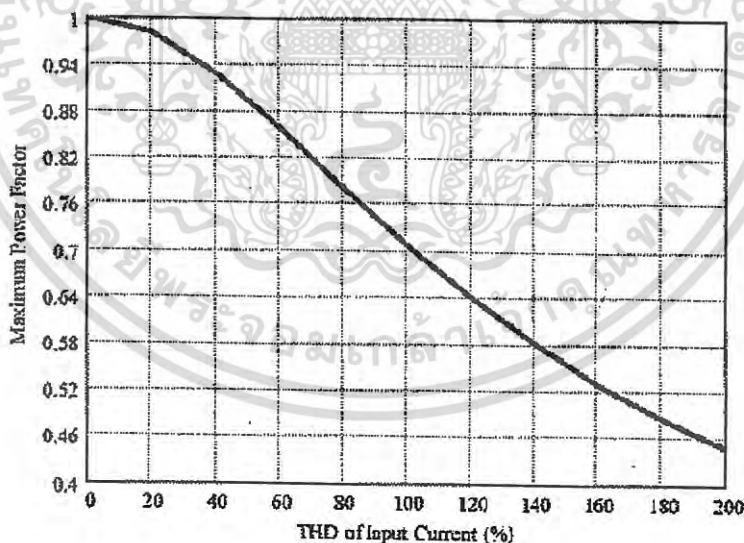
เนื่องจากค่าตัวประกอบกำลัง displacement ( $PF_{disp}$ ) จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ดังนั้นจากสมการที่ 2.14 ค่าตัวประกอบกำลังสำหรับกรณีโหลดแบบไม่เชิงเส้นจะมีค่าสูงสุดได้เท่ากับสมการที่ 2.15 [4]

$$PF \leq PF_{dist} \leq \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} \quad (2.15)$$

หรือสามารถคำนวณอย่างง่ายตามสมการที่ 2.15 [4]

$$PF = \frac{DPF}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.15 สามารถนำมาพล็อตกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีโหลดอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น คอมพิวเตอร์ จะมีความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าสูงมากประมาณ 100 % ดังนั้นถึงแม้ว่าค่าตัวประกอบกำลัง displacement จะเท่ากับ 1 ก็ตาม แต่ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า 0.707 เสมอ



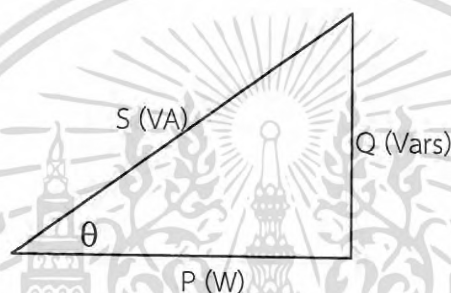
รูปที่ 2.9 ค่าตัวประกอบกำลังต่อค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวมของกระแสไฟฟ้ากรณีโหลดไม่เป็นเชิงเส้น

**หมายเหตุ** ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสำหรับกรณีโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะมีค่าตัวประกอบกำลัง distortion ต่ำนั้น จะไม่สามารถแก้ไขชดเชยได้ด้วยการต่อตัวเก็บประจุขนานเข้าไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ เพราะนั่นจะเป็นเพียงแค่การชดเชยค่าตัวประกอบกำลัง displacement เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงแล้วโหลดอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลัง displacement สูง แต่ว่าค่าตัวประกอบกำลัง distortion ต่ำ

ดังนั้นการต่อตัวเก็บประจุขนานเข้าไปในระบบ เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังอีกนั้น จะกลับจะเป็นการเพิ่มปัญหาเรโซแนนซ์ และเพิ่มความผิดเพี้ยนรวมของกระแสให้สูงขึ้น ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้อง ควรทำการชดเชยโดยวงจรกรองแบบพาสซีฟ (passive filter) หรือวงจรกรองแบบแอคทีฟ (active filter) เพื่อเป็นตัวจำกัดค่าฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

## 2.8 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle) [5]



รูปที่ 2.10 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

รูปที่ 2.10 เป็นการสร้างภาพสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของโหลดที่มีตัวเหนี่ยวนำร่วม ซึ่งในวงจรขนาน RL นั้น จะได้กำลังไฟฟ้าจริง (P) จะอยู่บนแกนอน ในขณะที่กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ของโหลดตัวเหนี่ยวนำซึ่งมีค่าเป็นบวก จะอยู่ในแกนตั้งด้านบวก ซึ่งถ้าเป็นโหลดที่เป็นตัวเก็บประจุจะมีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน Q เป็นลบก็จะอยู่บนแกนตั้งด้านลบตรงข้ามกับทิศทางกำลังไฟฟ้าเสมือนของโหลดตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปร่างของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าแล้ว จะเห็นว่า

$$P = V \times I \times \cos \theta, Q = P \tan \theta \quad (2.17)$$

โดย P คือ กำลังไฟฟ้าจริง (W)  
S คือ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (VA)  
Q คือ กำลังไฟฟ้าเสมือน (Var)

### หมายเหตุ

สมการที่ 2.17 ใช้คำนวณเฉพาะสัญญาณที่เป็น pure sine เท่านั้น ซึ่งถ้าสัญญาณขายนีมีฮาร์มอนิกส์ปนมาจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำลง นั่นคือมุม  $\theta$  จะมากขึ้นและส่งผลให้ค่า Q มากขึ้นตามและส่งผลเสียในระบบไฟฟ้าตามมาคือ ปัญหาค่าตัวประกอบกำลังต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ [4]

ปัจจุบันปัญหาทางด้านสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในประเทศไทย กำลังเป็นที่สนใจกับวิศวกรทั้งรุ่นเก่า และรุ่นใหม่ เนื่องจากมีกฎข้อบังคับ และมาตรฐานบังคับใช้ เพื่อเป็นเกณฑ์ในการยอมรับได้ของระดับสัญญาณรบกวน โดยผู้ประกอบการ และวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้ และความเข้าใจถึงการวัด วิธีการวัด และมาตรฐานการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับคู่แข่งทางการตลาดได้ ซึ่งหากบริษัทใดที่ไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบ จะไม่สามารถส่งออกไปขายยังต่างประเทศที่มีกฎหมายบังคับได้ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และสหภาพยุโรป เป็นต้น โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องจะมีหลายมาตรฐานด้วยกัน ทั้งในประเทศ (มอก.) และส่วนนานาชาติ เช่น มาตรฐานนานาชาติ (CISPR) มาตรฐานยุโรป และมาตรฐานอเมริกา (FCC) มาตรฐานทางทหารของอเมริกา (MIL-STD) ซึ่งในการทดสอบ หรือการวัด EMI จะต้องมีการปฏิบัติตามมาตรฐานของอุปกรณ์ และวิธีการวัดสัญญาณรบกวน และภูมิคุ้มกันที่ใช้ในการวัด EMI ซึ่งมีทั้งระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับนานาชาติ เช่น Military standard 4611/462: MIL-STD-461/462, Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE, American National Standards Institution: ANSI, Comite International Special Perturbations Radioelectrique: CISPR, International Electrotechnical Commission: IEC, Federal Communications Commission: FCC, British Standards Institution: BSI, Verband Deutscher Elektrotechniker: VDE, European standard: EURO และ Voluntary Control Council for Interference: VCCI เป็นต้น โดยผลกระทบของสัญญาณรบกวน EMI นี้ อาจทำให้เกิดผลเสียต่อการทำงานที่ผิดพลาดของตัวอุปกรณ์เอง หรือไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ข้างเคียงทำให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดได้

### 2.9.1 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)

ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility: EMC) คือความสามารถของอุปกรณ์ หรือระบบที่จะทำงานในสภาวะแวดล้อมที่มีคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้ตามต้องการ โดยไม่เสื่อมคุณภาพ หรือเกิดความเสียหาย ทำงานไม่ผิดพลาด และไม่ก่อให้เกิดคลื่นรบกวนแก่ตัวเอง และต่อสภาพแวดล้อม หรืออุปกรณ์อื่น หรือระบบอื่นด้วย หรือความหมายสั้นๆ คือความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดย EMC เกิดขึ้นเนื่องจากมีการรบกวน หรือคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference: EMI) ซึ่งการรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ หรือระบบต่างๆ ของตัวเอง หรือที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้เกิดการดำเนินงานที่ผิดพลาด หรือเสื่อมสภาพ และนำไปสู่ความเสียหายในที่สุด ซึ่งมีแหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยกัน 2 กลุ่มคือ

1. แหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนตามธรรมชาติ ได้แก่ ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า การคายประจุไฟฟ้า คลื่นคอสมิก และคลื่นจากดวงอาทิตย์

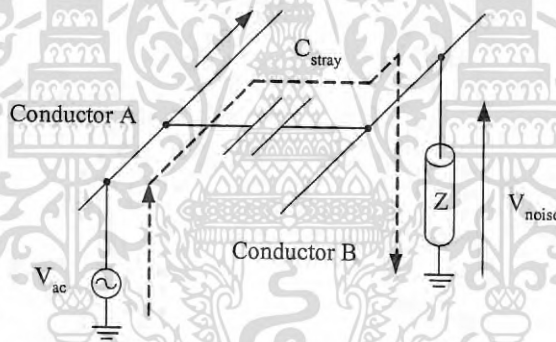
2. แหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนจากอุปกรณ์ หรือระบบที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้านการสื่อสาร ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เครื่องมือ เครื่องจักรกลฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าอุตสาหกรรม และที่ใช้ในบ้านเรือน รวมทั้งในสำนักงาน

การแพร่กระจาย ของคลื่นสัญญาณรบกวนจะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ การแพร่กระจายผ่านทางอากาศและการแพร่กระจายผ่านทางตัวนำ โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเน้นถึงการศึกษาการแพร่กระจายผ่านทางตัวเท่านั้น

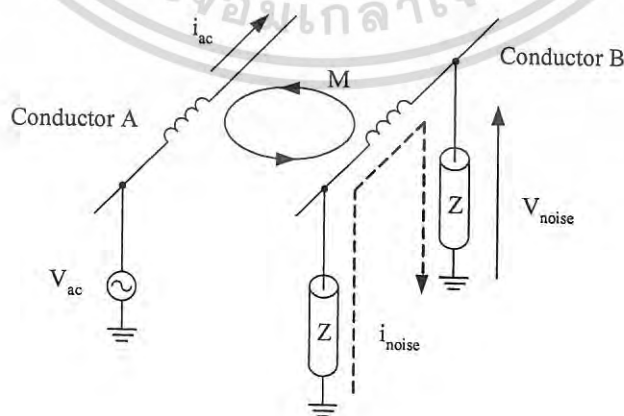
### 2.9.2 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ

การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ หรือ จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมโยง (coupling) โดยผ่านค่าตัวเก็บประจุแฝง (stray capacitance) หรือเกิดจากการเหนี่ยวนำ (stray inductance) โดยผ่านตัวเหนี่ยวนำแฝง (stray inductance) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12

ซึ่งการแพร่กระจายผ่านทางตัวนำนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 โหมดด้วยกันคือ โหมดผลต่าง (differential mode) ซึ่งเกิดจากสัญญาณระหว่างสายกับสาย และโหมดผลรวม (common mode) ซึ่งเกิดจากสัญญาณระหว่างสายกับกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก) และรูปที่ 2.13 (ข) ตามลำดับ

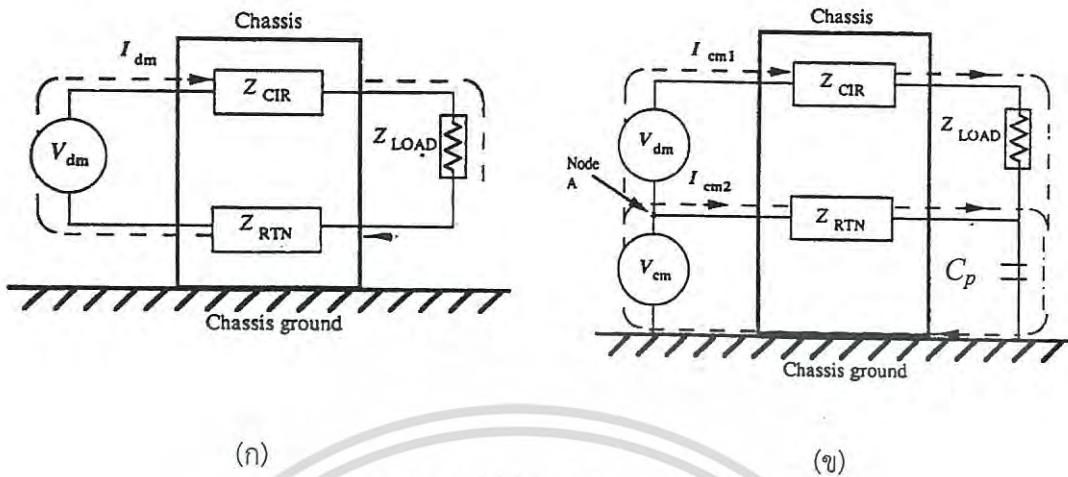


รูปที่ 2.11 การเชื่อมโยงทางตัวเก็บประจุแฝง



รูปที่ 2.12 การเชื่อมโยงผ่านทางตัวเหนี่ยวนำแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.13 การเกิดสัญญาณรบกวน

(ก) โหมดผลต่าง (differential mode)

(ข) โหมดผลร่วม (common mode)

### 2.9.3 องค์ประกอบแฝงของอุปกรณ์

ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือวงจรอื่นๆ ที่ทำการที่ความถี่สูง โดยใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตัวเก็บประจุ หรือตัวเหนี่ยวนำก็ตาม ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนึงองค์ประกอบแฝงที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์เหล่านั้นด้วย โดยพิจารณาจากกราฟเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ ดังนี้

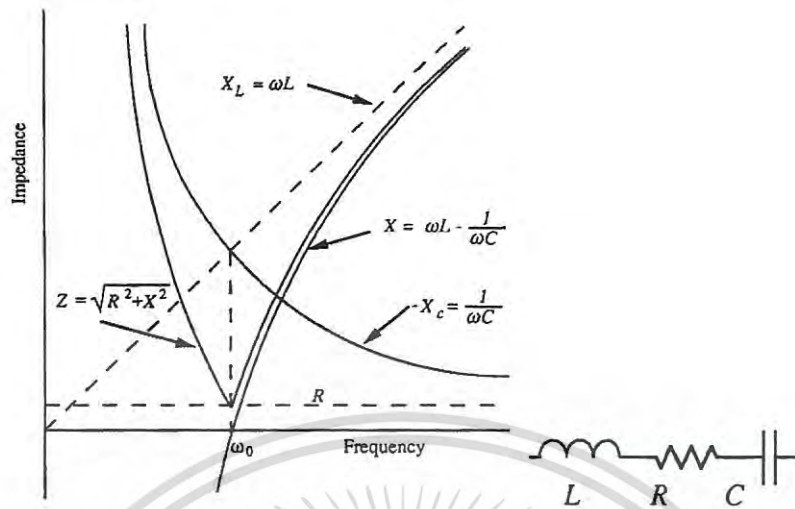
#### 2.9.3.1 ตัวเก็บประจุ

อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุในทางอุดมคติจะมีอัตราการลดลงที่ 20 dB/decade หรือ  $1/f$  ตามความถี่ที่เพิ่มขึ้นจนถึงอนันต์ ซึ่งความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุคือ [4]

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.18)$$

เมื่อ  $L$  คือค่าความเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ ซึ่งความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ตัวเก็บประจุจะมีค่าอินดักทีฟ และค่าอิมพีแดนซ์จะเพิ่มขึ้น ด้วยอัตรา 20 dB/decade โดยค่าความเหนี่ยวนำ จะเป็นสัดส่วนกับความชันของเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ โดยที่ย่านความถี่รอบๆ จุดเรโซแนนซ์ ค่าความจุของตัวเก็บประจุจะไม่มีประโยชน์มากนัก ในการนำมาพิจารณาใช้งาน ซึ่งการวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุหรือค่าความเหนี่ยวนำจะมีความยากลำบากในการหาความถี่ที่เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ เนื่องจากเส้นโค้งอิมพีแดนซ์จะมีค่าเข้าใกล้เคียงศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กราฟเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ

เส้นโค้งในรูปที่ 2.14 แสดงการพล็อตค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์โมเดลตัวเก็บประจุทั่วไป ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความต้านทานตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทาน โดยแยกกันในแต่ละเส้น ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์นั้น สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.19 [4]

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.19)$$

ซึ่งที่ความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะมีผลของค่าตัวเก็บประจุ และที่ความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะมีผลของค่าตัวเหนี่ยวนำ โดยโมเดลนี้เป็นแบบอย่างง่ายที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ EMI และ ฟิลเตอร์ ซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำมากตั้งแต่ซีไปตลอดถึงย่านความถี่วิทยุ

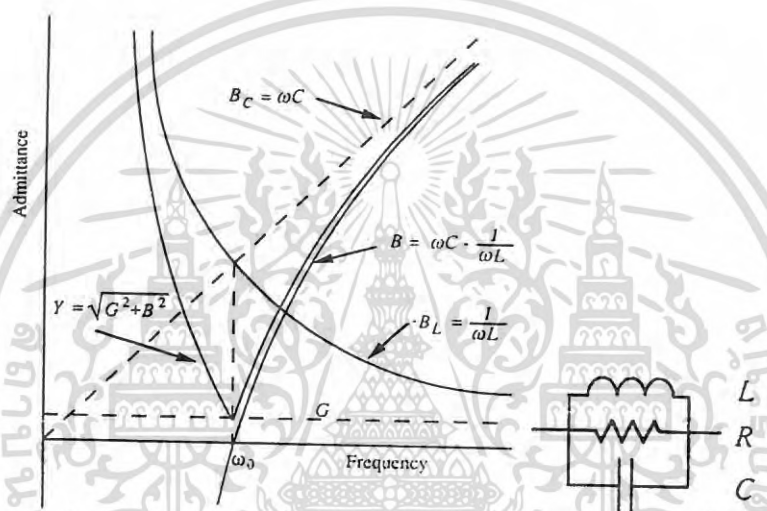
### 2.9.3.2 ตัวเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความจุของตัวเก็บประจุ เป็นสิ่งที่พิจารณาควบคู่กัน โดยมีโมเดลของตัวเหนี่ยวนำที่เป็นแบบอย่างง่าย ซึ่งต่อแบบขนานกันกับอุปกรณ์ทางอุดมคติ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งอิมพีแดนซ์ในทางอุดมคติจะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 20 dB/decade โดยเป็นสัดส่วนกับความถี่ และ ค่าความเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนกับความชันของเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ซึ่งค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.20 [4]

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $C$  คือค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าของคาปาซิทีฟและค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 20dB/decade และที่ความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ค่าความจุของตัวเก็บประจุจะเป็นสัดส่วนกับความชันของเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ และในย่านความถี่รอบๆ จุดเรโซแนนซ์ ค่าความเหนี่ยวนำจะไม่มีประโยชน์มากในการนำมาใช้งาน ซึ่งการวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุ หรือค่าความเหนี่ยวนำจะมีความยากลำบากในการหาความถี่ที่เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ เนื่องจากเส้นโค้งอิมพีแดนซ์จะมีค่าเข้าใกล้เคียงศูนย์



รูปที่ 2.15 กราฟเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ

เส้นโค้งในรูปที่ 2.15 แสดงการพล็อตค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์โมเดลตัวเก็บประจุทั่วไป ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความต้านทานตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทานโดยแยกกันในแต่ละเส้น ซึ่งค่าแอดมิตแตนซ์นั้น สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.21 [4]

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \quad (2.12)$$

ซึ่งที่ความถี่ที่ต่ำกว่า  $\omega_0$  จะมีผลของค่าตัวเก็บประจุ และที่ความถี่ที่สูงกว่า  $\omega_0$  จะมีผลของค่าตัวเหนี่ยวนำ โดยโมเดลนี้เป็นแบบอย่างง่ายที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ EMI และ ฟิเตอร์ ซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำมาก

## 2.10 มาตรฐานและการวัดการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า [4]

### 2.10.1. มาตรฐาน EMC นานาชาติที่เกี่ยวข้อง

#### 2.10.1.1 FCC REGULATIONS

FCC ย่อมาจาก Federal Communication Commission ซึ่งเป็นของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ทำการออกข้อบังคับสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร (wire and radio commissions) ซึ่งก่อตั้งในปี ค.ศ.1927 และสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน กล่าวคือ Part 15 สำหรับอุปกรณ์ความถี่วิทยุ (Radio-frequency devices) Part 18 สำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ (ISM) และ Part 68 สำหรับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ กับระบบ โทรศัพท์ (Telephone network) สำหรับ Part 15 จะแบ่ง มาตรฐานออกเป็น 4 ฉบับ และยังได้นิยามความหมายของ อุปกรณ์ความถี่วิทยุว่าคือ อุปกรณ์ใดๆ ก็ตาม que การทำงาน ทำให้เกิดการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่วิทยุ (Radio-frequency energy) ไม่ว่าจะเป็นทางสาย (Conduction) หรือทางอากาศ (Radiation) ก็ตาม โดย FCC ได้นิยามพลังงานที่ความถี่วิทยุว่า คือ พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุ (9 kHz-3,000 GHz) โดยมีจุดประสงค์ในการออกมาตรฐานเพื่อกำหนดการทำงานของตัวส่งสัญญาณ (Transmitters) ที่มีกำลังไฟฟ้ต่ำซึ่งไม่ได้มีใบอนุญาตในการติดตั้ง (Radio station license) และเพื่อควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวสินค้าที่จะส่งผลกระทบต่อ การติดต่อสื่อสารด้วยความถี่ วิทยุ (Radio communications) โดยอุปกรณ์ดิจิทัล (Digital electronics) ก็จัดอยู่ในหมวดดังกล่าว

#### 2.10.1.2 CISPR

CISPR ย่อมาจาก International Special Committee on Radio Interference (ในความจริงแล้วย่อมาจากคำเต็มซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศสคือ Comite International Special des Perturbations Radioelectrique) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1933 เพื่อหาวิธี การวัดและขีดจำกัดของการรบกวนยานความถี่ วิทยุ สำหรับนานาชาติ นอกจากนั้นแล้วตัว CISPR ไม่ได้เป็นกฎข้อบังคับหรือมาตรฐานบังคับใช้แต่อย่างใด แต่ มาตรฐานดังกล่าวถูกดัดแปลงโดยรัฐบาลของแต่ละประเทศ ให้เป็นมาตรฐานบังคับใช้ภายในของแต่ละประเทศ จึงกลายเป็นมาตรฐานสากลไปโดยปริยาย โดยมาตรฐาน CISPR Publication 22 เป็นการออกมาเพื่อควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดจากกรณีของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment) ซึ่งก็หมายถึงอุปกรณ์ดิจิทัล (Digital electronics) ซึ่งได้เกิดขึ้นในปี ค.ศ.1985 และหลังจากนั้นหลาย ๆ ประเทศทางยุโรป หรืออาจจะกล่าวได้ว่าทั่วโลกได้นำมาตรฐานดังกล่าวออกบังคับใช้เป็นมาตรฐานประจำชาติของตน (National standard) เช่น ประเทศญี่ปุ่นได้ ออกมาตรฐาน VCCI โดยใช้เส้นขีดจำกัดตาม CISPR Publication 22 เว้นเพียงแต่แรงดันไฟฟ้าที่พอนแก่อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ (Equipment Under Test: EUT) จะแตกต่างกัน โดยที่ VCCI จะทดสอบที่แรงดันดันขาของอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ เท่ากับ 100 โวลต เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.2 มาตรฐาน EMC ในประเทศ (มอก.)

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำมาตรฐาน IEC มาทำการปรับปรุงเพื่อใช้เป็นมาตรฐานของประเทศ ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2541 ซึ่งเป็นเวลาเกือบ 9 ปีแล้ว ซึ่งมาตรฐานที่เริ่มประกาศใช้อย่างเป็นทางการแล้วได้แก่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือ มอก. 1955-2542 โดยปัจจุบันเปลี่ยนเป็น มอก. 1955-2551 ซึ่งเป็นบริษัททางการส่องสว่าง และบริษัทที่คล้ายกัน

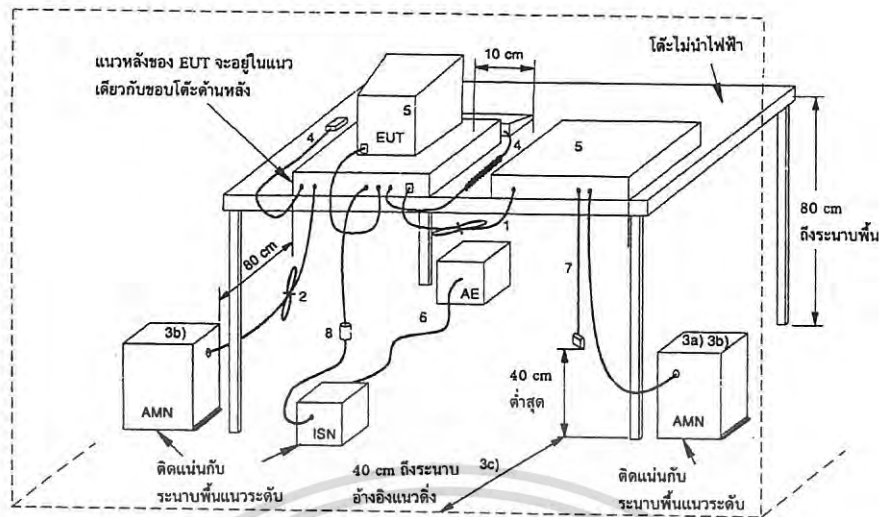
ในการทดสอบ หรือการวัด EMI จะต้องมีการปฏิบัติตามมาตรฐานของอุปกรณ์ และวิธีการ วัดสัญญาณรบกวน และภูมิคุ้มกันที่ใช้ในการวัด EMI ซึ่งมีทั้งระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับนานาชาติ เช่น

1. Military standard 4611/462: MIL-STD-461/462
2. Institute of Electrical and Electronics Engineers:IEEE
3. American National Standards Institution: ANSI
4. Comite International Special Pertubations Radioelectrique: CISPR
5. International Electrotechnical Commission: IEC
6. Federal Communications Commission: FCC
7. British Standards Institution: BSI
8. Verband Deutscher Elektrotechniker: VDE
9. European standard: EURO
10. Voluntary Control Council for Interference: VCCI

ซึ่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน Comite International Special Pertubations Radioelectrique: CISPR 16 ที่ว่าด้วยมาตรฐานของอุปกรณ์ และวิธีการวัดสัญญาณรบกวนวิทยุ และภูมิคุ้มกันใช้ในการวัด EMI และตามมาตรฐาน CISPR 15 (บริษัทส่องสว่าง) ซึ่งตรงกับมาตรฐานในประเทศไทย มอก. 1955-2551

#### 2.10.2.1 การจัดวางอุปกรณ์ (ตามมาตรฐาน มอก. 1955-2551)

ในการวัดสัญญาณรบกวนที่นำตามสายนั้น จำเป็นต้องมีการจัดวางอุปกรณ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานการวัด ซึ่งในที่นี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 1955-2551 หัวข้อที่ว่าด้วยเรื่องการจัดวางอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงแบบทดสอบ: บริภัณฑ์วางบนโต๊ะ (การวัดสัญญาณรบกวนที่นำตามสาย)

เมื่อ AE คือ บริภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง  
 EUT คือ บริภัณฑ์ที่ทดสอบ (ในงานวิจัยนี้คือ หลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ)  
 ISN คือ โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์

1. สายเคเบิลที่ห้อยอยู่ใกล้ระนาบพื้นโลหะแนวระดับในระยะต่ำกว่า 40 เซนติเมตร และไม่สามารถทำให้สั้นลงมีความยาวที่เหมาะสมได้ส่วนที่เกินต้องม้วนทับให้เป็นมัดที่ยาว 30 ถึง 40 เซนติเมตร

2. สายที่อ่อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประธานยาวที่ยาวเกินต้องม้วนทับให้เป็นมัดที่กลางสาย หรือทำให้สั้นลงจนมีความยาวที่เหมาะสม

3. ให้ต่อ EUT เข้ากับ AMN เครื่องหนึ่ง AMN และ ISN ทุกเครื่องอาจเลือกติดตั้งกับระนาบอ้างอิงแนวตั้ง หรือผนังโลหะ

(ก) หน่วยอื่นทั้งหมดของระบบได้รับกำลังไฟฟ้าจาก AMN เครื่องที่ 2 อาจใช้ได้รับชุดสำหรับสายอ่อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประธานหลายเส้น

(ข) AMN และ ISN ห่างจาก EUT 80 เซนติเมตร และห่างจากหน่วยอื่น และระนาบโลหะอื่นอย่างน้อย 80 เซนติเมตร

(ค) ต้องจัดตำแหน่งสายอ่อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประธาน และสายเคเบิลสัญญาณตลอดความยาวของสายเท่าที่จะทำได้ ที่ระยะ 40 เซนติเมตร ห่างจากระนาบอ้างอิงแนวตั้ง

4. สายเคเบิลของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยมือ เช่น แผงแป้นอักขระ เม้าส์ ฯลฯ ต้องวางในลักษณะใช้งานปกติ

5. อุปกรณ์รอบข้างต้องวางที่ระยะ 10 เซนติเมตร จากเครื่องอื่นๆ และจากตัวควบคุมยกเว้นจอภาพซึ่งย้ายอมรับได้ในทางปฏิบัติเกี่ยวกับการติดตั้งก็ให้วางบนตัวควบคุมโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สายเคเบิลสัญญาณเข้า/ออกซึ่งมีไว้สำหรับการต่อภายนอก
7. ปลายสายเคเบิลสัญญาณเข้า/ออกซึ่งไม่ได้ต่อเข้ากับ AE อาจลื่นหลุดลงจรลง ถ้าต้องการโดยใช้ฉนวนพีแวนซ์ลื่นสุดวงจรที่ถูกต้อง
8. ถ้าใช้โพรบกระแส ต้องวางอยู่ที่ระยะ 0.1 เมตร จาก ISN

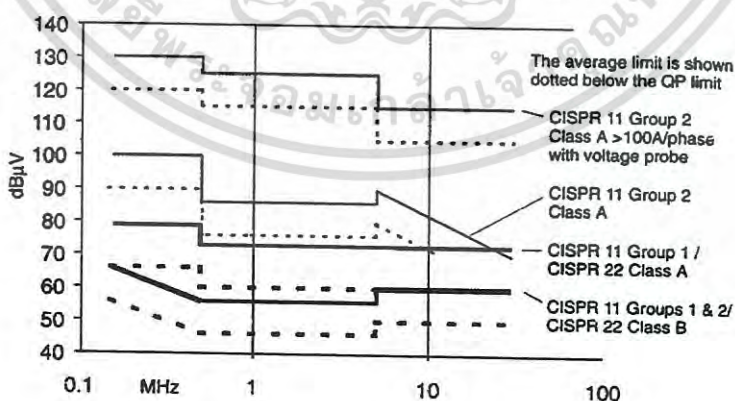
### 2.10.2.2 การจัดระนาบพื้น

- วาง EUT ซึ่งประสงค์ให้ใช้งานบนโต๊ะ 0.4 เมตร ห่างจากระนาบอ้างอิงโลหะในแนวตั้ง ที่มีขนาดอย่างน้อย 2 เมตร x 2 เมตร และต้องรักษาระยะอย่างน้อย 0.8 เมตร จากพื้นผิวโลหะอื่นใดๆ หรือระนาบพื้นอื่นที่ไม่ได้เป็นส่วนของ EUT ถ้าทำการวัดเปลือกหุ้มกันการรบกวน ระยะ 0.4 เมตร อาจอ้างอิงกับผนังข้างหนึ่งของเปลือกหุ้ม ถ้าทำการวัดในบริเวณทดสอบพื้นที่เปิดหรือในเปลือกหุ้มกันการรบกวน ระยะ 0.4 เมตร อาจอ้างอิงกับระนาบพื้นโลหะในแนวระดับ

- อุปกรณ์ทดสอบตั้งพื้นต้องวางบนระนาบพื้นโลหะในแนวระดับ
- จุดสัมผัสต้องสอดคล้องกับการใช้งานตามปกติ แต่ต้องไม่สัมผัสทางโลหะกับระนาบพื้น อาจแทนพื้นโลหะด้วยระนาบพื้นอ้างอิง ระนาบพื้นอ้างอิงต้องยื่นพื้นเส้นขอบของ EUT อย่างน้อย 0.5 เมตร และต้องมีขนาดอย่างน้อย 2 เมตร x 2 เมตร
- จุดดินอ้างอิงของ AMN และโครงข่ายเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (impedance stabilization network; ISN) ต้องต่อเข้ากับระนาบพื้นอ้างอิงด้วยตัวนำที่สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้

### 2.10.3 ขีดจำกัดสัญญาณการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการวัดสัญญาณการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะมีเส้นขีดจำกัดสัญญาณการรบกวนเป็นมาตรฐานอ้างอิง เพื่อบอกถึงขีดจำกัดของระดับสัญญาณตามย่านความถี่ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



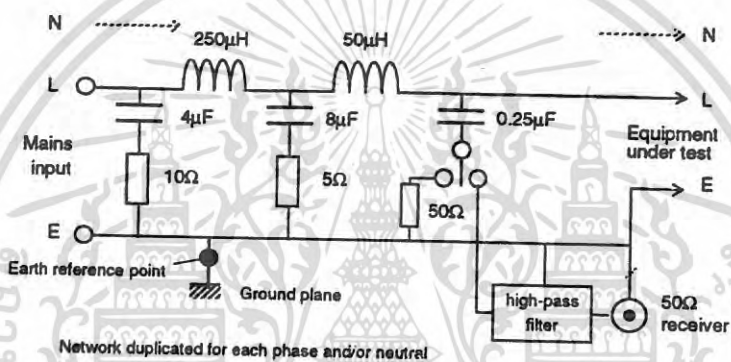
รูปที่ 2.17 ขีดจำกัดสำหรับการแพร่กระจายผ่านทางตัวนำตามมาตรฐาน CISPR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างของเส้นขีดจำกัดการแพร่ของสัญญาณการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า ผ่านทางตัวนำ ตามมาตรฐาน CISPR11 และ CISPR22 ซึ่งประกอบด้วย 2 ระดับ คือ ระดับ A สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและ ระดับ B สำหรับบ้านพักอาศัยและสำนักงาน

#### 2.10.4 โครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ หรือ LISN

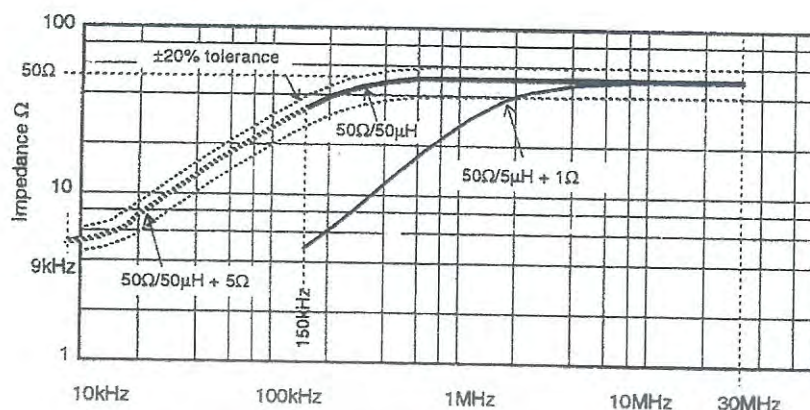
ในการวัดสัญญาณการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จำเป็นต้องมีโครงข่ายแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประธานเทียม (Artificial Mains Network: AMN) หรือโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Networks: LISN) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณรบกวนที่ต้องการวัด เพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณรบกวน โดยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรของโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ AMN/LISN

AMN/LISN นั้นมีหน้าที่หลักตามมาตรฐาน CISPR 16-1 ( $50 \Omega/50 \mu\text{H}+5 \Omega$ ) ดังนี้

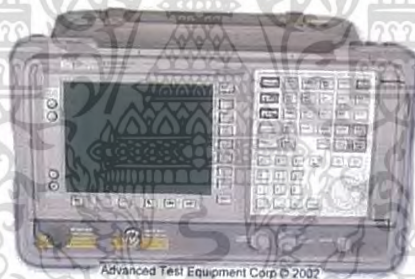
1. สามารถรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ระหว่างสายในแต่สายของแหล่งจ่ายกับจุดกราวด์อ้างอิงให้คงที่ที่  $50 \Omega$  โดยมีตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าความเหนี่ยวนำ  $50 \mu\text{H}$  ต่ออยู่ด้วย สำหรับความถี่ตั้งแต่  $150 \text{ kHz}$  ถึง  $30 \text{ MHz}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.19 โดยที่  $50 \Omega/50 \mu\text{H}+5 \Omega$  ใช้สำหรับ LISN ทั่วไป และ  $50 \Omega/50 \mu\text{H}+1 \Omega$  ใช้สำหรับ LISN ที่ใช้ทดสอบในสภาวะกระแสสูงถึง  $500 \text{ แอมป์}$
2. สามารถแยกสัญญาณรบกวนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้การทดสอบ (Equipment Under Test: EUT) เพื่อนำเข้าสู่เครื่องมือวิเคราะห์
3. สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนที่มากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักออกไปไม่ได้ โดยไม่ให้เข้าสู่ระบบที่กำลังวัดอยู่ และเพื่อความปลอดภัยในการทดสอบ ควรมีการต่อจุดอ้างอิงของ AMN/LISN ลงดิน



รูปที่ 2.19 กราฟอิมพีแดนซ์กับความถี่ของโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ AMN/LISN

### 2.10.5 ตัวอย่างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ EMI

เครื่องมือที่สำคัญในการวัด และทดสอบระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ได้แก่ เครื่อง EMI Analyzer ซึ่งตัวอย่างจะเป็น Agilent model E7401A ซึ่งสามารถวัดได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 9 kHz-1.5 GHz ดังในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างเครื่อง EMI Analyzer ที่ใช้ในการวัด

และตัวอย่างเครื่องรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ AMN/LISN คือ EMCO model 3810/2 50Ω 50/250μH ซึ่งสามารถวัดได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 9 kHz-30 MHz ดังรูป 2.21



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเครื่องโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ LISN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

### การทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน และมีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญ ซึ่งต้องการวัด ดังต่อไปนี้ (โดยรักษาแรงดันด้านเข้าให้คงที่ที่ 220 โวลต์)

- 1 การวัดการบริโภคพลังงานไฟฟ้า
- 2 การค่าตัวประกอบกำลัง
- 3 การวัดค่า %THDi
- 4 การวัดสัญญาณ conducted EMI
- 5 การวัดค่าความสว่าง

โดยมีไดอะแกรมของการทดลองทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3.1

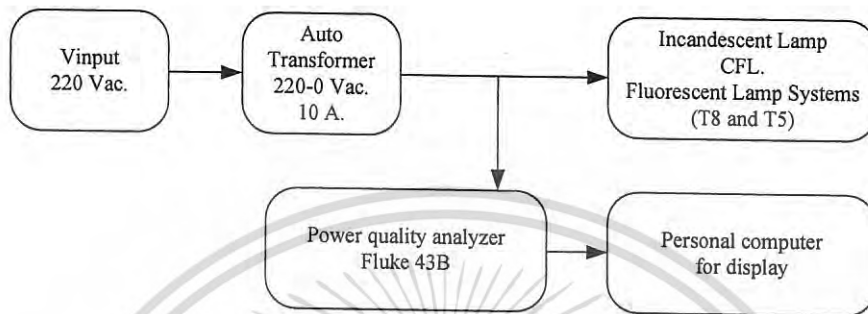
ตารางที่ 3.1 ไดอะแกรมของการทดลองทั้งหมด

ลำดับ	รายการ	พิกัดกำลัง (W)	ชนิดบัลลาสต์	หมายเหตุ
1	หลอดไส้	40	-	แบบไฮดรอมดา
2	หลอดประหยัดพลังงาน : CFL	8/40	อิเล็กทรอนิกส์	-
3	คอมฟลูออเรสเซนต์ T8	36	ขดลวดแกนเหล็ก	แบบธรรมดา
4			ขดลวดแกนเหล็ก	การสูญเสียต่ำ
5			อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. ต่ำ
6			อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. สูง
7	คอมฟลูออเรสเซนต์ T5 (set)	28	อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. ต่ำ
8			อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. สูง

หมายเหตุ หลอดประหยัดพลังงาน : CFL. 8/40 หมายถึงหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีพิกัดกำลังขนาด 8 วัตต์ ซึ่งสามารถใช้แทนหลอดไส้ขนาด 40 วัตต์ได้ และคอมฟลูออเรสเซนต์ T5 (set) หมายถึงมีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บรรจุอยู่ภายในแล้ว

### 3.1 การทดลองทางไฟฟ้า

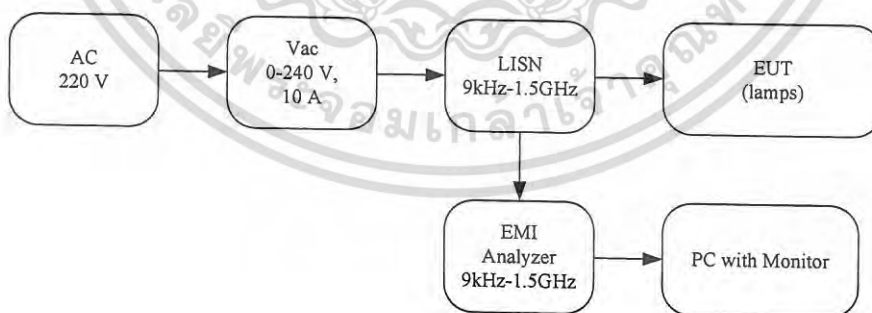
โดยในการทดลองวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าจะมีบล็อกไดอะแกรมการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.1 และการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI ผ่านทางตัวนำ จะมีบล็อกไดอะแกรมการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.2 รวมทั้งอุปกรณ์หลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.6



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า

การวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าจะใช้เครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าเป็นเครื่องมือวัดสำคัญโดยสามารถแสดงค่าได้ในหน้าจอคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งสามารถแสดงผลการวัดที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือการบริโภคกำลังไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะปรับให้คงที่ที่ 220 โวลต์ โดยใช้หม้อแปลงอัตโนมัติในการปรับ รวมทั้งค่าตัวประกอบกำลัง และค่า %THD<sub>i</sub> อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1

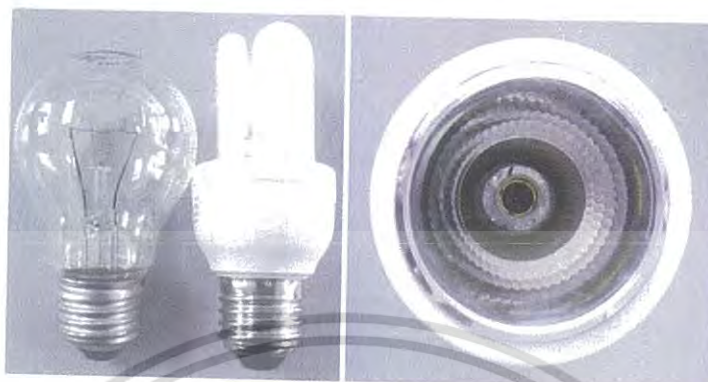
### 3.2 การทดลองวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI ผ่านทางตัวนำ



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI ผ่านทางตัวนำ

ส่วนการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI ผ่านทางตัวนำนั้นจะมีบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยต้องรักษาแรงดันให้คงที่ที่ 220 โวลต์ โดยใช้หม้อแปลงอัตโนมัติในการปรับ จากนั้นสัญญาณรบกวน EMI แยกออกระหว่างแหล่งจ่าย กับบริเวณขั้วไฟฟ้าที่ทดสอบด้วยเครื่องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายรักษาเสถียรภาพของอิมพีแดนซ์ ซึ่งจะถูกตรวจจับสัญญาณ โดยเครื่อง EMI Analyzer โดยจะแสดงภาพผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



รูปที่ 3.3 หลอดไส้ 40 วัตต์ (ด้านซ้าย) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 8 วัตต์ (ตรงกลาง) และโคมดาวนไลท์ขนาด 6 นิ้ว (ด้านขวา)

หลอดไส้ชนิดธรรมดาแบบไส้ ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไปในท้องตลาด ในห้างสรรพสินค้า หรือร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งมีขนาดพิกัดกำลังคือ 40 วัตต์ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ แบบ 3 U ขนาดพิกัดกำลัง 8 วัตต์ ซึ่งใช้ขั้วหลอดแบบ E27 ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนไส้แทนหลอดไส้ได้ทันที โดยในการทดลองจะบรรจุหลอดไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด กับโคมดาวนไลท์ขนาด 6 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.4 บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา ขนาดพิกัด 36 วัตต์ (ด้านบน) และแบบการสูญเสียต่ำ ขนาดพิกัด 36 วัตต์ (ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กทั้งแบบธรรมดา (รูปบน) และแบบการสูญเสียต่ำ (รูปล่าง) ซึ่งใช้ในการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ระบบ T8 ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไปในท้องตลาด ในห้างสรรพสินค้า หรือร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งมีขนาดพิกัดกำลังเท่ากันคือ 36 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (LPF.) ขนาด 36 วัตต์ (ด้านบน) และแบบค่าตัวประกอบกำลังสูง (HPF.) ขนาด 36 วัตต์ (ด้านล่าง)

บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ทั้งแบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (รูปบน) และค่าตัวประกอบกำลังสูง (รูปล่าง) ซึ่งใช้ในการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ระบบ T8 ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไปในท้องตลาด ในห้างสรรพสินค้า หรือร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งมีขนาดพิกัดกำลังเท่ากันคือ 36 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก (MB) (ด้านบน)  
โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 28 วัตต์ ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์รุ่น (LPF.) (ตรงกลาง)  
โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 28 วัตต์ ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์รุ่น (HPF.) (ด้านล่าง)

โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 (รูปบน) และโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 รุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (รูปกลาง) และรุ่นค่าตัวประกอบกำลังสูง (รูปล่าง) ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไปในท้องตลาด ในห้างสรรพสินค้า หรือร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งมีขนาดพิกัดกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นคือคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 คือ 36 วัตต์ และคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 คือ 28 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 จะมีขนาดเล็กกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 โดยที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ  $5/8$  นิ้ว หรือ 5 หุน ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ  $8/8$  หรือ 8 หุน หรือ 1 นิ้ว

### สรุปข้อมูลจำเพาะของบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการทดลอง ดังนี้

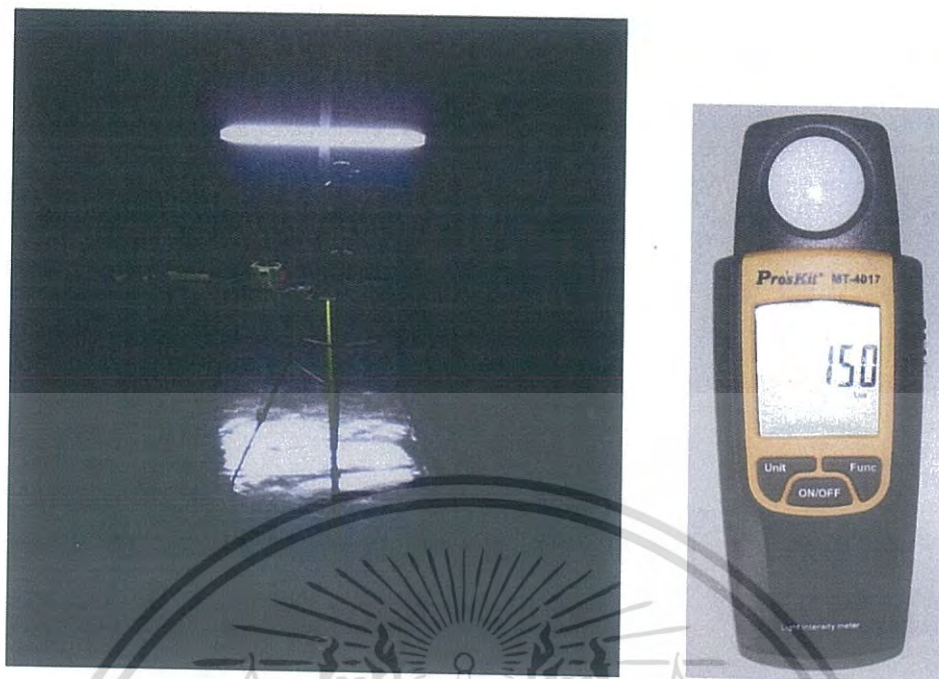
1. หลอดไส้ชนิดธรรมดาแบบใส
  - ขนาดพิกัดกำลัง 40 วัตต์
  - อายุการใช้งาน 1,000 ชั่วโมง
2. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์
  - ขนาดพิกัดกำลัง 8 วัตต์
  - อายุการใช้งาน 6,000 ชั่วโมง
3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 (ข้าวขาว)
  - ขนาดพิกัดกำลัง 36 วัตต์
  - อายุการใช้งานของหลอด 13,000 ชั่วโมง
  - Light output 2,600 lm
  - ประสิทธิภาพการส่องสว่าง 72 lm/w
4. บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กธรรมดา
  - ขนาดพิกัดกำลัง 36 วัตต์
  - แรงดัน 220 V.
  - ความถี่ 50 Hz
  - กระแส 0.37 A.
  - ค่าตัวประกอบกำลัง 0.35
5. บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กธรรมดาแบบการสูญเสียต่ำ
  - ขนาดพิกัดกำลัง 36 วัตต์
  - แรงดัน 220 V.
  - ความถี่ 50 Hz
  - กระแส 0.43 A.
  - ค่าตัวประกอบกำลัง 0.5
6. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (รุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำ)
  - ขนาดพิกัดกำลัง 36/40 วัตต์
  - แรงดัน 220-240 V.
  - ความถี่ 50/60 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระแส 0.260/0.290 A.
  - ค่าตัวประกอบกำลัง  $0.60 \pm 0.05$
7. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (รุ่นค่าตัวประกอบกำลังสูง)
- ขนาดพิกัดกำลัง 36/40 วัตต์
  - แรงดัน 220-240 V.
  - ความถี่ 50/60 Hz
  - กระแส 0.17 A.
  - ค่าตัวประกอบกำลัง 0.97
8. โคมฟลูออเรสเซนต์ T5 ใช้อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์บรรจุภายใน (รุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำ)
- ขนาดพิกัดกำลัง 28 วัตต์
  - อายุการใช้งานของหลอด 20,000 ชั่วโมง
  - Light output 2,800 lm
  - ประสิทธิภาพการส่องสว่าง 98 lm/w
9. โคมฟลูออเรสเซนต์ T5 ใช้อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์บรรจุภายใน (รุ่นค่าตัวประกอบกำลังสูง)
- ขนาดพิกัดกำลัง 28 วัตต์
  - อายุการใช้งานของหลอด 20,000 ชั่วโมง
  - Light output 2,600 lm
  - ประสิทธิภาพการส่องสว่าง 93 lm/w
10. หลอด LED (แบบ T8)
- ขนาดพิกัดกำลัง 18 วัตต์

### 3.3 การทดลองทางแสง

การวัดค่าความสว่างจะทำการวัดค่าในห้องมืด เพื่อป้องกันผลการวัดผิดเพี้ยนจากแสงที่มาจากภายนอก และใช้เครื่องมือวัดค่าความสว่าง หรือลักซ์มิเตอร์ วางห่างจากจุดวัดที่อ้างอิงระยะห่างระหว่างหลอดไฟที่ทดลอง กับเครื่องมือวัดแสง หรือลักซ์มิเตอร์ โดยอ้างอิงที่ระยะใช้งานจริงที่ระยะ 3 เมตร (ระยะห่างจากฝ้าเพดานจนถึงพื้นห้องคือ 3 เมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ใช้งานจริง) โดยจะต้องควบคุมแรงดันด้านเข้าให้คงที่ที่ 220 โวลต์ ซึ่งจะใช้หม้อแปลงอัตโนมัติในการปรับแรงดัน และอุปกรณ์เครื่องมืออื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองจะแสดงในรูปที่ 3.7-3.9



รูปที่ 3.7 ห้องมืดที่ใช้ในการทดลองวัดแสง และลักซ์มิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดค่าความสว่าง



รูปที่ 3.8 โพรบวัดกระแส และเครื่องวิเคราะห์คุณภาพทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 หม้อแปลงอโต้ 0-250 VAC. 10 A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า และการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ จะทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้า และห้อง EMC Lab ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งจากรูปจะเห็นเครื่องมือวัดที่สำคัญได้แก่ power analyzer, EMI analyzer, LISN, หม้อแปลงแบบอโต้ และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับแสดงผลทางกราฟ และข้อมูลตัวเลขอื่นๆที่สำคัญ



รูปที่ 3.10 ห้องปฏิบัติการทดลองทางไฟฟ้า และ EMC Lab



รูปที่ 3.11 ห้องควบคุมการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ จากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ หรือ PTEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ห้องทดลองวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำจาก ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ หรือ PTEC

ส่วนรูปที่ 3.11-3.12 จะแสดงห้องควบคุม และห้องทดสอบการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ จากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ หรือ PTEC ซึ่งจากรูปจะสังเกตเห็นเครื่อง EMI analyzer และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งจะทำหน้าที่วัดและแสดงผลการวัดค่าระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ ตามมาตรฐาน CISPR : International Special Committee on Radio Interference ซึ่งประกอบด้วย CISPR-16 : มาตรฐานวิธีการวัดและเครื่องมืออุปกรณ์การวัด และ CISPR-15 : มาตรฐานการวัดปริมาณรังสีส่องสว่าง ข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.ptec.or.th/>

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การทดลองตามกรณีศึกษาทั้ง 8 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยผลการทดลองจาก การวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า และค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมของความผิดเพี้ยนรวมของกระแส หรือ %THD; จะแสดงในรูปที่ 4.1-4.8 และผลการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ จะแสดงในรูปที่ 4.9-4.16 จากไดอะแกรมการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

โดยผลการวัดทางไฟฟ้าซึ่งได้จากเครื่อง power analyzer สามารถวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าได้ในคราวเดียวกัน ซึ่งประกอบไปด้วยค่าต่างๆ ที่สำคัญ ดังนี้ ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.1-4.8

1. ค่าแรงดันด้านเข้า
2. ค่ากระแสด้านเข้า
3. ค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือการบริโภคกำลังไฟฟ้า
4. ค่าตัวประกอบกำลัง
5. ค่า DPF
6. ค่า %THD;

และค่าผลการวัดระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำจากห้องปฏิบัติการทดลองทางไฟฟ้า และ EMC Lab ซึ่งเป็นการวัดเบื้องต้น จะแสดงในรูปที่ 4.9-4.19 โดยอ้างอิงจากบทความ PEDS 2007 และรูปที่ 4.20-4.22 โดยอ้างอิงจากบทความ ICEAST 2007 และ รูปที่ 4.23-4.26 โดยอ้างอิงจากบทความ APSAEM 2008

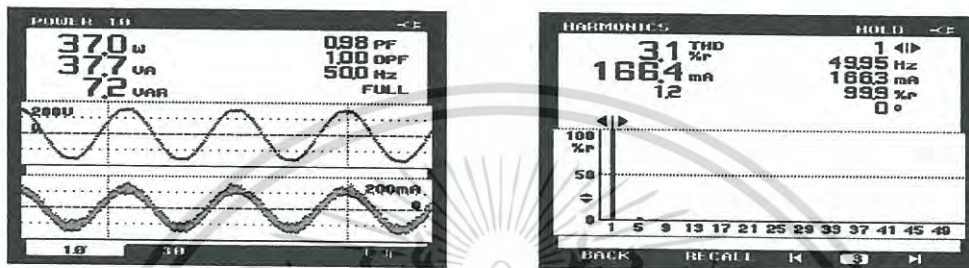
ส่วนผลการวัดระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ จากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ หรือ PTEC จะแสดงในรูปที่ 4.27-4.34

ตารางที่ 4.1 กรณีศึกษาที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	รายการ	พิกัดกำลัง (W)	ชนิดบัลลาสต์	หมายเหตุ
1.	หลอดไส้	40	-	แบบใสธรรมดา
2.	หลอดประหยัดพลังงาน : CFL.	8	อิเล็กทรอนิกส์	-
3.	โคมฟลูออเรสเซนต์ T8	36	ขดลวดแกนเหล็ก	แบบธรรมดา
4.			ขดลวดแกนเหล็ก	การสูญเสียต่ำ
5.			อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. ต่ำ
6.			อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. สูง
7.	โคมฟลูออเรสเซนต์ T5 (set)	28	อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. ต่ำ
8.			อิเล็กทรอนิกส์	ร่น PF. สูง

หมายเหตุ หลอดประหยัดพลังงาน : CFL 8/40 หมายถึงหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีพิกัดกำลังขนาด 8 วัตต์ ซึ่งสามารถใช้แทนหลอดไส้ขนาด 40 วัตต์ได้ และคอมฟลูออเรสเซนต์ T5 (set) หมายถึงมีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บรรจุอยู่ภายในแล้ว

4.1 ผลการทดลองทางไฟฟ้า (1.ค่าแรงดันด้านเข้า, 2. ค่ากระแสด้านเข้า 3. ค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือการบริโภคกำลังไฟฟ้า, 4. ค่าตัวประกอบกำลัง, 5. ค่า DPF, 6. ค่า %THD<sub>i</sub>)



รูปที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกจากหลอดไส้ธรรมดาแบบไส้ธรรมดา ขนาด 40 วัตต์

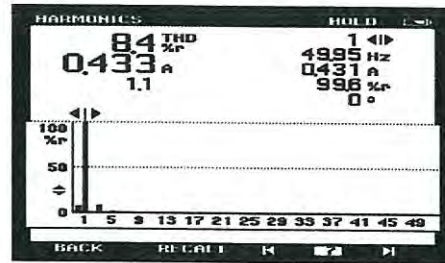
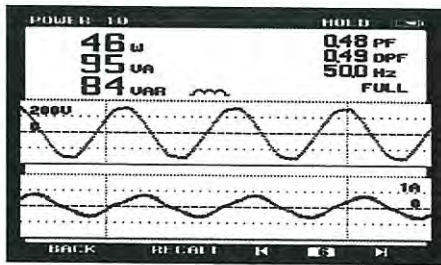
จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลอดไส้ธรรมดาแบบไส้ธรรมดา ขนาด 40 วัตต์ จะกินกำลังไฟฟ้า 37.0 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.98 ค่า DPF เท่ากับ 1.0 มีค่ากระแสด้านเข้า 0.166 แอมแปร์ และมีค่า % THD<sub>i</sub> เท่ากับ 3.1 %



รูปที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกจากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 8/40 วัตต์

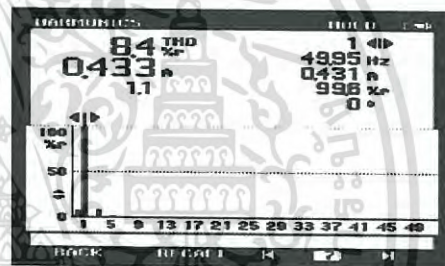
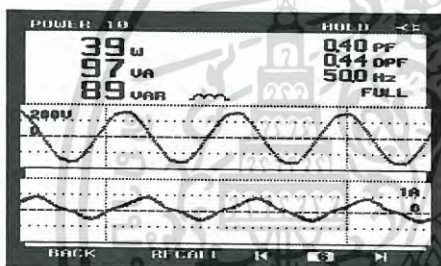
จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 8/40 วัตต์ จะกินกำลังไฟฟ้า 8.8 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.56 ค่า DPF เท่ากับ 0.92 มีค่ากระแสด้านเข้า 0.0554 แอมแปร์ และมีค่า % THD<sub>i</sub> เท่ากับ 70.1 % ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



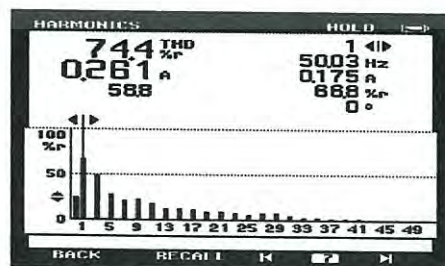
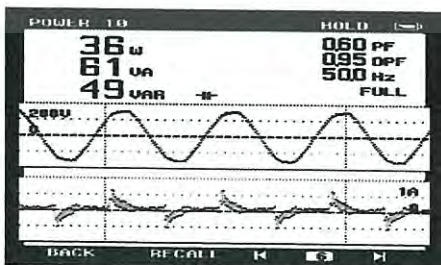
รูปที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าและฮาร์มอนิกจากโคม FL. 36 วัตต์-T8  
(ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดา)

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา จะกินกำลังไฟฟ้า 46.0 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.48 ค่า DPF เท่ากับ 0.49 มีค่ากระแสต้านเข้า 0.433 แอมแปร์ และมีค่า % THD<sub>i</sub> เท่ากับ 8.4 %



รูปที่ 4.4 กำลังไฟฟ้าและฮาร์มอนิกจากโคม FL. 36 วัตต์-T8  
(ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ)

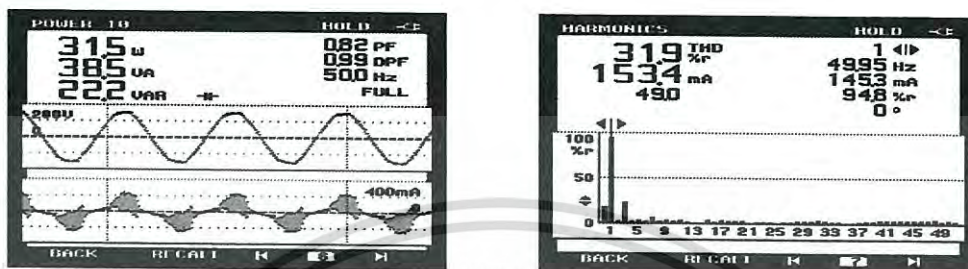
จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ จะกินกำลังไฟฟ้า 39.0 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.40 ค่า DPF เท่ากับ 0.44 มีค่ากระแสต้านเข้า 0.433 แอมแปร์ และมีค่า % THD<sub>i</sub> เท่ากับ 8.4 %



รูปที่ 4.5 กำลังไฟฟ้าและฮาร์มอนิกจากโคม FL. 36 วัตต์-T8  
(ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ)

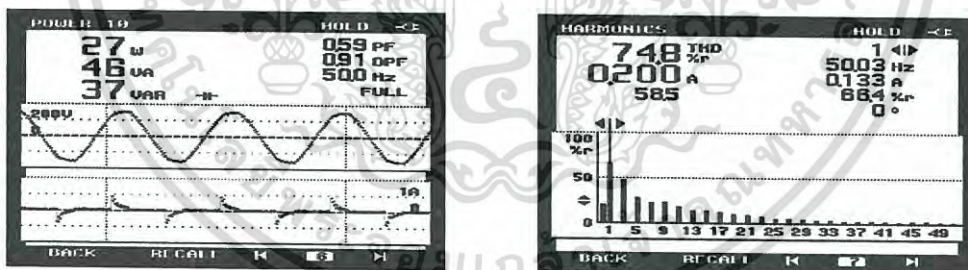
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะกินกำลังไฟฟ้า 36.0 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.6 ค่า DPF เท่ากับ 0.95 มีค่ากระแสต้านเข้า 0.261 แอมแปร์ และมีค่า % THD, เท่ากับ 74.4 % ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก



รูปที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกจากคอม FL. 36 วัตต์-T8  
(ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง)

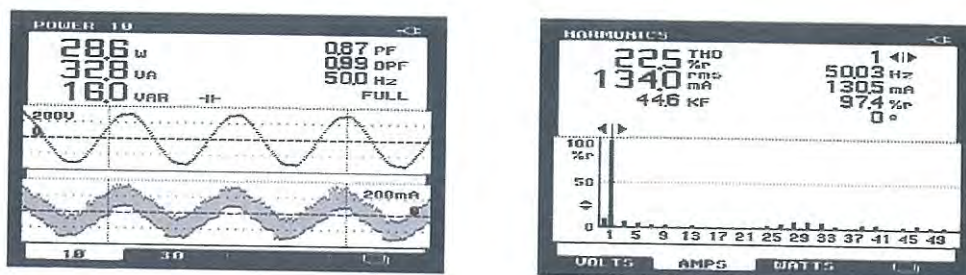
จากรูปที่ 4.6 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง จะกินกำลังไฟฟ้า 31.5 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.82 ค่า DPF เท่ากับ 0.99 มีค่ากระแสต้านเข้า 0.1534 แอมแปร์ และมีค่า % THD, เท่ากับ 31.9 %



รูปที่ 4.7 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกจากคอม FL. 28 วัตต์-T5  
(ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ)

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ขนาด 28 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะกินกำลังไฟฟ้า 27.0 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.59 ค่า DPF เท่ากับ 0.91 มีค่ากระแสต้านเข้า 0.200 แอมแปร์ และมีค่า % THD, เท่ากับ 74.8 % ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

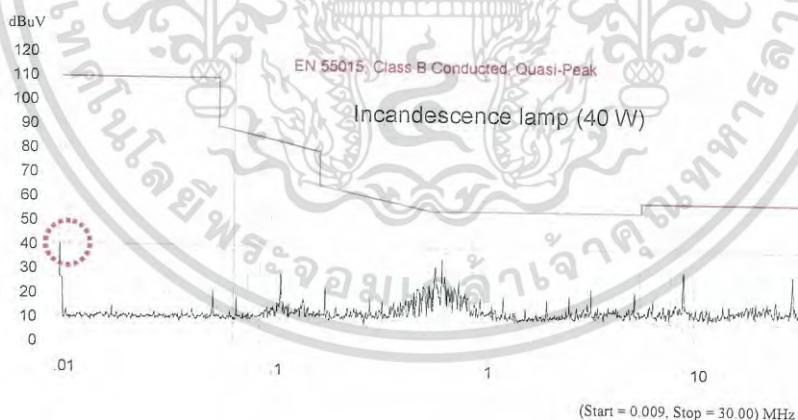


รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าและฮาร์โมนิกจากโคม FL. 28 วัตต์-T5  
(ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง)

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ขนาด 28 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง จะกินกำลังไฟฟ้า 28.6 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.87 ค่า DPF เท่ากับ 0.99 มีค่ากระแสต้านเข้า 0.134 แอมแปร์ และมีค่า % THD, เท่ากับ 22.5 %

#### 4.2 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ เบื้องต้นจากห้องปฏิบัติการทดลองทางไฟฟ้า และ EMC Lab

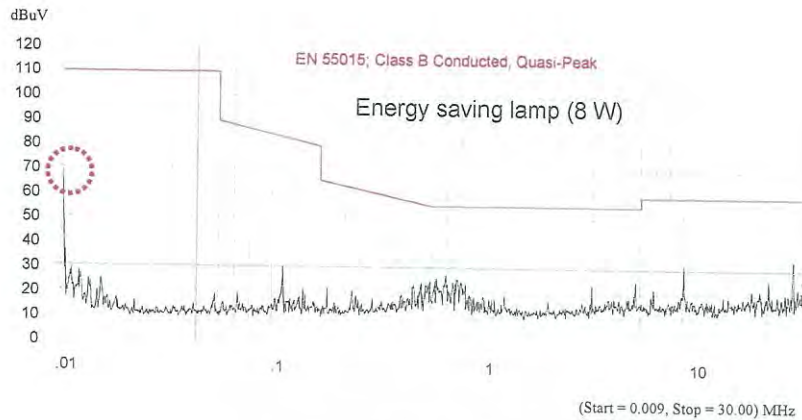
4.2.1 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ ที่อ้างอิงจากบทความ PEDS 2007



รูปที่ 4.9 EMI noise จากหลอดไส้ ขนาด 40 วัตต์ (Max EMI noise = 40 dB $\mu$ V at 9 kHz)

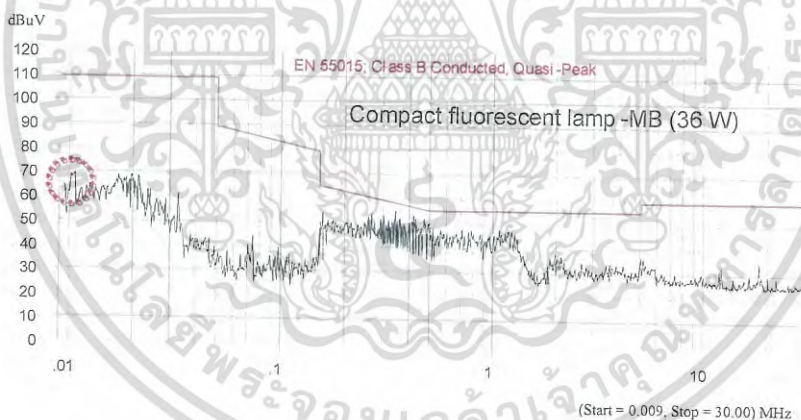
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าหลอดไส้มีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำน้อยมาก โดยมีค่า Max EMI noise = 40 dB $\mu$ V at 9 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 EMI noise จากหลอด CFL. ขนาด 8 วัตต์ (Max EMI noise = 69 dB $\mu$ V at 9 kHz)

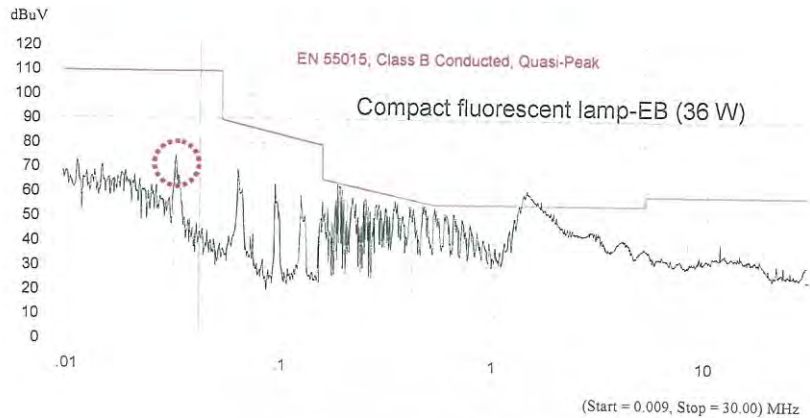
จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 8 วัตต์ มีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงขึ้นจากหลอดไส้ถึง 29 dB $\mu$ V โดยมีค่า Max EMI noise = 69 dB $\mu$ V at 9 kHz



รูปที่ 4.11 EMI noise จากหลอด FL.MB ขนาด 36 วัตต์ (Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 10 kHz)

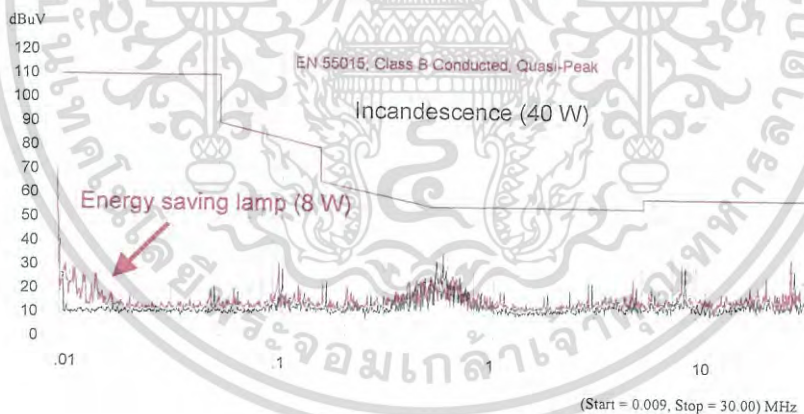
จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดา จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูง โดยมีค่า Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 10 kHz ซึ่งในย่านความถี่ 0.1-1.0 MHz จะมีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับเส้นขีดจำกัดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 EMI noise จากหลอด FL-EB ขนาด 36 วัตต์ (Max EMI noise = 75 dB $\mu$ V at 31 kHz)

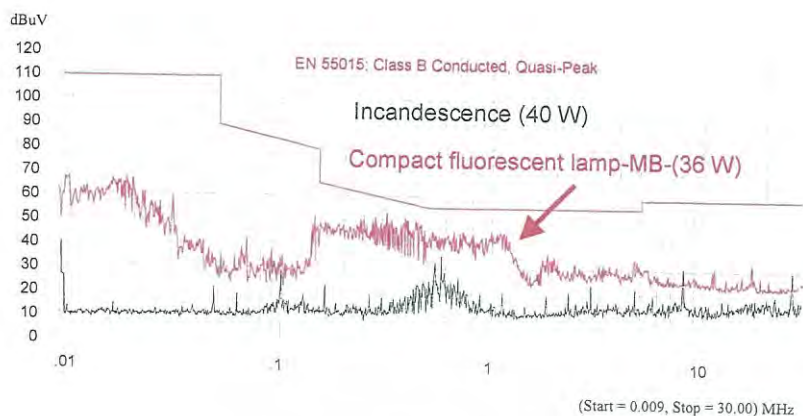
จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก โดยมีค่า Max EMI noise = 75 dB $\mu$ V at 9 kHz ซึ่งสูงกว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวด แกนเหล็กธรรมดา 5 dB $\mu$ V ซึ่งในย่านความถี่ 0.11-1.0 MHz จะมีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับ เส้นขีดจำกัดของสัญญาณ และมีอยู่ 1 จุด ที่เกินขีดจำกัดของสัญญาณ ที่ความถี่ประมาณ 1.5 MHz



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอดไส้ 40 W กับหลอด CFL. 8 W)

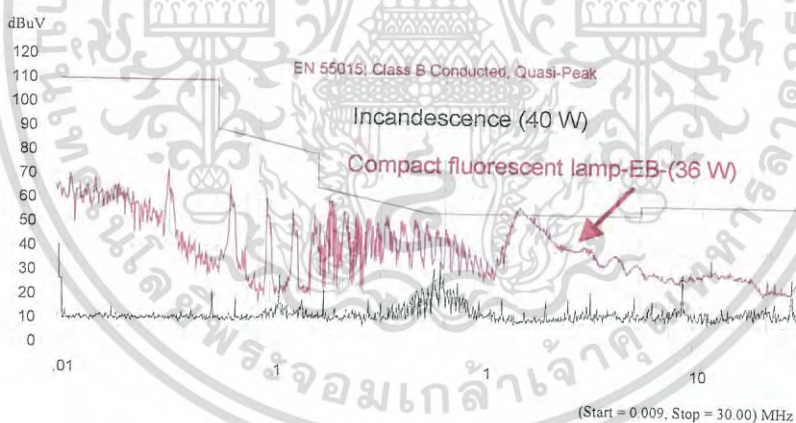
จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทาง ตัวนำของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าสูงกว่าหลอดไส้ ในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.009 ประมาณ 20 dB $\mu$ V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอดไส้ 40 W กับหลอด FL.-MB 36 W)

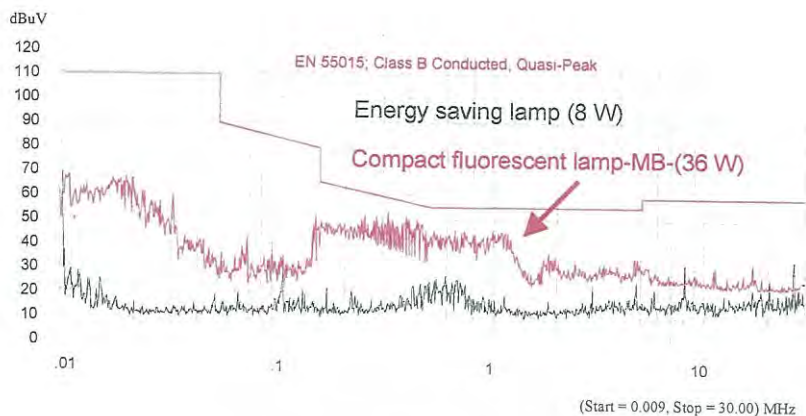
จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดาจะมีค่าสูงกว่าหลอดไส้ ในทุกย่านความถี่ตั้งแต่ 0.009-30 MHz แต่อย่างไรก็ตามระดับสัญญาณยังไม่เกินเส้นขีดจำกัดของสัญญาณ



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอดไส้ 40 W กับหลอด FL.-EB 36 W)

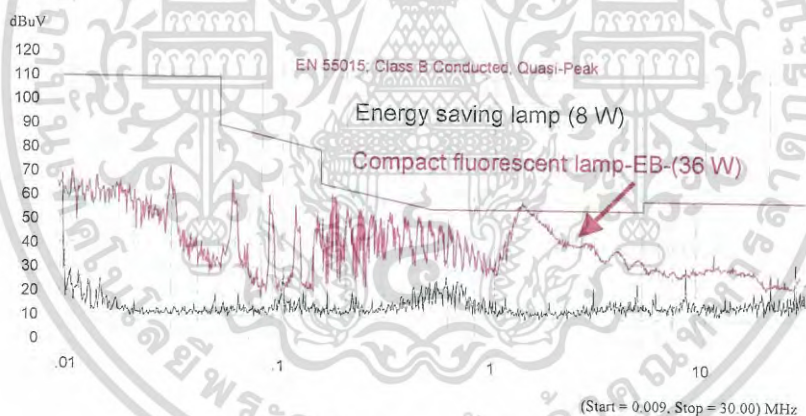
จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ จะมีค่าสูงกว่าหลอดไส้มาก ในทุกย่านความถี่ตั้งแต่ 0.009-30 MHz และมีบางจุดที่ระดับสัญญาณสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอด CFL. 8 W กับหลอด FL.-MB 36 W)

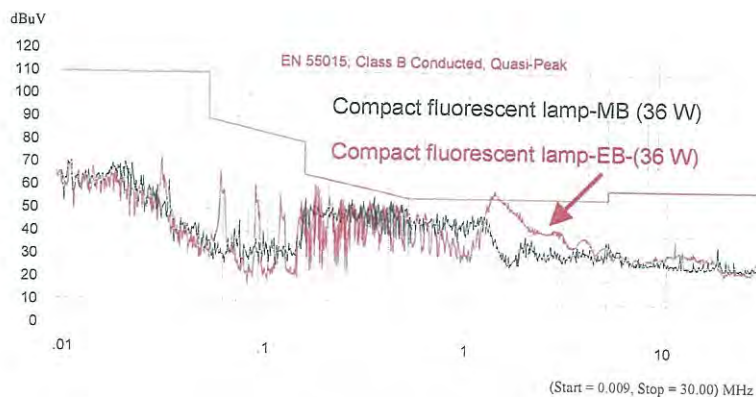
จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ จะมีค่าต่ำกว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา มากๆ ในทุกย่านความถี่ตั้งแต่ 0.009-30 MHz แต่อย่างไรก็ตามระดับสัญญาณยังไม่สูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดของสัญญาณ



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอด CFL. 8 W กับหลอด FL.-EB 36 W)

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ จะมีค่าต่ำกว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า ในทุกย่านความถี่ตั้งแต่ 0.009-30 MHz และมีบางจุดที่ระดับสัญญาณสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดของสัญญาณ

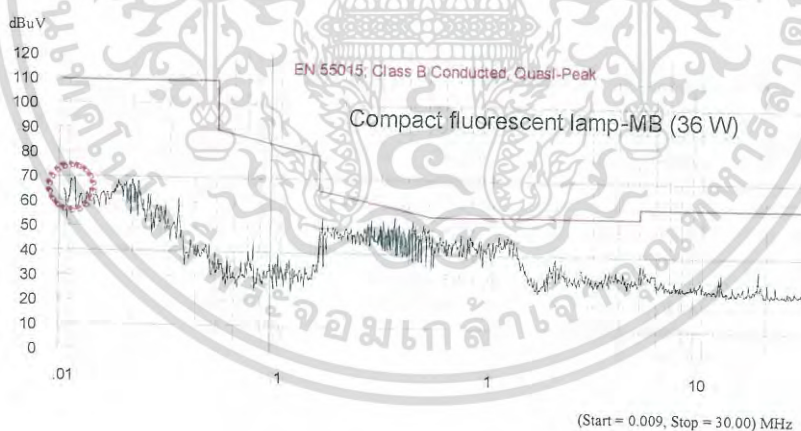
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ EMI noise (หลอด FL.-MB 36 W กับหลอด FL.-EB 36 W)

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดา จะมีค่าต่ำกว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ และมีบางจุดที่ระดับสัญญาณสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดของสัญญาณ

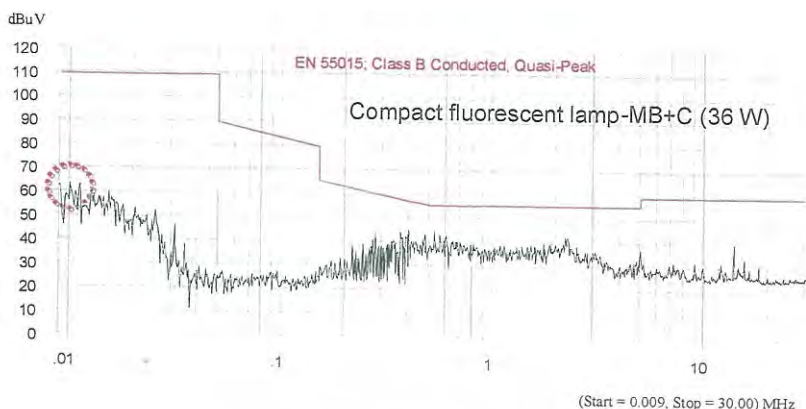
#### 4.2.2 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำที่อ้างอิงจากบทความ ICEAST 2007



รูปที่ 4.19 EMI noise จากหลอด FL.-MB 36 W (Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 0.010 MHz)

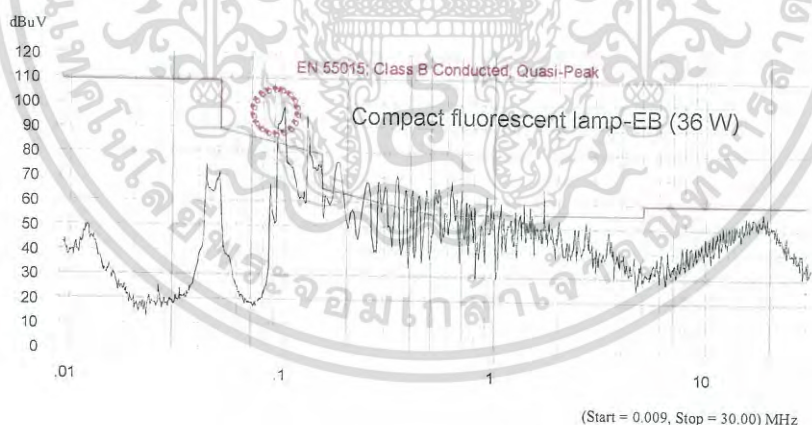
จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดา จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูง โดยมีค่า Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 0.010 kHz โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.3-1.0 MHz ระดับสัญญาณมีค่าเข้าใกล้เส้นขีดจำกัดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 EMI noise จากหลอด FL.-MB+cap.36 W(Max EMI noise=70 dB $\mu$ V at 0.009 MHz)

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดาและเพิ่มตัวเก็บประจุ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูง โดยมีค่า Max EMI noise = 70 dB $\mu$ V at 0.010 kHz โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.3-0.6 MHz ระดับสัญญาณมีค่าเข้าใกล้เส้นขีดจำกัดสัญญาณ

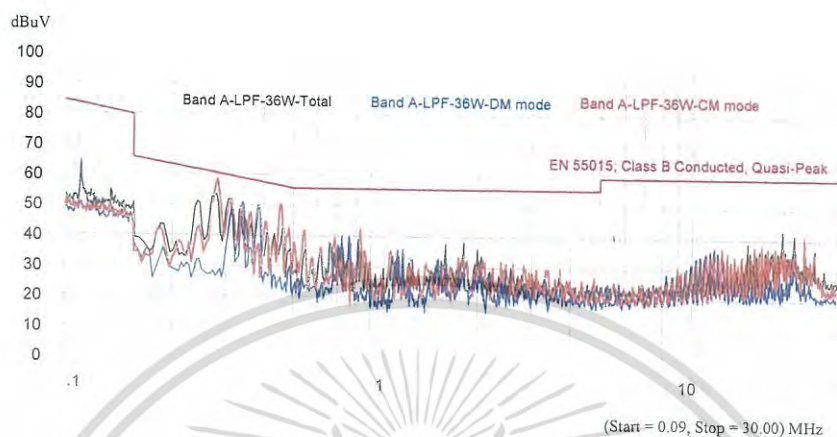


รูปที่ 4.21 EMI noise จากหลอด FL.-EB. 36 W (Max EMI noise = 100 dB $\mu$ V at 0.092 MHz)

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก โดยมีค่า Max EMI noise = 100 dB $\mu$ V at 0.092 kHz โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.1 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ

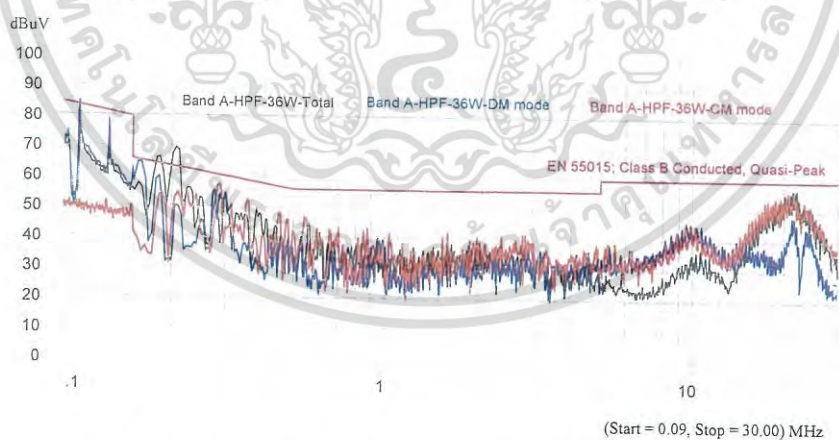
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำที่อ้างอิงจากบทความ APSAEM 2008



รูปที่ 4.22 EMI noise จากหลอด FL.-EB. 36 W- Brand A-LPF

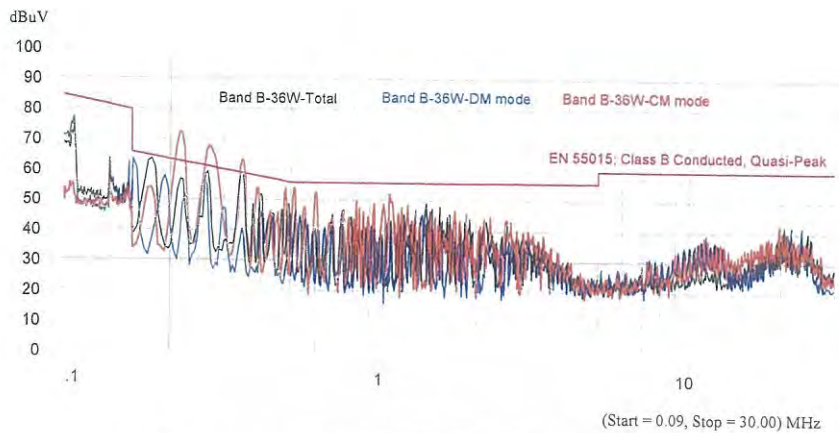
จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ Brand A รุ่นตัวประกอบกำลังต่ำ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก ทั้งโหมดผลต่าง โหมดร่วม และผลรวม โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.25 MHz ระดับสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกับเส้นขีดจำกัดสัญญาณ



รูปที่ 4.23 EMI noise จากหลอด FL.-EB. 36 W- Brand A-HPF

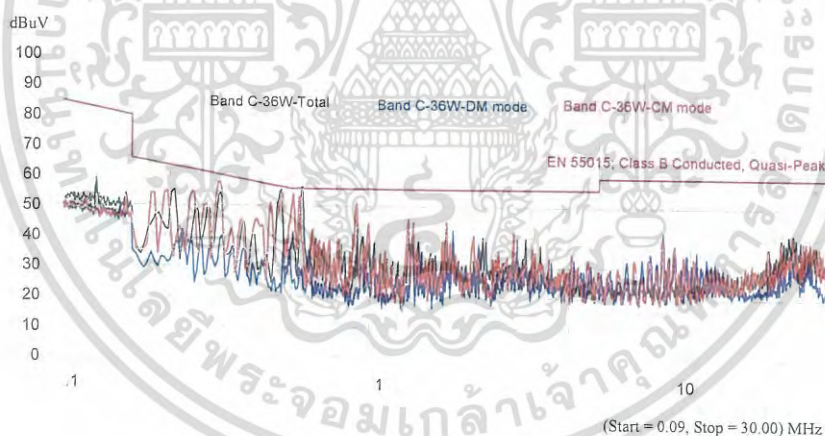
จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ Brand B รุ่นตัวประกอบกำลังสูง จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก ทั้งโหมดผลต่าง โหมดร่วม และผลรวม โดยมีบางจุดในย่านความถี่ 0.2 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 EMI noise จากหลอด FL.-EB. 36 W- Brand B

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ Brand B จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก ๆ ทั้งโหมดผลต่าง โหมดร่วม และผลรวม โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.22 และ 0.26 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ

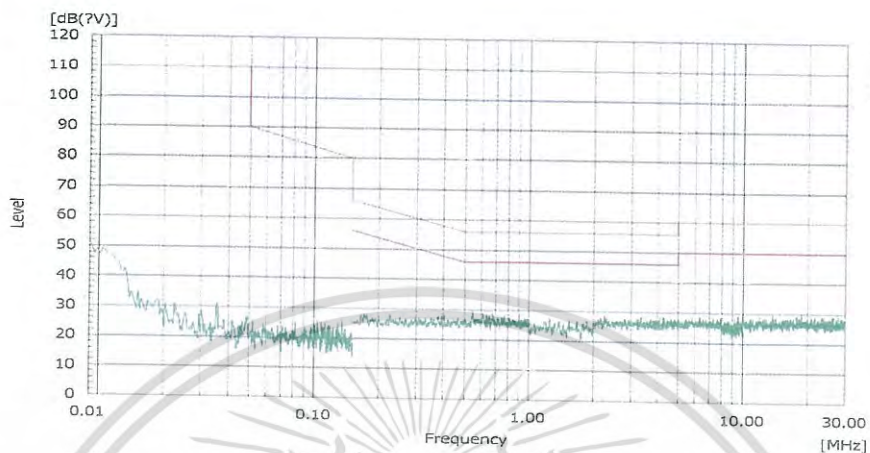


รูปที่ 4.25 EMI noise จากหลอด FL.-EB. 36 W- Brand C

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ Brand C จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก ๆ ทั้งโหมดผลต่าง โหมดร่วม และผลรวม โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.52 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ

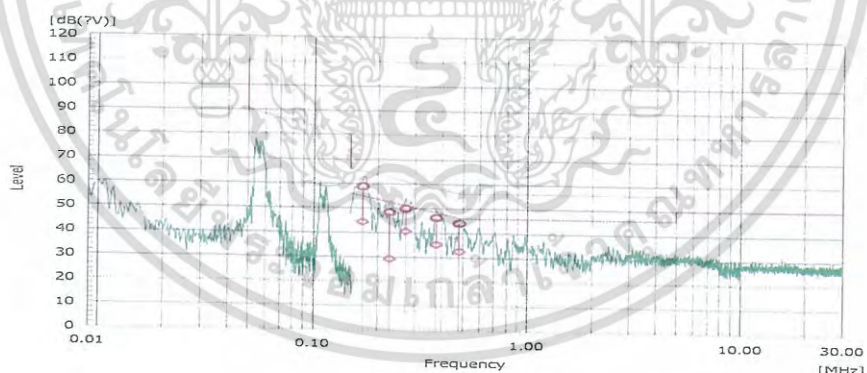
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดลองทางสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ จากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือพีเทค (PTEC)



รูปที่ 4.26 EMI noise จากหลอดไส้ธรรมดาแบบไส้ธรรมดา ขนาด 40 วัตต์

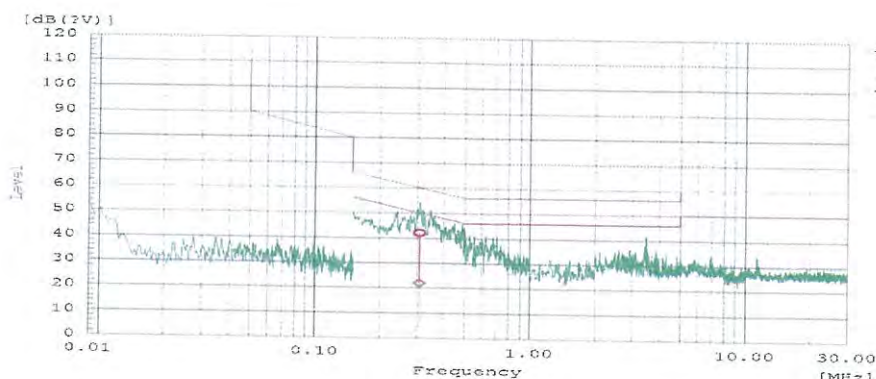
จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าหลอดไส้ ขนาด 40 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำต่ำมากๆ



รูปที่ 4.27 EMI noise จากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 8/40 วัตต์

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 8/40 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมากๆ โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.18-0.5 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ (ไม่ผ่านการทดสอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 EMI noise จากโคม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา)

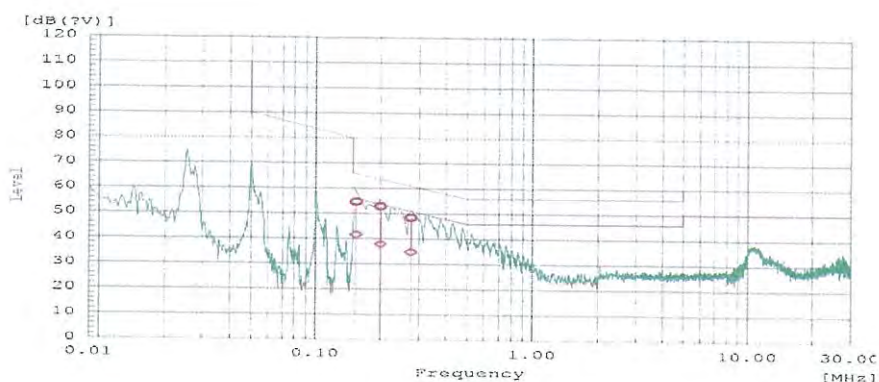
จากรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา พิกัดกำลัง 36 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูง โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.2 MHz ระดับสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกับเส้นขีดจำกัดสัญญาณ (ผ่านการทดสอบ) อย่างไรก็ตามบัลลาสต์ชนิดนี้ไม่บังคับการทดสอบ EMI



รูปที่ 4.29 EMI noise จากโคม FL.36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กการสูญเสียต่ำ)

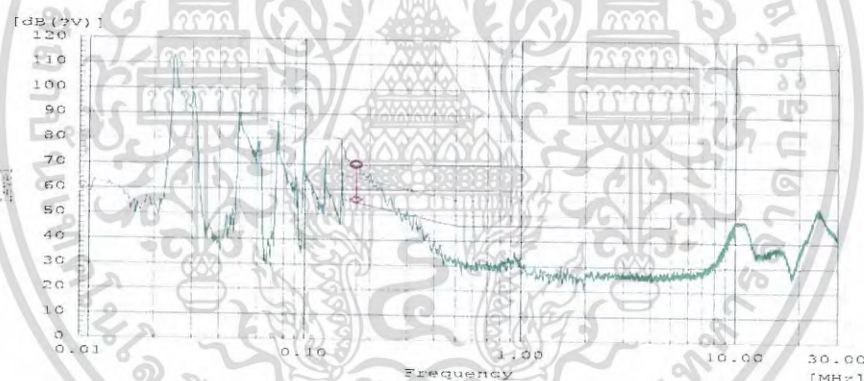
จากรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ พิกัดกำลัง 36 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูง โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.2 MHz ระดับสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกับเส้นขีดจำกัดสัญญาณ (ผ่านการทดสอบ) อย่างไรก็ตามบัลลาสต์ชนิดนี้ไม่บังคับการทดสอบ EMI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



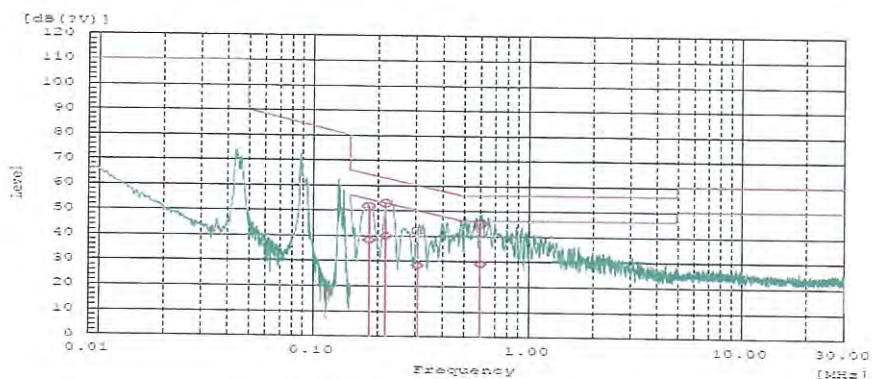
รูปที่ 4.30 EMI noise จากคอม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่า PF. ต่ำ)

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ พิกัดกำลัง 36 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.2-0.4 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ (ไม่ผ่านการทดสอบ)



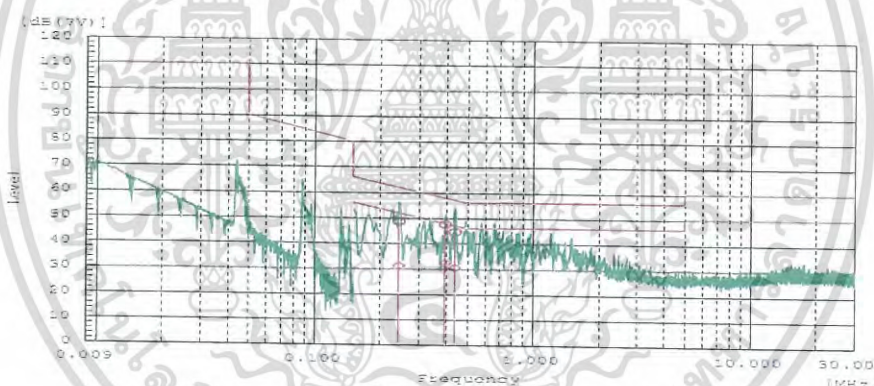
รูปที่ 4.31 EMI noise จากคอม FL. 36 วัตต์-T8 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่า PF. สูง)

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง พิกัดกำลัง 36 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.18 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ (ไม่ผ่านการทดสอบ)



รูปที่ 4.32 EMI noise จากคอม FL. 28 วัตต์-T5 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบ PF. ต่ำ)

จากรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ พิกัดกำลัง 28 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.25-0.42 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ (ไม่ผ่านการทดสอบ)



รูปที่ 4.33 EMI noise จากคอม FL. 28 วัตต์-T5 (ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่า PF. สูง)

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง พิกัดกำลัง 28 วัตต์ จะมีระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงมาก โดยที่บางจุดในย่านความถี่ 0.25-0.42 MHz ระดับสัญญาณมีค่าสูงเกินกว่าเส้นขีดจำกัดสัญญาณ (ไม่ผ่านการทดสอบ)

ซึ่งโดยภาพรวมแล้วสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของตระกูลบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าสูงเกินเส้นขีดจำกัดสัญญาณ โดยอาจเป็นผลมาจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิงที่ความถี่สูง หรืออาจเกิดจากการเรโซแนนซ์ของตัวอุปกรณ์

#### 4.4 ผลการทดลองทางแสง

ผลจากการวัดระดับความสว่างของของไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ห้องมืด โดยใช้อุปกรณ์วัดแสง หรือ ลักซ์มิเตอร์ ซึ่งจะแสดงผลการวัดแสงคือค่าความสว่าง ซึ่งการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างนั้นสามารถคำนวณได้โดยนำค่าความสว่างหารด้วยวัตต์ที่หลอดไฟใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองทางแสงของหลอดไฟฟ้าแบบต่างๆ

ลำดับ	รายการ	Incd.	CFL.	FL.-T8				FL.-T5	
		40W	8W	36 W					
		-	EB	MB	MB Low loss	EB LPF.	EB HPF.	EB LPF.	EB HPF.
	พิกัดกำลัง (W)	40	8	36	36	36	36	28	28
	Vin (V)	220	220	220	220	220	220	220	220
1	Illuminance (lx)	28	31	82	82	65	70	78	79
2	Illuminous efficiency (lx/W)	0.757	3.523	1.783	2.103	1.806	2.222	2.889	2.762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถนำมาสรุปผลการทดลองทั้งหมดได้ดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ 10 ตัว ดังนี้

1. พิกัดกำลัง
2. แรงดันด้านเข้า
3. กระแสด้านเข้า
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือกำลังไฟฟ้าที่โหลดบริโภค
5. % การประหยัดพลังงานไฟฟ้า
6. ค่าตัวประกอบกำลัง
7. เปอร์เซนต์ผลรวมของความผิดเพี้ยนรวมของกระแส หรือ %THD<sub>i</sub>
8. ผลการวัดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ
9. ค่าความสว่าง หรือ Illuminance (lx)
10. ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง Illuminance efficiency (lx/W)

จากตารางที่ 5.1 ได้แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่างๆ ทั้ง 8 กรณี ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้ ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลองทั้งหมด

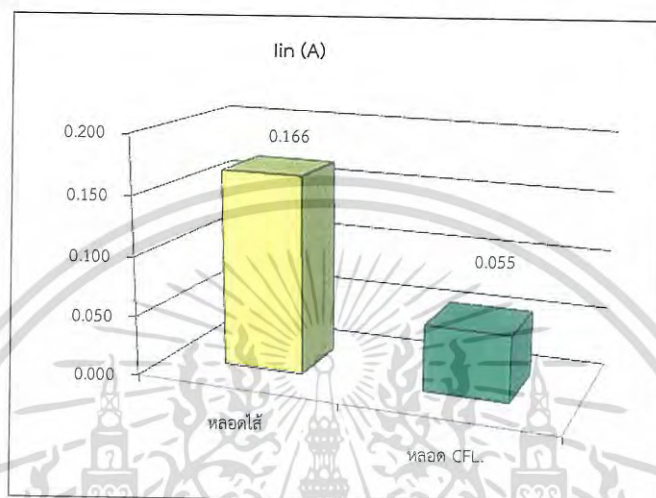
ลำดับ	รายการ	Incd.	CFL.	FL-T8				FL-T5	
		40W	8W	36 W		28 W			
		-	EB	MB	MB	EB	EB	EB	EB
					Low Loss	LPF.	HPF.	LPF.	HPF.
1	พิกัดกำลัง (W)	40	8	36	36	36	36	28	28
2	V <sub>in</sub> (V)	220	220	220	220	220	220	220	220
3	I <sub>in</sub> (A)	0.166	0.055	0.433	0.433	0.261	0.153	0.200	0.134
4	P <sub>in</sub> (W)	37.0	8.8	46.0	39.0	36.0	31.5	27.0	28.6
5	% electrical energy saving	base1	76.22	base 2	15.21	21.74	31.52	41.30	37.83
6	PF.	0.98	0.58	0.48	0.40	0.60	0.82	0.59	0.87
7	%THD <sub>i</sub>	3.1	70.1	8.4	8.4	74.4	31.9	74.8	22.5
8	EMI max (dB $\mu$ v)	50	88	54	54	75	112	71	71
9	Illuminance (lx)	28	31	82	82	65	70	78	79
10	Illuminous efficiency(lx/W)	0.757	3.523	1.783	2.103	1.806	2.222	2.889	2.762

หมายเหตุ การคำนวณค่า % electrical energy saving สามารถทำได้โดยนำเอาผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ หารด้วยกำลังไฟฟ้าเดิม แล้วด้วยคูณ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

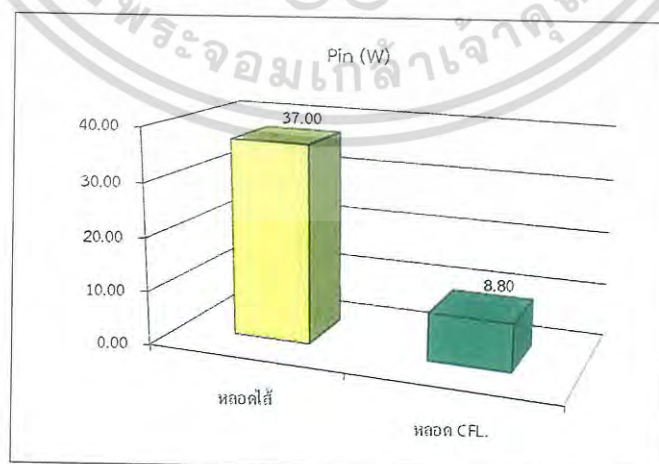
## 5.1 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกรณีหลอดไส้ธรรมดา กับหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

จากสรุปผลการทดลองทั้งหมดในตาราง 5.1 สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบกระแสต้านเข้าระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.

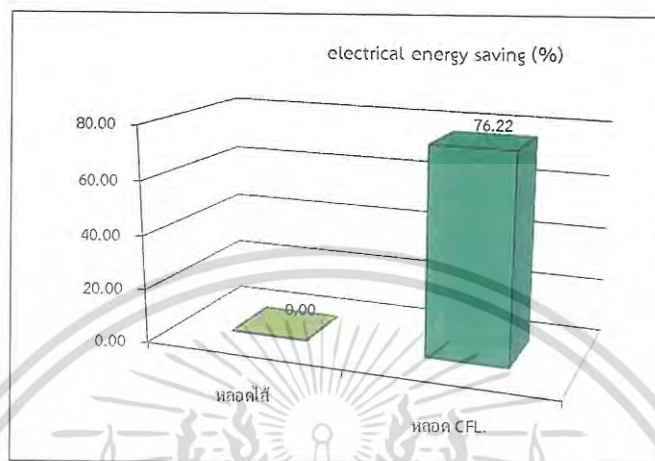
จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่ากระแสต้านเข้าของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าต่ำกว่าหลอดไส้เป็นอย่างมาก ซึ่งทำให้เกิดผลดีในเรื่องค่ากระแสในสายลดลง ส่งผลทำให้สามารถเพิ่มพิกัดกระแสสายไฟฟ้าได้อีก



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าต้านเข้าระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.

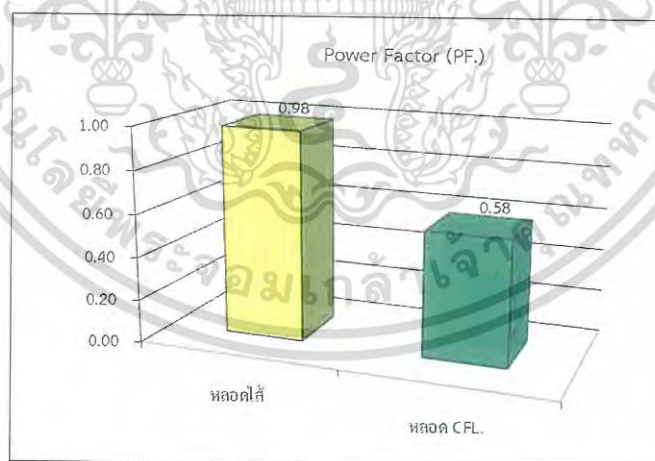
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือการบริโภคกำลังไฟฟ้าของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าน้อยกว่าหลอดไส้เป็นอย่างมาก ซึ่งทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้ากว่า 76.22 %



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหลอด CFL.

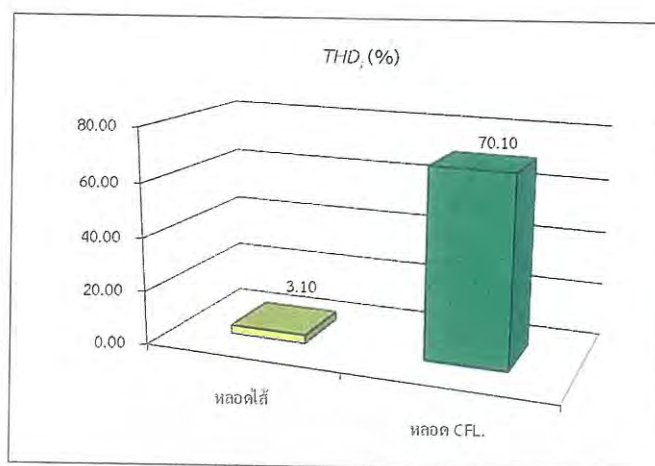
จากรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 76.22 % ซึ่งเป็นจุดเด่นที่สุดของหลอดไฟชนิดนี้



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.

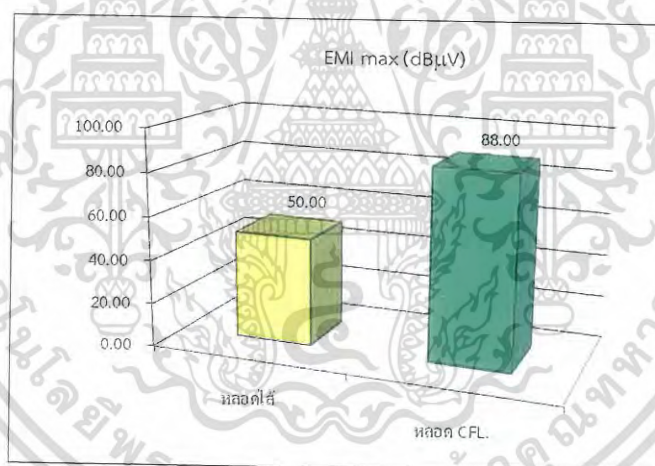
จากรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าค่าตัวประกอบกำลังหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าต่ำกว่าหลอดไส้เป็นอย่างมาก เพียง 0.58 เท่านั้น ซึ่งทำให้เกิดปัญหาคุณภาพของระบบไฟฟ้าตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบ %THD; ระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.

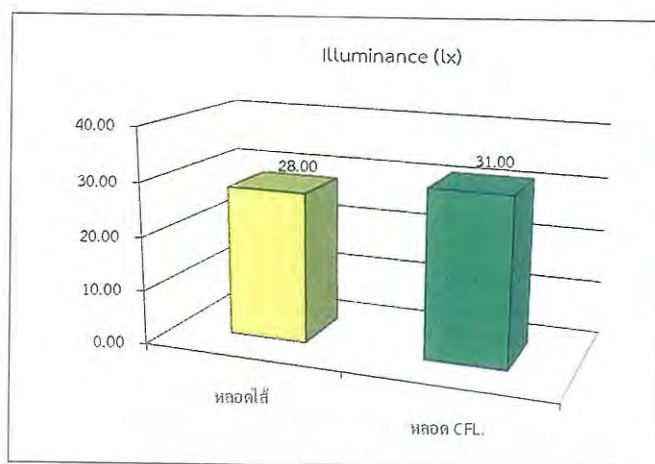
จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าค่า %THD<sub>i</sub> ของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าสูงกว่าหลอดไส้เป็นอย่างมาก ซึ่งมีค่าสูงถึง 70.10 % ซึ่งทำให้เกิดปัญหาคุณภาพของระบบไฟฟ้าตามมา



รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบ EMI max ระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.

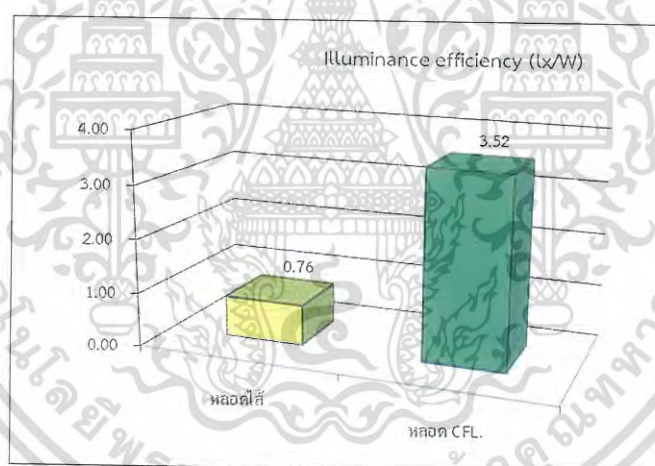
จากรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าค่าระดับของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าสูงกว่าหลอดไส้เป็นอย่างมาก ซึ่งมีค่าสูงถึง 88.0 dBµV ซึ่งทำให้เกิดปัญหาคุณภาพของระบบไฟฟ้าตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความสว่างระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.

จากรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าค่าความสว่างของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าสูงกว่าหลอดไส้เล็กน้อย ประมาณ 3 ลักซ์ ซึ่งจะทำให้ค่าความสว่างเฉลี่ยตามที่ออกแบบไว้ไม่เปลี่ยนแปลง



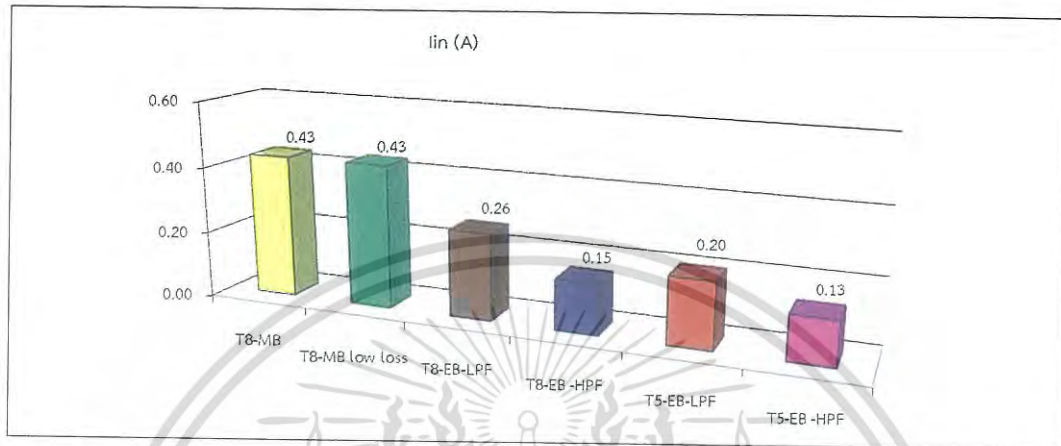
รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างระหว่างหลอดไส้ กับหลอด CFL.

จากรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าสูงกว่าหลอดไส้เป็นอย่างมาก เนื่องจากบริโภคกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า แต่ยังคงให้ความสว่างใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

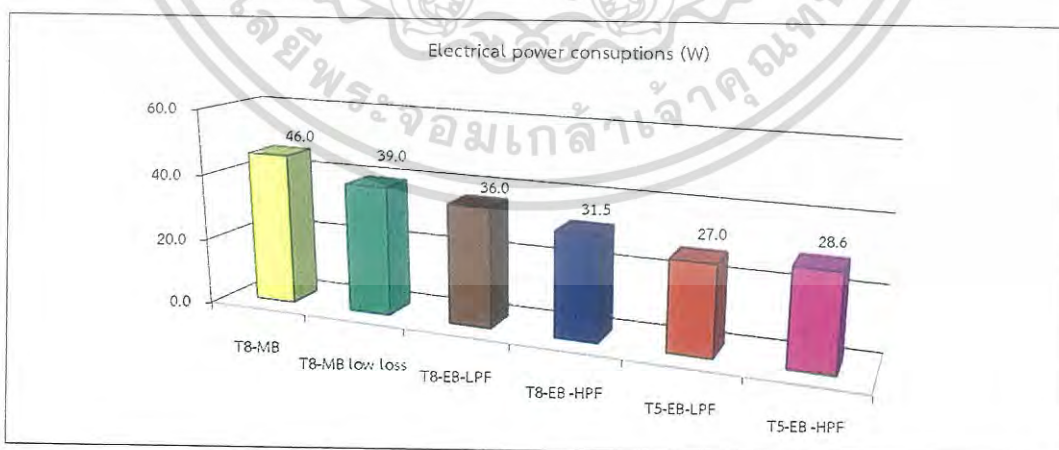
## 5.2 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกรณีโคมคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 และ T5

จากสรุปผลการทดลองทั้งหมดในตาราง 5.1 สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบกระแสต้านเข้าของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

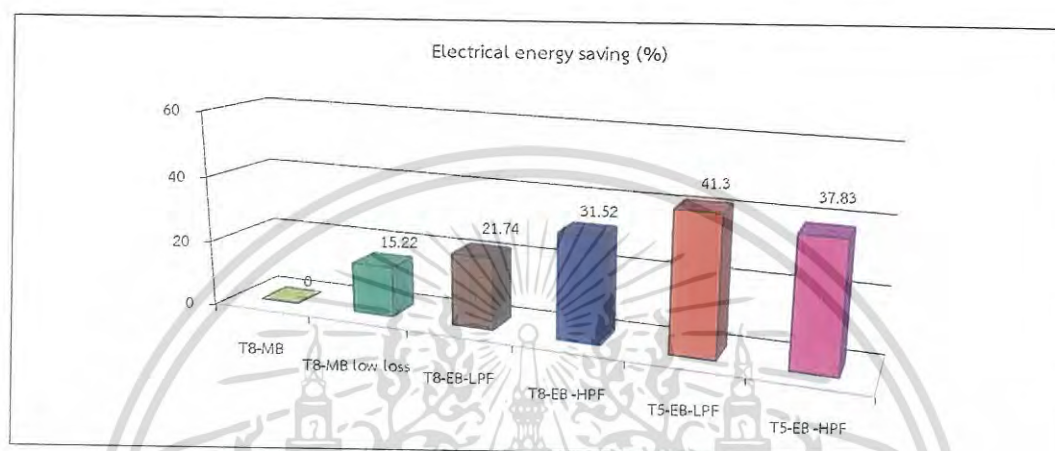
จากรูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้าจะลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง จากกรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาจะมีค่าเท่ากับ 0.43 แอมแปร์ จะลดลงเหลือเพียง 0.13 แอมแปร์ เท่านั้น



รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบการกินกำลังไฟฟ้าของโคมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

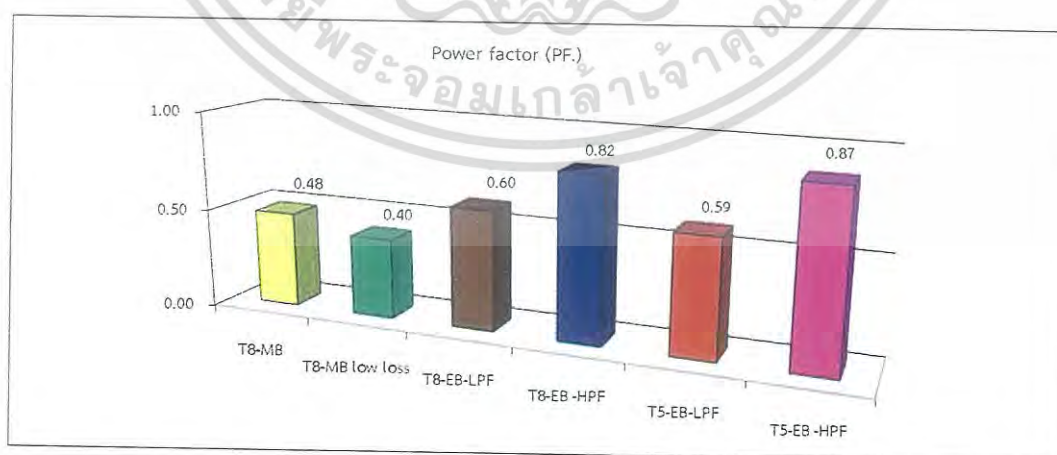
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้า หรือการบริโภคกำลังไฟฟ้าจะลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จากกรณีของคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาจะมีค่าเท่ากับ 46.0 วัตต์ จะลดลงเหลือเพียง 27.0 วัตต์เท่านั้น



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของคอมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

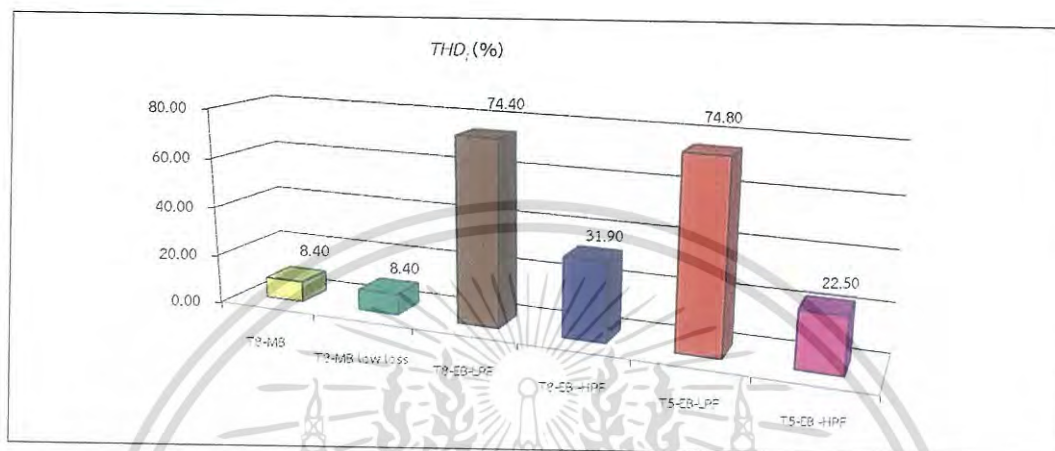
จากรูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นว่าค่า % การประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะมีค่า % การประหยัดพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดคือ 41.3 %



รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังของคอมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

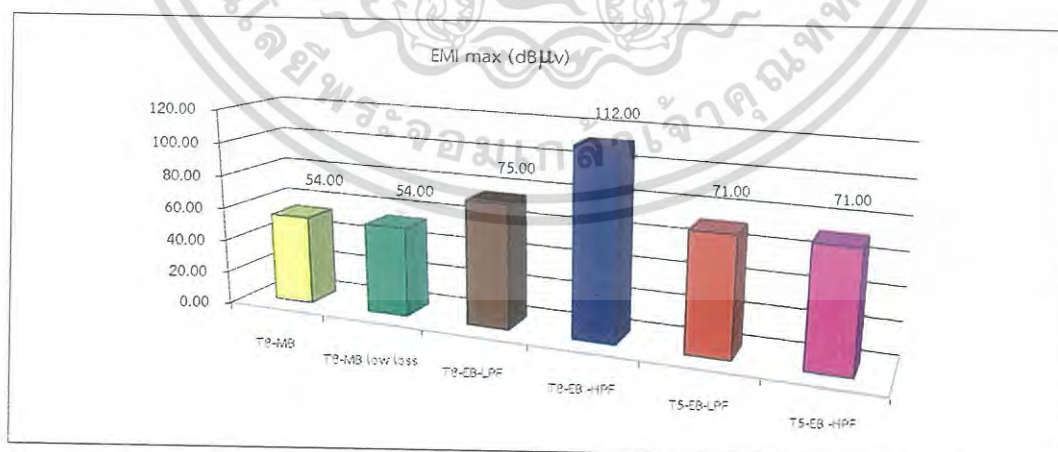
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าค่าตัวประกอบกำลัง โดยเมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง จะมีค่าตัวประกอบกำลังสูงถึง 0.87



รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบค่า %THD ของคอมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

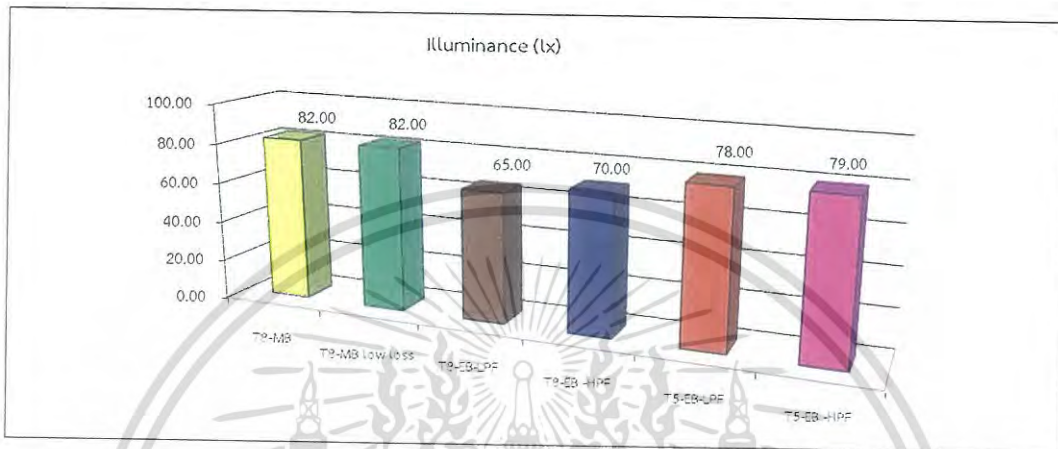
จากรูปที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่าค่า %THD โดยเมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง จะมีค่า %THD, ซึ่งจะสร้างปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเป็นอย่างมาก



รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบค่า EMI max ของคอมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

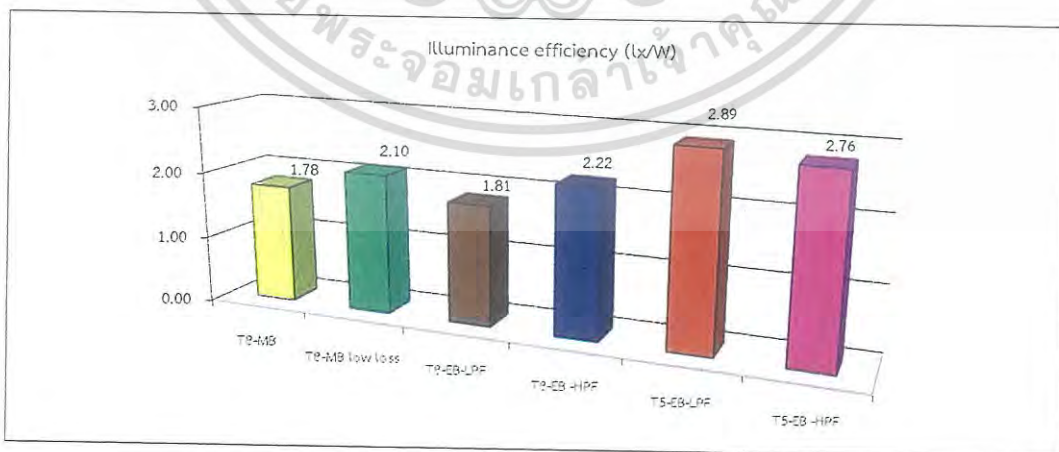
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.14 แสดงให้เห็นว่าค่า EMI max โดยเมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง จะมีค่า EMI max สูงที่สุด คือ 112 dB $\mu$ V ซึ่งจะสร้างปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเป็นอย่างมาก



รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบค่าความสว่างของคอมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

จากรูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าค่าความสว่าง โดยเมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะมีค่าความสว่างลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าความสว่างเฉลี่ยที่ออกแบบไว้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ออกแบบ



รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของคอมฟลูออเรสเซนต์แต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างโดยเมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา โดยเฉพาะคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงสุดคือ 2.89 แต่ปัญหาคือความสว่างที่ลดลงอย่างมาก

จากรูปที่ 5.1 -5.8 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. กรณีทำการเปรียบเทียบระหว่างหลอดไส้ธรรมดา กับหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ พบว่า : หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 76.22 % เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไส้ แต่ค่าตัวประกอบกำลังจะลดต่ำลงมาก ส่งผลทำให้กระแสในสายสูงขึ้น 3.337 เท่า และมีค่า %THD; สูงขึ้นมากๆ รวมทั้งระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงขึ้นมากถึง 38 dB $\mu$ v ส่วนค่าความสว่างจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย 3 ลักซ์ และค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงขึ้น 4.654 เท่า

จากรูปที่ 5.9 -5.16 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

2. กรณีทำการเปรียบเทียบระหว่างคอมฟลูออเรสเซนต์ ระบบ T8 และ T5 พบว่า : การใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในคอมฟลูออเรสเซนต์ทั้งระบบ T8 จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 31.52 % และในระบบ T5 จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 41.30 % และทำให้กระแสในสายลดลงอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (เฉพาะรุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำ) และทำให้ค่า %THD; สูงขึ้นมากๆ รวมทั้งระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำสูงขึ้นมากๆ เช่นกัน และค่าความสว่างจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ยกเว้นรุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำในระบบ T8 ค่าความสว่างจะลดลงเป็นอย่างมากจาก 82 ลักซ์ เหลือเพียง 65 ลักซ์เท่านั้น ส่วนค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างจะสูงขึ้น โดยเฉพาะในระบบ T5

ซึ่งโดยภาพรวมแล้วสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำของตระกูลบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าสูงเกินเส้นขีดจำกัดสัญญาณ โดยอาจเป็นผลมาจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิงที่ความถี่สูง หรืออาจเกิดจากการเรโซแนนซ์ของตัวอุปกรณ์

อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าคอมฟลูออเรสเซนต์ ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำจะเป็นระบบที่น่าสนใจเนื่องจาก สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 15.21 % ค่ากระแสในสายลดลงเล็กน้อย ค่า %THD; ต่ำ และระดับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำมีค่าเท่าเดิม และมีค่าความสว่างเท่าเดิม รวมทั้งค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างจะสูงขึ้นอีกด้วย

### 5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลการทดลองค่า DPF, PF และ %THD<sub>i</sub>

เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีลักษณะการทำงานเป็นโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นการหาค่าตัวประกอบกำลังจะต้องคำนวณได้จากหัวข้อ 2.5 โดยใช้สมการที่ 2.14 หรือ 2.15 ซึ่งจะมีส่วนประกอบกันระหว่าง 2 ส่วนด้วยกันคือ สัดส่วนของค่า DPF กับค่า %THD<sub>i</sub> นั้นทำให้แม้ว่าค่า %THD<sub>i</sub> จะสูง แต่ถ้าค่า DPF สูงตามด้วย ก็จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังยังคงมีค่าต่ำอยู่เหมือนเดิม ซึ่งปัญหานี้ควรแก้ไขด้วยวงจรกรองฮาร์มอนิกส์ทั้งแบบพาสซีฟ และแอกทีฟ หรือวงจร PFC จึงจะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ดีที่สุด ซึ่งผลการวัดค่า Pf., DPF และ %THD<sub>i</sub> ของหลอดไฟฟ้าแต่ละแบบ โดยแสดงในตารางที่ 5.2

จากตารางที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่ากรณีทีโหลดเป็นเชิงเส้นค่า PF. จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า DPF. เช่นในกรณีของหลอดไส้ และบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา และแบบการสูญเสียต่ำ ส่วนในตระกูลของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งระบบ T8 และ T5 จะเป็นกรณีของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจะต้องนำผลของค่า DPF. มาพิจารณาด้วย เช่น

1. กรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ โดยมีค่า  $DPF. = 0.44$  และมีค่า  $\%THD_i = 74.4 \%$  และมีค่า  $PF. = 0.40$

โดยจากสมการที่ 2.14 หรือ 2.15 จะแสดงให้เห็นว่า แม้ค่า %THD<sub>i</sub> จะมีค่าสูง แต่ถ้าค่า DPF. มีค่าต่ำ ก็จะส่งผลทำให้ PF. มีค่าต่ำนั่นเอง

2. กรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง โดยมีค่า  $DPF. = 0.99$  และมีค่า  $\%THD_i = 31.9 \%$  และมีค่า  $PF. = 0.82$

โดยจากสมการที่ 2.14 หรือ 2.15 จะแสดงให้เห็นว่า แม้ค่า %THD<sub>i</sub> จะมีค่าต่ำ แต่ถ้าค่า DPF. มีค่าสูง ก็จะส่งผลทำให้ PF. มีค่าสูงนั่นเอง ซึ่งแตกต่างจากกรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ

3. กรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ โดยมีค่า  $DPF. = 0.91$  และมีค่า  $\%THD_i = 74.8 \%$  และมีค่า  $PF. = 0.59$

โดยจากสมการที่ 2.14 หรือ 2.15 จะแสดงให้เห็นว่า ถ้าค่า %THD<sub>i</sub> มีค่าสูง และค่า DPF. มีค่าสูงเช่นกัน ก็จะส่งผลทำให้ PF. มีค่าสูงนั่นเอง

4. กรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง โดยมีค่า  $DPF. = 0.99$  และมีค่า  $\%THD_i = 22.5 \%$  และมีค่า  $PF. = 0.87$

โดยจากสมการที่ 2.15 หรือ 2.16 จะแสดงให้เห็นว่า ถ้าค่า %THD<sub>i</sub> จะมีค่าต่ำ และค่า DPF. มีค่าสูง ก็จะส่งผลทำให้ PF. มีค่าสูงนั่นเอง

ตารางที่ 5.2 ผลการวัดค่า PF., DPF และ %THD<sub>i</sub> ของหลอดไฟฟ้าแต่ละแบบ

ลำดับ	รายการ	Incd. 40 W	CFL. 8W	FL-T8 36 W				FL-T5 28 W	
				EB	MB	MB Low loss	EB LPF.	EB HPF.	EB LPF.
	พิกัดกำลัง(W)	40	8	36	36	36	36	28	28
1	PF. ที่วัดได้	0.98	0.58	0.48	0.40	0.60	0.82	0.59	0.87
2	%THD <sub>i</sub>	3.1	70.1	8.4	8.4	74.4	31.9	74.8	22.5
3	DPF.	1.0	0.92	0.49	0.44	0.95	0.99	0.91	0.99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน หรือ break even point ในบทนี้จะพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณ และการพิจารณาเพื่อหาจุดคุ้มทุน หรือ pay back period ซึ่งมีตัวแปรสำคัญ 6 ตัว คือ

1. ราคาเฉลี่ยของอุปกรณ์แต่ละชนิด
2. จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน
3. จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน
4. ราคาเฉลี่ยของค่าไฟฟ้า
5. อายุการใช้งาน
6. การประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี (Annual saving)

โดยราคาเฉลี่ยของอุปกรณ์ต่างๆ จะแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ราคาหลอดไฟชนิดต่างๆ

ลำดับ	รายการ	พิกัด กำลัง (W)	ชนิดบัลลาสต์	หมายเหตุ	ราคา (บาท)
1	หลอดไส้	40	-	แบบไส้ธรรมดา	18
2	หลอดประหยัดพลังงาน : CFL.	8	อิเล็กทรอนิกส์	-	124
3	โคมฟลูออเรสเซนต์ T8	36	ขดลวดแกนเหล็ก	แบบธรรมดา	70
4			ขดลวดแกนเหล็ก	การสูญเสียต่ำ	120
5			อิเล็กทรอนิกส์	รุ่น PF. ต่ำ	250
6			อิเล็กทรอนิกส์	รุ่น PF. สูง	350
7	โคมฟลูออเรสเซนต์ T5 (set)	28	อิเล็กทรอนิกส์	รุ่น PF. ต่ำ	450
8			อิเล็กทรอนิกส์	รุ่น PF. สูง	550

หมายเหตุ หลอดประหยัดพลังงาน : CFL. 8/40 หมายถึงหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีพิกัดกำลังขนาด 8 วัตต์ ซึ่งสามารถใช้แทนหลอดไส้ขนาด 40 วัตต์ได้ และโคมฟลูออเรสเซนต์ T5 (set) หมายถึงมีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บรรจุอยู่ภายในแล้ว

โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้

1. ราคาเฉลี่ยของอุปกรณ์แต่ละชนิด = (ดังตารางที่ 6.1)
2. จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน = 1-8 ชั่วโมง
3. จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน = 30 วัน
4. ราคาเฉลี่ยของค่าไฟฟ้า = 4 บาทต่อหน่วย
5. อายุการใช้งาน = หลอดไส้ 1,000 ชั่วโมง, CFL=6,000 ชั่วโมง, EB  $\leq$  5 ปี และ MB=30 ปี
6. การประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี (Annual saving) = 12 เดือน

โดยกำหนดให้สมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนอย่างง่าย (break even point) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6.1-6.3) [10,17]

$$\text{Break even point} = \frac{\text{ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยนใหม่}}{\frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้}}{1,000} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน} \times \text{จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน} \times \text{ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย}} \quad (6.1)$$

และสมการในการคำนวณหาจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน โดยกำหนดจุดคุ้มทุน (break even point) ไม่เกินจำนวนปีที่เรากำหนด สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6.2)

$$\text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน} = \frac{\text{ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยนใหม่}}{\frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้}}{1,000} \times \text{Break even point} \times \text{จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน} \times \text{ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย}} \quad (6.2)$$

และถ้าต้องการหาราคาอุปกรณ์เปลี่ยนใหม่ โดยกำหนดจุดคุ้มทุน (break even point) ไม่เกินจำนวนปีที่เรากำหนด สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6.3)

$$\text{ราคาใหม่} = \frac{P \text{ ที่ประหยัดได้}}{1,000} \times \text{BP} \times \text{จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน} \times \text{ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน} \quad (6.3)$$

### 6.1 การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (break even point) กรณีของหลอด CFL. กับหลอดไส้

ในการแสดงการคำนวณหาค่าตอบในเรื่องของเศรษฐศาสตร์ของกรณีการเปลี่ยนมาใช้หลอด CFL. ขนาด 8 วัตต์ แทนหลอดไส้ 40 วัตต์ จะมีการแสดงตัวอย่างการคำนวณทั้งหมด 5 กรณี ดังนี้

#### ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.1-1

ในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้หลอด CFL. ขนาด 8 วัตต์ แทนหลอดไส้ 40 วัตต์ จะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน

- หลอดไส้ จะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 37.0 W

- หลอด CFL. จะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 8.8 W

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คือ  $37.0 - 8.8 = 28.2$  W

2. กำหนดจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน ในที่นี้กำหนดไว้ 8 ชั่วโมง ต่อวัน

3. คำนวณหาจำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

- จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน  $\times$  จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน  $\times$  จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน  $\times$  ราคาเฉลี่ยค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ดังนั้น จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีคือ  $(28.2 \times 8 \times 30 \times 4) / 1,000 = 27.072$  บาท/เดือน

หรือ  $27.072 \times 12 = 324.864$  บาทต่อปี

4. คำนวณหาจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุน

- ระยะเวลาคืนทุน = ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยน / จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ  $124 / 27.072 = 4.580$  เดือน

หรือ  $4.580 / 12$  เดือน = 0.38 ปี

#### ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.1-2

ถ้าต้องการทราบจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน เพื่อให้ได้จุดคุ้มทุน (break even point) ไม่เกิน 1 ปี หรือ 12 เดือน เมื่อต้องการเปลี่ยนมาใช้หลอด CFL. ขนาด 8 วัตต์ แทนหลอดไส้ 40 วัตต์ จะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.2 ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน} &= \frac{124 \text{ บาท}}{\frac{28.2 \text{ วัตต์}}{1,000} \times 12 \text{ เดือน} \times 30 \text{ วัน} \times 4 \text{ บาท}} \quad (6.2) \\ &= 3.053 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \end{aligned}$$

#### ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.1-3

ถ้าต้องการใช้งานหลอดไฟ CFL. ขนาด 8 วัตต์ แทนหลอดไส้ 40 วัตต์ วันละ 1 ชั่วโมงต่อวัน และต้องการให้จุดคุ้มทุน (break even point) ไม่เกิน 1 ปี หรือ 12 เดือน จะต้องคำนวณหาราคาอุปกรณ์ใหม่ (ราคาหลอดไฟ CFL. ใหม่) ที่ลดราคาลง ซึ่งมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.3 ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยนใหม่ (ราคาใหม่)} &= \frac{28.2 \text{ วัตต์}}{1,000} \times 12 \text{ เดือน} \times 30 \text{ วัน} \times 4 \text{ บาท} \times 1 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \quad (6.3) \\ &= 40.608 \text{ บาท จากเดิม 124 บาท} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.1-4

ถ้ากรณีค่าไฟฟ้าถูกลง จากค่าเฉลี่ยหน่วยละ 4 บาท เป็น 3 บาท ซึ่งในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้หลอด CFL. ขนาด 8 วัตต์ แทนหลอดไส้ 40 วัตต์ จะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

$$\text{Break even point} = \frac{124 \text{ บาท}}{\frac{28.2 \text{ วัตต์}}{1,000} \times 8 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 30 \text{ วันต่อเดือน} \times 3 \text{ บาทต่อหน่วย}} \quad (6.1)$$

= 6.107 เดือน ซึ่งใช้เวลาคืนทุนนานขึ้นกว่าเดิมจากเดิม 4.58 เดือน

#### ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.1-5

ถ้ากรณีจำนวนวันที่ใช้งานลดลงจาก 30 วัน เป็น 26 วัน ซึ่งในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้หลอด CFL. ขนาด 8 วัตต์ แทนหลอดไส้ 40 วัตต์ จะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

$$\text{Break even point} = \frac{124 \text{ บาท}}{\frac{28.2 \text{ วัตต์}}{1,000} \times 8 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 26 \text{ วันต่อเดือน} \times 4 \text{ บาทต่อหน่วย}} \quad (6.1)$$

= 5.28 เดือน ซึ่งใช้เวลาคืนทุนนานขึ้นกว่าเดิมจากเดิม 4.58 เดือน

ดังนั้นจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุนของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไส้ธรรมดาแบบใส จะแสดงในตารางที่ 6.2-6.3 โดยสามารถแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 6.1

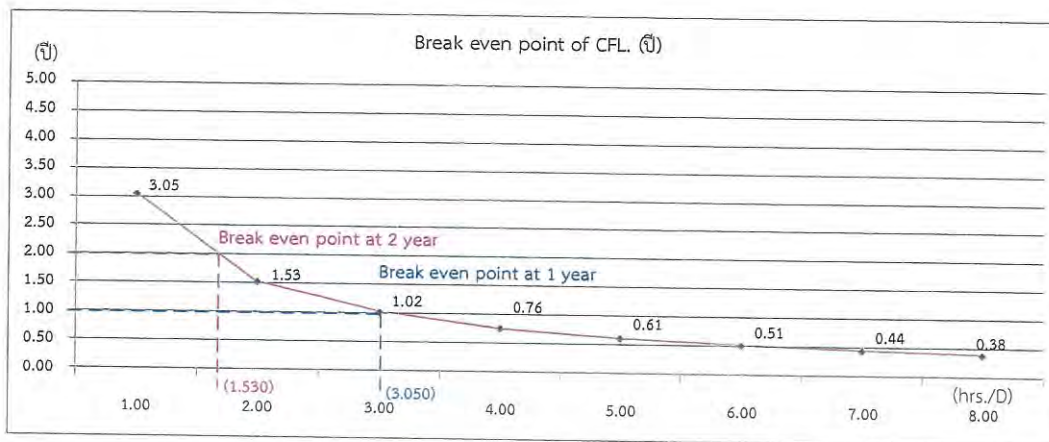
ตารางที่ 6.2 ระยะเวลาคืนทุนของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

CFL. 8/40 W	Time of use (hr./day) to break even point							
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
break even point (ปี)	3.05	1.53	1.02	0.76	0.61	0.51	0.44	0.38

ตารางที่ 6.3 ระยะเวลาคืนทุน 1-5 ปี ของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

CFL. 8/40 W	Time of use (hr./day) to break even point				
	3.050	1.530	1.019	0.764	0.611
break even point (ปี)	1	2	3	4	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 กราฟระยะเวลาคืนทุนของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (ปี)

จากกราฟพบว่าถ้าต้องการให้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 ปี (ตามระยะเวลาการันตรีที่กำหนด) จะต้องใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ไม่ต่ำกว่าวันละ 1.53 ชั่วโมง

## 6.2 การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (break even point) กรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดต่างๆ ทั้งระบบ T8 และ T5

ในการแสดงการคำนวณหาค่าตอบในเรื่องของเศรษฐศาสตร์ของกรณีของโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดต่างๆ ทั้งระบบ T8 และ T5 จะมีการแสดงตัวอย่างการคำนวณดังนี้

### ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.2-1

ในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ ในโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 แทนบัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กแบบธรรมดาในโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ซึ่งจะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณโดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

1. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน
  - โคม FL.-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กแบบธรรมดาค่าจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 46.0 W
  - โคม FL.-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 39.0 W
 ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คือ  $46.0 - 39.0 = 7.0$  W
2. กำหนดจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน ในที่นี้กำหนดไว้ 8 ชั่วโมง ต่อวัน
3. คำนวณหาจำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน
  - จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน  $\times$  จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน  $\times$  จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน  $\times$  ราคาเฉลี่ยค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ดังนั้น จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีคือ  $(7.0 \times 8 \times 30 \times 4) / 1,000 = 6.72$  บาทต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ  $6.72 \times 12 = 80.64$  บาทต่อปี

4. คำนวณหาจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุน

- ระยะเวลาคืนทุน = ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยน / จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ  $120 / 6.72 = 17.857$  เดือน

หรือ  $17.857 / 12$  เดือน = 1.49 ปี

ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.2-2

ในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังต่ำในคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 แทนบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาในคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ซึ่งจะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

1. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน

- คอม FL-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาคะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 46.0 W

- คอม FL-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังต่ำจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 36.0 W

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คือ  $46.0 - 36.0 = 10.0$  W

2. กำหนดจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน ในที่นี้กำหนดไว้ 8 ชั่วโมง ต่อวัน

3. คำนวณหาจำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

- จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน  $\times$  จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน  $\times$  จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน  $\times$  ราคาเฉลี่ยค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ดังนั้น จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีคือ  $(10.0 \times 8 \times 30 \times 4) / 1,000 = 9.6$  บาทต่อเดือน

หรือ  $9.6 \times 12 = 115.2$  บาทต่อปี

4. คำนวณหาจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุน

- ระยะเวลาคืนทุน = ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยน / จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ  $250 / 9.6 = 26.041$  เดือน

หรือ  $26.041 / 12$  เดือน = 2.170 ปี

ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.2-3

ในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังสูงในคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 แทนบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาในคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ซึ่งจะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

1. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน

- โคม FL-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 46.0 W

- โคม FL-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังสูงจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 31.5 W

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คือ  $46.0 - 31.5 = 14.5$  W

2. กำหนดจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน ในที่นี้กำหนดไว้ 8 ชั่วโมง ต่อวัน

3. คำนวณหาจำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

- จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน  $\times$  จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน  $\times$  จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน  $\times$  ราคาเฉลี่ยค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ดังนั้น จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีคือ  $(14.5 \times 8 \times 30 \times 4) / 1,000 = 13.92$  บาทต่อเดือน

หรือ  $13.92 \times 12 = 167.04$  บาทต่อปี

4. คำนวณหาจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุน

- ระยะเวลาคืนทุน = ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยน / จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ  $350 / 13.92 = 25.143$  เดือน

หรือ  $25.143 / 12$  เดือน = 2.10 ปี

ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.2-4

ในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังต่ำในโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 แทนบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาในโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ซึ่งจะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

1. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน

- โคม FL-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 46.0 W

- โคม FL-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังสูงจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 31.5 W

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คือ  $46.0 - 31.5 = 14.5$  W

2. กำหนดจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน ในที่นี้กำหนดไว้ 8 ชั่วโมง ต่อวัน

3. คำนวณหาจำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

- จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน  $\times$  จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน  $\times$  จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน  $\times$  ราคาเฉลี่ยค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ดังนั้น จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีคือ  $(14.5 \times 8 \times 30 \times 4) / 1,000 = 13.92$  บาทต่อเดือน

หรือ  $13.92 \times 12 = 167.04$  บาทต่อปี

4. คำนวณหาจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุน

- ระยะเวลาคืนทุน = ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยน / จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ  $450 / 18.24 = 24.671$  เดือน

หรือ  $24.671 / 12$  เดือน = 2.06 ปี

#### ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 6.2-5

ในการคำนวณจุดคุ้มทุน (break even point) เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังสูงในคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 แทนบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาในคอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ซึ่งจะมีวิธีการ และขั้นตอนการคำนวณ โดยใช้สมการที่ 6.1 ดังนี้

1. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน

- คอม FL.-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 46.0 W

- คอม FL.-T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังสูงจะบริโภคกำลังไฟฟ้า = 31.5 W

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้คือ  $46.0 - 31.5 = 14.5$  W

2. กำหนดจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน ในที่นี้กำหนดไว้ 8 ชั่วโมง ต่อวัน

3. คำนวณหาจำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

- จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน  $\times$  จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน  $\times$  จำนวนวันที่ใช้งานต่อเดือน  $\times$  ราคาเฉลี่ยค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ดังนั้น จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีคือ  $(14.5 \times 8 \times 30 \times 4) / 1,000 = 16.704$  บาทต่อเดือน

หรือ  $16.704 \times 12 = 200.448$  บาทต่อปี

4. คำนวณหาจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุน

- ระยะเวลาคืนทุน = ราคาอุปกรณ์ที่เปลี่ยน / จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อเดือน

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ  $550 / 16.704 = 32.926$  เดือน

หรือ  $32.926 / 12$  เดือน = 2.74 ปี

ดังนั้นจุดคุ้มทุน หรือระยะเวลาคืนทุนของคอมฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 6.4-6.5 โดยสามารถแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 6.2

ตารางที่ 6.4 ระยะเวลาคืนทุนของคอมฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ (ปี)

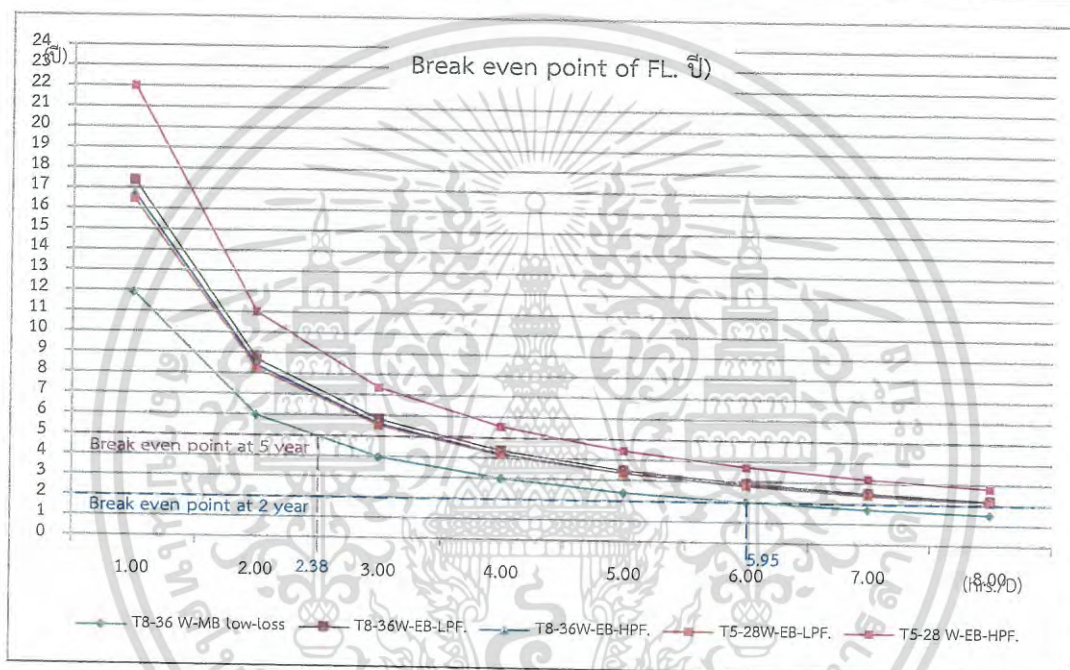
Cases	Type of FL. system (hr./day)	Time of use (hr./day) to break even point							
		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
1	T8-36 W-MB low-loss	11.90	5.95	3.97	2.98	2.38	1.98	1.70	1.49
2	T8-36W-EB-LPF.	17.36	8.68	5.79	4.34	3.47	2.89	2.48	2.17
3	T8-36W-EB-HPF.	16.76	8.38	5.59	4.19	3.35	2.79	2.39	2.10
4	T5-28W-EB-LPF.	16.45	8.22	5.48	4.11	3.29	2.74	2.35	2.055
5	T5-28 W-EB-HPF.	21.95	10.97	7.32	5.49	4.39	3.66	3.135	2.745

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ระยะเวลาคืนทุน 1-5 ปี ของคอมฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ

Cases	Type of FL system	Break even point (ปี)				
		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
	Time of use (hr./day)					
1	T8-36 W-MB low-loss	11.900	5.950	3.970	2.980	2.380
2	T8-36W-EB-LPF.	17.4 00	8.680	5.790	4.340	3.470
3	T8-36W-EB-HPF.	16.700	8.380	5.590	4.190	3.350
4	T5-28W-EB-LPF.	16.500	8.245	5.480	4.110	3.290
5	T5-28 W-EB-HPF.	22 .000	10.950	7.310	5.490	4.390



รูปที่ 6.2 กราฟระยะเวลาคืนทุนของคอมฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ (ปี)

จากกราฟพบว่าถ้าต้องการให้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 ปี (ตามระยะเวลาการรับประกันสินค้าที่กำหนด) การเลือกใช้คอมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำจะมี ระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุด คือ 1.49 ปี หรือ 1 ปี 6 เดือน (เมื่อใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง) ซึ่งที่สำคัญระยะเวลาดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 2 ปี ตามระยะเวลาการันตรีที่กำหนด นอกนั้นคอมฟลูออเรสเซนต์แบบอื่นๆ จะมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 2 ปี ซึ่งมากเกินกว่าระยะเวลาการรับประกันสินค้า

ส่วนกรณีถ้าต้องการตั้งเป้าหมายให้มีระยะเวลาจุดคุ้มทุนไม่เกิน 1 ปี ซึ่งจะต้องหาว่าราคาของบริษัทที่ส่องสว่างควรเป็นเท่าใด โดยสรุปเรื่องราคาใหม่ที่ปรับลง จะแสดงสรุปไว้ใน ตารางที่ 6.5 ซึ่งพบว่า โอกาสที่บัลลาสต์แบบการสูญเสียต่ำจะลดราคาลงร้อยละ 32.50 จะมีความเป็นไปได้มากกว่า กรณีบัลลาสต์แบบอื่นๆ ที่จะต้องลดราคาลงกว่าร้อยละ 52.29-60.18 ซึ่งนั่นทำให้บัลลาสต์แบบการสูญเสียต่ำยังมีระยะคืนทุนเร็วมากขึ้น จาก 1.49 ปี เป็น 1 ปี เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 ราคาหลอดไฟชนิดต่างๆ ที่ปรับราคาแล้ว

ลำดับ	รายการ	พิกัดกำลัง (W)	หมายเหตุ	ราคา (บาท)	ราคาใหม่ (บาท)	% ราคาที่ลดลง
1	FL. T8	36	MB-แบบธรรมดา	70	-	-
2			MB-การสูญเสียต่ำ	120	81	32.50
3			EB-รุ่น PF. ต่ำ	250	115	54.00
4			EB-รุ่น PF. สูง	350	167	52.29
5	FL. T5 (set)	28	EB-รุ่น PF. ต่ำ	450	200	55.56
6			EB-รุ่น PF. สูง	550	219	60.18

### 6.3 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในรูปของคะแนนของสมรรถนะด้านต่างๆ 8 ด้าน

เนื่องจากการวิเคราะห์ให้เห็นผลดี และผลเสียของหลอดไฟฟ้าแบบต่างๆ จะต้องคำนึงถึงสมรรถนะต่างๆ หลายๆ ด้านร่วมกัน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ของหลอดไฟฟ้าแบบต่างๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบให้เห็นความชัดเจนของการวิเคราะห์มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การหาว่าคอมพลูออเรสเซนต์ระบบใด และใช้บัลลาสต์ชนิดใดคือสิ่งที่ดีที่สุด หรือ best lamp นั่นเอง

ตารางที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในรูปของคะแนนของสมรรถนะด้านต่างๆ 8 ด้าน

ลำดับ	แพ็คเกจอร์ด้านต่างๆ	T8	T8-MB	T8	T8	T5	T5
		MB	low loss	EB-LPF	EB -HPF	EB-LPF	EB -HPF
1	Electrical Energy Saving	1	2	3	4	5	4
2	Power factor	3	3	3	5	3	5
3	Power quality (%THDi)	5	5	2	4	2	4
4	Conducted EMI emission	5	5	1	1	1	1
5	Illuminance Performance	5	5	1	2	4	4
6	Lifetime	5	5	1	1	1	1
7	Environment friendly	5	5	1	1	1	1
8	Economic	1	4	3	3	3	3
	คะแนนรวม	30	34	15	21	20	23
	ดีที่สุดลำดับที่	2	1	6	4	5	3

หมายเหตุ 5 = ดีมาก, 4 = ดี, 3 = ปานกลาง, 2 น้อย, 1 = น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้มีเกณฑ์การให้คะแนนในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ด้าน Electrical Energy Saving

- กรณีที่ 1 สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 0 % จนถึง 10 % จะได้คะแนน = 1
- กรณีที่ 2 สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 10 % ขึ้นไป จนถึง 20 % จะได้คะแนน = 2
- กรณีที่ 3 สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 20 % ขึ้นไป จนถึง 30 % จะได้คะแนน = 3
- กรณีที่ 4 สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 30 % ขึ้นไป จนถึง 40 % จะได้คะแนน = 4
- กรณีที่ 5 สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 50 % ขึ้นไป จะได้คะแนน = 5

2. ด้านค่า Power factor

- กรณีที่ 1 ค่าตัวประกอบกำลังอยู่ระหว่าง ไม่เกิน 0.2 จะได้คะแนน = 1
- กรณีที่ 2 ค่าตัวประกอบกำลังอยู่ระหว่าง ตั้งแต่ 0.2 จนถึง 0.4 จะได้คะแนน = 2
- กรณีที่ 3 ค่าตัวประกอบกำลังอยู่ระหว่าง ตั้งแต่ 0.4 จนถึง 0.6 จะได้คะแนน = 3
- กรณีที่ 4 ค่าตัวประกอบกำลังอยู่ระหว่าง ตั้งแต่ 0.6 จนถึง 0.8 จะได้คะแนน = 4
- กรณีที่ 5 ค่าตัวประกอบกำลังอยู่ระหว่าง ตั้งแต่ 0.8 จนถึง 1.0 จะได้คะแนน = 5

3. ด้าน Power quality (%THDi)

- กรณีที่ 1 ค่า %THDi อยู่ระหว่าง 0 % จนถึง 20 % จะได้คะแนน = 5
- กรณีที่ 2 ค่า %THDi อยู่ระหว่าง 20 % ขึ้นไป จนถึง 40 % จะได้คะแนน = 4
- กรณีที่ 3 ค่า %THDi อยู่ระหว่าง 40 % ขึ้นไป จนถึง 60 % จะได้คะแนน = 3
- กรณีที่ 4 ค่า %THDi อยู่ระหว่าง 60 % ขึ้นไป จนถึง 80 % จะได้คะแนน = 2
- กรณีที่ 5 ค่า %THDi อยู่ระหว่าง 80 % ขึ้นไป จนถึง 100 % จะได้คะแนน = 1

4. ด้าน Conducted EMI emission

- กรณีที่ 1 ค่าระดับสัญญาณ Conducted EMI emission ผ่านมาตรฐาน จะได้คะแนน = 5
- กรณีที่ 1 ค่าระดับสัญญาณ Conducted EMI emission ไม่ผ่านมาตรฐาน จะได้คะแนน = 1

หมายเหตุ เนื่องจากให้น้ำหนักความสำคัญในการผ่านมาตรฐานการทดสอบมาเป็นอันดับแรก

5. ด้าน Illuminance Performance

- กรณีที่ 1 ค่าความสว่างไม่ลดลง จะได้คะแนน = 5
- กรณีที่ 2 ค่าความสว่างลดลงน้อยกว่า 5 % จะได้คะแนน = 4
- กรณีที่ 3 ค่าความสว่างลดลงน้อยกว่า 10 % จะได้คะแนน = 3
- กรณีที่ 4 ค่าความสว่างลดลงน้อยกว่า 15 % จะได้คะแนน = 2
- กรณีที่ 5 ค่าความสว่างลดลงมากกว่า 15 % จะได้คะแนน = 1

6. ด้าน Lifetime

- กรณีที่ 1 อายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี จะได้คะแนน = 1
- กรณีที่ 2 อายุการใช้งาน 5 ปี ขึ้นไป จนถึง 10 ปี จะได้คะแนน = 2
- กรณีที่ 3 อายุการใช้งาน 10 ปี ขึ้นไป จนถึง 20 ปี จะได้คะแนน = 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีที่ 4 อายุการใช้งาน 20 ปี ขึ้นไป จนถึง 30 ปี จะได้คะแนน = 4
- กรณีที่ 5 อายุการใช้งาน 30 ปี ขึ้นไป จะได้คะแนน = 5

หมายเหตุ บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กจะมีอายุการใช้งาน 30-50 ปี ตามอายุของขดลวดทองแดง ในขณะที่ตระกูลอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์จะมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 1-5 ปี ตามอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติกส์

#### 7. ด้าน Environment friendly

- กรณีที่ 1 ถ้าสิ้นอายุแล้ว ไม่สร้างปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ จะได้คะแนน = 5
- กรณีที่ 2 ถ้าสิ้นอายุแล้ว สร้างปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ จะได้คะแนน = 1

หมายเหตุ เนื่องจากให้น้ำหนักความสำคัญในการที่สิ้นอายุการใช้งานของบัลลาสต์แล้วจะไม่สร้างปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

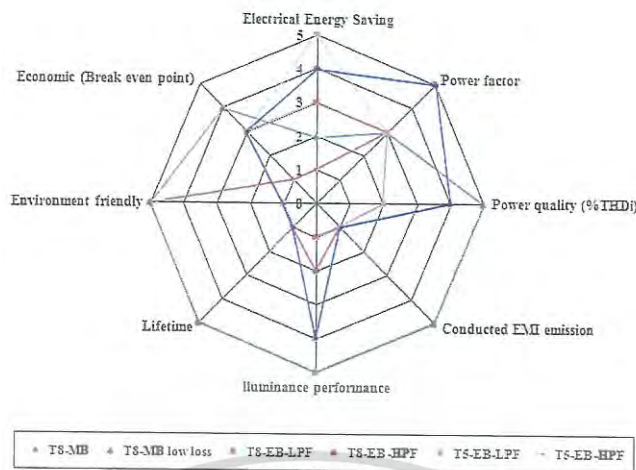
#### 8. ด้าน Economic

- กรณีที่ 1 ถ้าจุดคุ้มทุน มีระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี จะได้คะแนน = 5
- กรณีที่ 2 ถ้าจุดคุ้มทุน มีระยะเวลา 1 ปี ขึ้นไป จนถึง 2 ปี จะได้คะแนน = 4
- กรณีที่ 3 ถ้าจุดคุ้มทุน มีระยะเวลา 2 ปี ขึ้นไป จนถึง 3 ปี จะได้คะแนน = 3
- กรณีที่ 4 ถ้าจุดคุ้มทุน มีระยะเวลา 3 ปี ขึ้นไป จนถึง 4 ปี จะได้คะแนน = 2
- กรณีที่ 5 ถ้าจุดคุ้มทุน มีระยะเวลา 4 ปี ขึ้นไป จนถึง 5 ปี จะได้คะแนน = 1

หมายเหตุ เนื่องจากการลงทุนโดยทั่วไป ควรมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 5 ปี

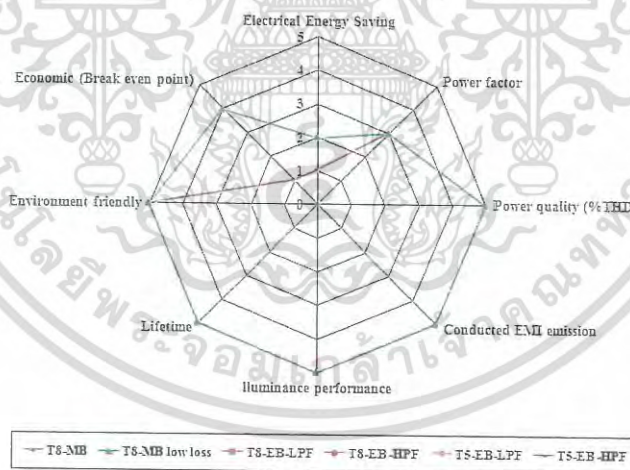
จากตารางที่ 6.7 จะแสดงผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในรูปของคะแนนของสมรรถนะด้านต่างๆ โดยคะแนน 5 = ดีมาก, 4 = ดี, 3 = ปานกลาง, 2 น้อย, 1 = น้อยที่สุด ซึ่งเมื่อรวมคะแนนของสมรรถนะแต่ละด้านแล้ว พบว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำจะได้คะแนนสูงสุด คือ 34 คะแนน รองลงมาคือโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาได้ 30 คะแนน และโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์รุ่นค่าตัวประกอบกำลังสูง จะได้คะแนนรวมเป็นอันดับที่ 3 คือ 23 คะแนน ซึ่งนั่นแสดงว่าบัลลาสต์นี้มีความน่าใช้งานเป็นอันดับแรกขงตระกูลบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนที่ได้คะแนนน้อยที่สุดในกลุ่มคือโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์รุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำนั่นเอง ซึ่งจากสมรรถนะทั้ง 8 ด้าน จากมารณำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบต่างๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบต่างๆ

จากรูปที่ 6.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ทั้ง 8 ด้าน ประกอบด้วย Electrical Energy Saving, Power factor, Power quality (%THDi), Conducted EMI emission, Illuminance Performance, Lifetime, Environment friendly, Economic ของโคมฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาแยกเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นอย่างชัดเจนดังนี้

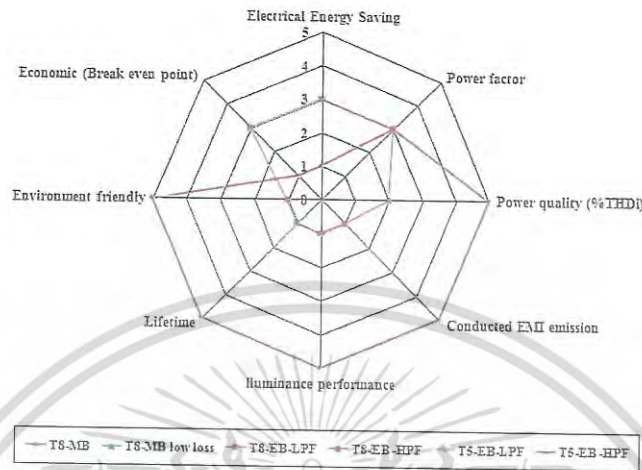


รูปที่ 6.4 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของ FL.T8-MB-36 W กับ FL.T8-MB-low loss-36 W

จากรูปที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา ขนาดพิกัด 36 วัตต์ กับการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ พบว่ามีจุดเด่นคือ มีสมรรถนะด้าน economics อยู่ในระดับดี และด้าน electrical energy saving อยู่ในระบับน้อย ส่วนสมรรถนะด้านอื่นๆ อยู่ในระดับดีมากซึ่งนั้น

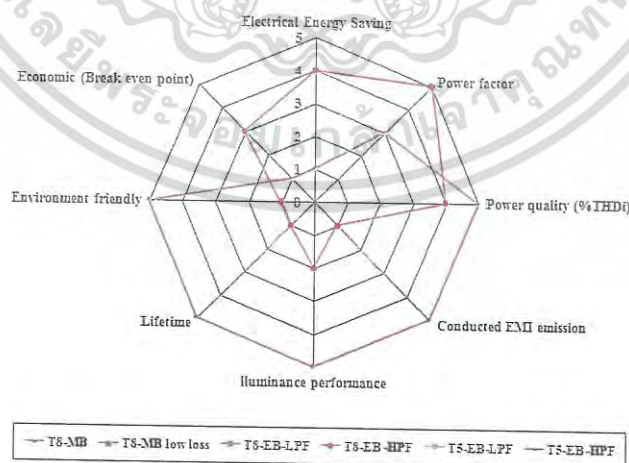
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าควรพิจารณาบัลลาสต์ชนิดนี้มาเปลี่ยนใช้งานแทนบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา



รูปที่ 6.5 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของ FL.T8-MB-36 W กับ FL.T8-EB-LPF-36 W

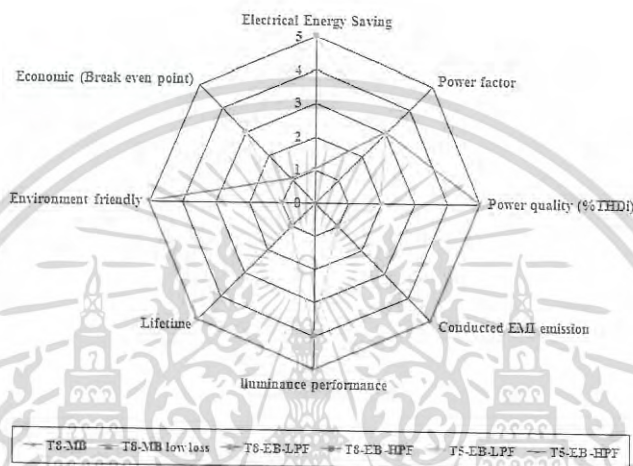
จากรูปที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา ขนาดพิกัด 36 วัตต์ กับการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ พบว่ามีจุดเด่นคือ มีสมรรถนะด้าน economics อยู่ในระดับปานกลาง และด้าน electrical energy saving อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนสมรรถนะด้านอื่นๆ อยู่ในระดับน้อยถึงน้อยที่สุด ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าบัลลาสต์ชนิดนี้ไม่น่านำมาใช้งาน



รูปที่ 6.6 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของ FL.T8-MB-36 W กับ FL.T8-EB-HPF-36 W

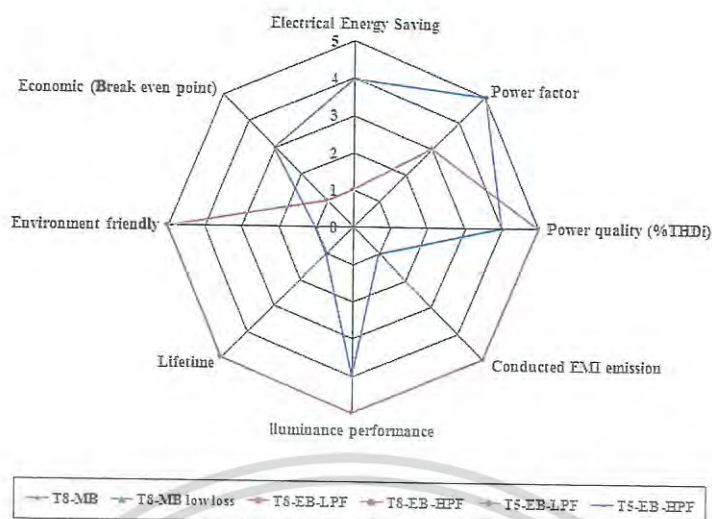
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.6 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา ขนาดฟลักซ์ 36 วัตต์ กับการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง พบว่ามีจุดเด่นคือ มีสมรรถนะด้าน economics อยู่ในระดับปานกลาง และด้าน electrical energy saving อยู่ในระดับดี power factor อยู่ในระดับดี Power quality (%THDi) อยู่ในระดับดี ส่วนสมรรถนะด้านอื่นๆ อยู่ในระดับน้อยที่สุด ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าบัลลาสต์ชนิดนี้ไม่ควรพิจารณานำมาใช้งาน



รูปที่ 6.7 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของ FL.T8-MB-36 W กับ FL.T5-EB-LPF-28 W

จากรูปที่ 6.7 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา ขนาดฟลักซ์ 36 วัตต์ กับการเปลี่ยนมาใช้โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ ขนาดฟลักซ์ 28 วัตต์ พบว่ามีจุดเด่นคือ มีสมรรถนะด้าน electrical energy saving อยู่ในระดับดีมาก และสมรรถนะด้าน Illuminance Performance อยู่ในระดับดี ส่วนสมรรถนะด้านอื่นๆ อยู่ในระดับที่น้อยถึงน้อยที่สุด ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าบัลลาสต์ชนิดนี้ยังไม่ควรพิจารณานำมาใช้งาน



รูปที่ 6.8 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะของ FL.T8-MB-36 W กับ FL.T5-EB-HPF-28 W

จากรูปที่ 6.8 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา ขนาดพิกัด 36 วัตต์ กับการเปลี่ยนมาใช้โคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง ขนาดพิกัด 28 วัตต์ พบว่ามีจุดเด่นคือ มีสมรรถนะด้าน electrical energy saving อยู่ในระดับดี ด้าน power factor อยู่ในระดับดีมาก ด้าน Power quality (%THDi) อยู่ในระดับดี และด้าน Illuminance Performance อยู่ในระดับดี ด้าน Economic อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนสมรรถนะด้านอื่นๆ อยู่ในระดับที่น้อยที่สุด ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าบัลลาสต์ชนิดนี้อาจจะสามารถพิจารณานำมาใช้งานได้

ซึ่งจากกราฟที่ 6.3-6.8 สามารถสรุปให้เห็นถึงข้อดีของโคมฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำได้ดังนี้

1. ด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้า : ประหยัดไฟฟ้าได้ 15.21 %
2. ด้านสมรรถนะทางไฟฟ้า (ตัวประกอบกำลัง) : ค่าตัวประกอบกำลังเท่าเดิม
3. ด้านคุณภาพไฟฟ้า (ฮาร์มอนิกส์) : ฮาร์มอนิกส์ต่ำ
4. ด้านสัญญาณรบกวน Conducted EMI : Conducted EMI ต่ำ
5. ด้านสมรรถนะทางแสง : ค่าความสว่างไม่ลดลง
6. อายุการใช้งาน : ทนทาน, อายุการใช้งานยาวนานถึง 30 ปี
7. ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม : สามารถรีไซเคิลได้ และไม่สร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์
8. ด้านเศรษฐศาสตร์ (จุดคุ้มทุน) : ใช้เงินลงทุนน้อยที่สุด, ระยะเวลาคืนทุนสั้นประมาณ 1 ปี 6 เดือนเท่านั้น ซึ่งคืนทุนเร็วที่สุดในกลุ่มทดสอบ และสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

# หลอดแอลอีดี (LED lamp)

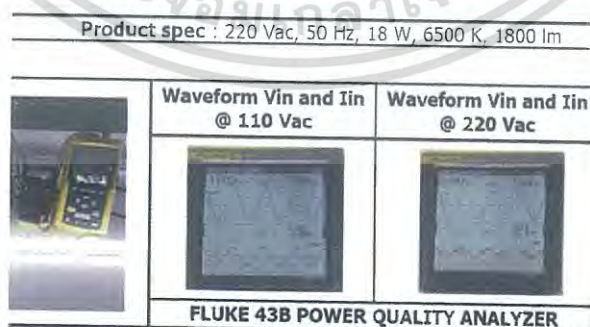
### 7.1 บททั่วไป

ปัจจุบันมีแหล่งกำเนิดแสงชนิดใหม่ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานทั่วโลก เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น กินไฟน้อย ประหยัดไฟฟ้า ให้แสงสว่างมาก ประสิทธิภาพสูง และอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งหลอดไฟดังกล่าวคือ Light Emitting Diode : LED หรือหลอดแอลอีดีนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามหลอดไฟชนิดนี้ยังคงมีข้อเสียคือ ราคาที่สูง และวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในสำหรับขับหลอดนั้นเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้มีโอกาสสร้างปัญหาสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์ และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า อีกทั้งเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานแล้ว ก็จะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นและสะสมกัน ซึ่งทำให้เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมนุษย์ในที่สุด

### 7.2 การทดลองและผลการทดลองหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด

#### 7.2.1 หลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะขอนำเสนอเรื่องที่เกี่ยวข้องกับหลอดแอลอีดีในเฉพาะส่วนที่สำคัญและทำการวิเคราะห์ถึงการนำหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปดมาใช้งาน โดยการนำมาเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งในระบบที่แปด และที่ห้าว่าจะสามารถใช้งานได้หรือไม่อย่างไร และมีข้อดีข้อเสียอย่างไร โดยการทดลองทางไฟฟ้าจะแสดงในรูปที่ 7.1 และผลการทดลองต่างๆ ได้แก่ กำลังไฟฟ้า ด้านเข้า (W) ค่าตัวประกอบกำลัง Power factor และค่า % THD<sub>i</sub> ดังแสดงในตารางที่ 7.1 และผลการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าของหลอดแอลอีดีตัวอย่างกับหลอดไฟแต่ละชนิด จะแสดงเป็นตารางสรุปเชิงเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 7.2



รูปที่ 7.1 การวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้าจากหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า (FLUKE 43B) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 ผลการวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้าจากหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด

Input AC							
Vin (V)	Iin (mA)	THDv	THDi	Kf	PF	DPF	Pin (W)
90	183.8	1.4	24.2	2.2	0.96	1.00	15.9
100	163.5	1.5	20.7	2.0	0.97	1.00	15.9
110	148.0	1.3	18.2	1.9	0.98	0.99	16.0
120	135.5	1.5	16.2	1.8	0.98	0.99	15.9
130	125.0	1.2	14.7	1.8	0.98	0.99	15.9
140	117.0	1.3	13.7	1.8	0.98	0.99	16.1
150	110.0	1.2	12.8	1.9	0.97	0.98	16.0
160	103.5	1.2	12.1	2.2	0.97	0.98	16.1
170	97.5	1.2	11.7	1.9	0.97	0.98	16.1
180	92.8	1.2	11.1	1.8	0.96	0.97	16.0
190	89.0	1.2	10.8	2.1	0.95	0.97	16.1
200	84.8	1.2	10.8	2.1	0.95	0.96	16.1
210	81.5	1.4	10.5	2.1	0.94	0.95	16.1
220	80.5	1.2	10.5	2.7	0.93	0.95	16.5
230	77.3	1.2	10.4	2.9	0.92	0.94	16.3
240	75.3	1.2	10.5	4.6	0.91	0.93	16.4
250	72.8	1.2	10.3	2.4	0.90	0.91	16.4

จากตารางที่ 7.1 เมื่อปรับแรงดันด้านเข้าให้คงที่ที่ 220 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด พบว่าหลอดแอลอีดีขนาด 18 วัตต์นี้ มีค่ากระแสไฟขาเข้าคือ 80.5 มิลลิแอมป์ บริโภคกำลังไฟฟ้าขาเข้าคือ 16.5 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลังคือ 0.93 และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส หรือ % THD, คือ 10.5 %

ตารางที่ 7.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าและทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่างแบบที่แปดขนาด 18 วัตต์ และหลอดไฟชนิดต่างๆ

Order	System	Ballast type	Power (W)	PF.	%Energy saving	%THDi	lumen	Lm/W
1.	FL. T8	MB	46.0	0.48	base	8.4	2,600/3,050 (ข้าวขาว/ข้าวเขียว)	72/84 (ข้าวขาว/ข้าวเขียว)
2.	FL. T8	MB lowloss	39.0	0.40	15.21	8.4		
3.	FL. T8	EB (LPF)	36.0	0.60	21.74	74.4		
4.	FL. T8	EB (HPF)	31.5	0.82	31.52	31.9		
5.	FL. T5	EB (LPF)	27.0	0.59	41.30	74.8	2,800	98
6.	FL. T5	EB (HPF)	28.6	0.87	37.83	22.5	2,600	93
7.	LED-T8	EB (HPF)	16.5	0.93	64.13	10.5	3,000	111

จากตารางที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าและทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด และหลอดไฟแต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วยโคมฟลูออเรสเซนต์ในระบบที่แปด ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา และใช้บัลลาสต์แกนเหล็กแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียต่ำ รวมทั้งที่ใช้บัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังต่ำ และรุ่นตัวประกอบกำลังสูง อีกทั้งเปรียบเทียบกับคอมฟลูออเรสเซนต์ในระบบที่ห้าที่ใช้บัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์รุ่นตัวประกอบกำลังต่ำ และรุ่นตัวประกอบกำลังสูงอีกด้วย

ซึ่งพบว่าหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด จะบริโภคกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ 16.5 วัตต์โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดคือ 64.13 % เมื่อเปรียบเทียบกับคอมฟลูออเรสเซนต์ในระบบที่แปด ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแสหรือ % THD<sub>i</sub> คือ 10.5 % ซึ่งน้อยที่สุดในกลุ่มที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ แต่ยังคงมากกว่ากลุ่มที่ใช้บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กที่มีค่า % THD<sub>i</sub> เพียง 8.4 % เท่านั้น และมีค่าตัวประกอบกำลังสูงที่สุดในกลุ่มคือ 0.93

ส่วนสมรรถนะทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด พบว่ามีฟลักซ์การส่องสว่างสูงที่สุดในกลุ่มคือ 3,000 ลูเมน รองลงมาคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ในระบบที่ห้าคือ 2,600-2,800 ลูเมน และหลอดฟลูออเรสเซนต์ในระบบที่แปดแบบขั้วเขียวคือ 3,050 ลูเมน และแบบขั้วขาวที่น้อยที่สุดคือ 2,600 ลูเมน และมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในกลุ่มคือ 111 ลูเมน ต่อวัตต์ รองลงมาคือหลอดที่ห้าคือ 93-98 ลูเมนต่อวัตต์ และหลอดที่แปดแบบขั้วเขียวคือ 84 ลูเมนต่อวัตต์ และแบบขั้วขาวที่น้อยที่สุดคือ 72 ลูเมนต่อวัตต์

#### 7.2.2 หลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ที่ใช้แทนหลอดไส้

การทดลองสมรรถนะทางไฟฟ้าและทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่าง ขนาด 6 วัตต์ที่ใช้แทนหลอดไส้ขนาด 40 วัตต์ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ขนาด 8 วัตต์

โดยการทดลองทางไฟฟ้าจะแสดงในรูปที่ 7.2 และผลการทดลองต่างๆ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าด้านเข้า (W) ค่าตัวประกอบกำลัง Power factor และค่า % THD<sub>i</sub> โดยผลการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าของหลอดแอลอีดีตัวอย่างกับหลอดไฟแต่ละชนิด จะแสดงเป็นตารางสรุปเชิงเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 7.4



รูปที่ 7.2 หลอดไส้ขนาด 40 วัตต์ (ซ้าย) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ขนาด 8 วัตต์ (กลาง) และหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าและทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่าง  
ขนาด 6 วัตต์ ที่ใช้แทนหลอดไส้และหลอดฟลูออโรซีนชนิดต่างๆ

Orders	Lamp Types	Power rate (W)	Pin (W)	% energy saving	Power factor	% THDi	illuminance (lx)	lumen	Lm/W	Price (Bath)
1.	Incand.	40	37.0	base	0.98	3.1	28	430	11	18
2.	CFL.	8/40	8.8	76.22	0.58	70.1	31	440	55	124
3.	LED	6/40	5.8	84.32	0.24	75.5	26	470	78	395

จากตารางที่ 7.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าและทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ที่ใช้แทนหลอดไส้ กับหลอดไส้ธรรมดาขนาด 40 วัตต์ และหลอดคอมแพคฟลูออโรซีนขนาด 8 วัตต์

ซึ่งพบว่าหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ มีค่าความสว่างใกล้เคียงกับหลอดไส้ และหลอดคอมแพคฟลูออโรซีน แต่บริโภคกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ 5.8 วัตต์ โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดคือ 84.32 % เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไส้ธรรมดาขนาด 40 วัตต์ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแสหรือ % THDi คือ 75.5 % ซึ่งมากที่สุดในกลุ่มทดลอง และมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำที่สุดในกลุ่มทดลองคือ 0.24

ส่วนสมรรถนะทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ พบว่ามีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในกลุ่มคือ 470 ลูเมน รองลงมาคือหลอดคอมแพคฟลูออโรซีนคือ 440 ลูเมน และหลอดไส้ธรรมดาคือ 430 ลูเมน และมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในกลุ่มคือ 78 ลูเมนต่อวัตต์ รองลงมาคือหลอดคอมแพคฟลูออโรซีน 55 ลูเมนต่อวัตต์ และหลอดไส้ธรรมดาน้อยที่สุดคือ 11 ลูเมนต่อวัตต์

### 7.3 สรุปและวิเคราะห์กรณีหลอดแอลอีดี

#### 7.3.1 สรุปกรณีตัวอย่างหลอดแอลอีดีขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปด

หลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปดที่นำมาทำการทดลองนี้มีข้อดีคือบริโภคกำลังไฟต่ำที่สุดในกลุ่มตัวอย่างการทดลองของหลอดฟลูออโรซีนทั้งในระบบที่แปด และระบบ ที่ห้า โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 64.13 % และมีค่าตัวประกอบกำลังสูงถึง 0.93 แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแสหรือ % THDi คือ 10.5 % ซึ่งมากกว่าคอมฟลูออโรซีนในระบบที่แปด ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา และใช้บัลลาสต์แกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำคือ 8.4 % เท่านั้น และมีค่ามีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในกลุ่มคือ 3,000 ลูเมน และมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในกลุ่มคือ 111 ลูเมนต่อวัตต์

จากข้อมูลต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วนั้นทั้งด้านสมรรถนะทางไฟฟ้า และทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 18 วัตต์ แบบที่แปดพบว่าหลอดแอลอีดีดังกล่าวสามารถนำมาใช้เปลี่ยนแทนหลอดชนิดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคมฟลูออเรสเซนต์ทั้งในระบบที่แปด และที่ห้าได้ แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาการศึกษาและวิจัยผลกระทบทางด้านปัญหาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ และผ่านทางอากาศร่วมด้วยเสียก่อน เนื่องจากในบางอาคารหรือสถานที่ที่มีความไว หรืออ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน EMI เช่น โรงพยาบาลที่มีมือเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงและป้องกันปัญหาต่างๆ ที่จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือต่างๆ และมนุษย์ตามมา และควรพิจารณาถึงราคาในการลงทุนเริ่มต้นที่สูงกว่าระบบฟลูออเรสเซนต์มาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อจุดคุ้มทุน เช่น ถ้าหลอดแอลอีดีราคา 1,000 บาทจะคืนทุนที่ 3.4 ปี ซึ่งนานที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง อีกทั้งควรพิจารณาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งหลอดแอลอีดีเหล่านี้จะกลายเป็น ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่สะสมมากขึ้น และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในที่สุด เนื่องจากหลอดแอลอีดีบางรุ่น และบางตราสินค้านั้น จะมีค่าฟลักซ์การส่องสว่างต่ำกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบที่แปด และระบบที่ห้า เช่น มีค่าฟลักซ์การส่องสว่างต่ำที่สุดในกลุ่มเพียง 1,600 ลูเมน และมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำที่สุดในกลุ่มคือ 88 ลูเมนต่อวัตต์ โดยมีอายุการใช้งานเพียง 15,000 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบที่แปด

### 7.3.2 สรุปกรณีตัวอย่างหลอดแอลอีดีขนาด 6 วัตต์ที่ใช้แทนหลอดไส้

หลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ นี้มีข้อดีคือมีค่าความสว่างใกล้เคียงกับหลอดไส้ และหลอด CFL. แต่บริโภคกำลังไฟฟ้าต่ำที่สุดในกลุ่มตัวอย่างการทดลอง โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 84.32 % และมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำมากคือ 0.24 แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแสหรือ % THD สูงมากคือ 75.5 % และมีค่าฟลักซ์การส่องสว่างสูงที่สุดในกลุ่มคือ 470 ลูเมน และมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงสุดในกลุ่มคือ 78 ลูเมนต่อวัตต์

จากข้อมูลต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วนั้นทั้งด้านสมรรถนะทางไฟฟ้า และทางแสงของหลอดแอลอีดีตัวอย่างขนาด 6 วัตต์ สามารถนำไปใช้เปลี่ยนแทนหลอดไส้ธรรมดา และหลอด CFL. แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาการศึกษาและวิจัยผลกระทบทางด้านปัญหาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ และผ่านทางอากาศร่วมด้วยเสียก่อน เนื่องจากในบางอาคารหรือสถานที่ที่มีความไว หรืออ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน EMI เช่น โรงพยาบาลที่มีมือเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงและป้องกันปัญหาต่างๆ ที่จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือต่างๆ และมนุษย์ตามมา และควรพิจารณาถึงราคาในการลงทุนเริ่มต้นที่สูงกว่าระบบฟลูออเรสเซนต์มาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อจุดคุ้มทุนอีกด้วย อีกทั้งควรพิจารณาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งหลอดแอลอีดีเหล่านี้จะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่สะสมมากขึ้น และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในที่สุด โดยสิ่งที่ต้องพิจารณาการเลือกใช้หลอดแอลอีดีบางรุ่นและบางตราสินค้าประเภทใช้แทนหลอดไส้นี้คือ ต้องพิจารณาค่าฟลักซ์การส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง รวมทั้งอายุการใช้งานอีกด้วย ซึ่งไม่ควรมีย่าน้อยกว่าหลอดไส้ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมทั้งการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ของหลอดไฟ ชนิดหลอดไส้ และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ และโคมฟลูออเรสเซนต์ จะพบได้ว่าหลอดไฟ หรือ โคมไฟแต่ละชนิดสามารถนำมาสรุปเชิงเปรียบเทียบได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีเปรียบเทียบระหว่างหลอดไส้แบบไส้ธรรมดา ขนาด 40 วัตต์ กับหลอดคอมแพค-ฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดประหยัดพลังงาน ขนาด 8/40 วัตต์ นั้นสามารถสรุปได้ว่า หลอดคอมแพค-ฟลูออเรสเซนต์สามารถประหยัดพลังงานได้สูงถึง 76.22 % แต่สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้าคือ ค่าตัวประกอบกำลังต่ำอยู่ที่ 0.58 และมีค่า %THD<sub>i</sub> สูงถึง 70.1 % อีกทั้งเป็นแหล่งสร้างสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ ซึ่งมีค่าสูงถึง 88 dB $\mu$ v อีกด้วย

ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการลงทุน ซึ่งหลอดไส้จะมีราคาประมาณ 18 บาท ซึ่งถูกกว่าหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ที่มีราคา 124 บาท ซึ่งสูงกว่าถึง 6.89 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาอายุการใช้งานแล้วหลอดไส้ จะมีอายุการใช้งานเพียง 1,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ จะมีอายุการใช้งาน 6,000 ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าถึง 6 เท่า และเมื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนแล้วพบว่าถ้าใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์วันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน จะมีระยะเวลาคุ้มทุนเร็วมาก คือ 0.38 ปี หรือประมาณ 4.56 เดือนเท่านั้น แต่ถ้าใช้งานน้อยกว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน ก็อาจจะไม่คุ้มทุนเมื่อพิจารณาการรับประกันสินค้าที่ 1 ปี หรือถ้าใช้งานน้อยกว่า 1.53 ชั่วโมงต่อวัน ก็อาจจะไม่คุ้มทุนเมื่อพิจารณาการรับประกันสินค้าที่ 2 ปี ซึ่งเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แล้ว หลอดไฟชนิดนี้ก็จะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นตรายต่อมนุษย์อีกด้วย

2. กรณีเปรียบเทียบระหว่างโคมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ซึ่งใช้บัลลาสต์ทั้งแบบขดลวดแกนเหล็กธรรมดา และแบบการสูญเสียต่ำ รวมทั้งแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีทั้งแบบค่าตัวประกอบกำลังต่ำ และค่าตัวประกอบกำลังสูง สามารถสรุปได้ว่าโคมฟลูออเรสเซนต์ T8 และ T5 ที่ใช้บัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์จะสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 21.74-41.30 % แต่ปัญหาสำคัญหาบัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์พวกนี้คือ ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ อยู่ที่ 0.59 (ในรุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำ) และมีค่า %THD<sub>i</sub> สูงถึง 74.8 % อีกทั้งเป็นแหล่งสร้างสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ ซึ่งมีค่าสูงถึง 71-112 dB $\mu$ v และในกรณีตัวอย่างของบัลลาสต์ที่นำมาทดสอบผลคือไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบ conducted EMI อีกด้วย อีกทั้งค่าความสว่างก็จะลดลงอีกด้วยโดยเมื่อพิจารณาในกรณีของบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ แม้จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 15.21 % แต่จะไม่สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้า เช่น ปัญหา %THD<sub>i</sub> และปัญหาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ โดยที่ค่าความสว่างยังคงเท่าเดิมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อพิจารณาถึงการลงทุน ซึ่งในกรณีคอมพิวเตอร์ระบบ T8 การเปลี่ยนมาใช้บัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำจะใช้เงินลงทุนต่ำที่สุด เพียง 120 บาท ต่อ 1 ตัว ในขณะที่บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องลงทุนสูงกว่า คือ 250 บาท สำหรับรุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำ และ 350 บาท สำหรับรุ่นค่าตัวประกอบกำลังสูง หรือถ้าต้องการเปลี่ยนระบบมาใช้คอมพิวเตอร์ระบบ T5 ก็จะต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมากๆ คือ 450 บาท สำหรับรุ่นค่าตัวประกอบกำลังต่ำ และ 550 บาท สำหรับรุ่นค่าตัวประกอบกำลังสูง

4. เมื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานแล้วบัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำในระบบ T8 จะมีอายุการใช้งานยาวนานมาก ซึ่งอาจยาวนานถึง 30-50 ปี แต่ในขณะที่บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งในระบบ T8 และ T5 จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่ามาก คือประมาณ 1-5 ปี เท่านั้น (ตามอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุภายในวงจรของบัลลัสต์) ซึ่งเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์แล้ว ก็จะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นอันตรายต่อมนุษย์อีกด้วย แต่ในขณะที่บัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำสามารถรีไซเคิลได้เกือบ 100 % เนื่องจากส่วนประกอบสำคัญมีเพียงขดลวดทองแดง และเหล็กเท่านั้น

5. เมื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนแล้วพบว่า เมื่อใช้งานคอมพิวเตอร์ระบบ T8 และ T5 นั้น บัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำจะมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด คือ 1.49 ปี หรือประมาณ 1 ปี กับ 6 เดือนเท่านั้น ในขณะที่บัลลัสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ทั้งระบบ T8 และ T5 นั้น จะมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 2 ปี ซึ่งจะมีค่ามากกว่าระยะเวลาในการรับประกันสินค้า และส่งผลทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน หรือถ้าพิจารณาให้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 5 ปี ทั้งนี้ อ้างอิงตามอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุภายในวงจรของบัลลัสต์ ก็ควรใช้งานคอมพิวเตอร์ที่ใช้บัลลัสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ อย่างน้อยวันละ 3.35-4.02 ชั่วโมงต่อวันขึ้นไป

ดังที่กล่าวมาทั้งหมดจึงสามารถสรุปผลการวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ได้ว่า คอมพิวเตอร์ระบบ T8 ที่ใช้บัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ จะมีสมรรถนะดีที่สุดในแง่การเปรียบเทียบสมรรถนะทั้ง 8 ด้าน จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการพิจารณานำมาใช้เปลี่ยนแทนบัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา ในคอมพิวเตอร์ระบบ T8 ที่มีวัตถุประสงค์สำคัญในเรื่องการประหยัดพลังงานที่ยั่งยืน ไม่สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมทางไฟฟ้า สามารถรีไซเคิลได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทั้งตอนที่อยู่ในช่วงอายุการใช้งาน และหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์อีกด้วย จากเหตุผลต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงสามารถสรุปข้อดีต่างๆ ของบัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบการสูญเสียต่ำ เมื่อนำมาใช้แทนบัลลัสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดาได้ดังนี้

1. ด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้า : ประหยัดไฟฟ้าได้ 15.21 %
2. ด้านสมรรถนะทางไฟฟ้า (ตัวประกอบกำลัง) : ค่าตัวประกอบกำลังไม่เปลี่ยนแปลง
3. ด้านคุณภาพไฟฟ้า (ฮาร์โมนิกส์) : ฮาร์โมนิกส์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ด้านสมรรถนะทางแสง : ค่าความสว่างไม่ลดลง
6. อายุการใช้งาน : ทนทาน, อายุการใช้งานยาวนานถึง 30-50 ปี
7. ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม : สามารถรีไซเคิลได้ และไม่สร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์
8. ด้านเศรษฐศาสตร์ (จุดคุ้มทุน) : ใช้เงินลงทุนน้อยที่สุด, ระยะเวลาคืนทุนสั้นประมาณ 1 ปี 6 เดือนเท่านั้น หรือถ้ามีการลดราคาลงร้อยละ 32.5 ก็จะทำให้คืนทุนภายในระยะเวลาเพียง 1 ปีเท่านั้น ซึ่งเป็นการคืนทุนเร็วที่สุดในกลุ่มทดสอบ และสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้อีกด้วย

ส่วนข้อเสียมีเพียงข้อเดียวคือ ค่าตัวประกอบกำลังต่ำยังคงมีค่าต่ำเหมือนเดิม ซึ่งเท่ากับบัลลาสต์ชนิดชดเชวแกนเหล็กแบบธรรมดา (ค่าตัวประกอบกำลังไม่เปลี่ยนแปลง)

ในกรณีของการนำหลอดแอลอีดีมาใช้งานเพื่อเน้นเรื่องการประหยัดไฟฟ้าที่นั้นควรพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านปัญหาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ผ่านทางตัวนำ และผ่านทางอากาศร่วมด้วยเสียก่อน เนื่องจากในบางอาคารหรือสถานที่ที่มีความไว หรืออ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน EMI เช่น โรงพยาบาลที่มีเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงและป้องกันปัญหาต่างๆ ที่จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือต่างๆ และมนุษย์ตามมา และควรพิจารณาถึงราคาในการลงทุนเริ่มต้นที่สูงมากๆ ซึ่งส่งผลต่อจุดคุ้มทุนอีกด้วย อีกทั้งควรพิจารณาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งหลอดแอลอีดีเหล่านี้จะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่สะสมมากขึ้น และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในที่สุด

### ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดราคาเฉลี่ยจากราคาขายปลีก ซึ่งถ้าหากผู้ซื้อสามารถซื้อได้ในราคาขายส่ง หรือถูกกว่าในกรณีที่ได้ส่วนลด หรือราคาอุปกรณ์ในท้องตลาดถูกลง ก็จะส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลงมากยิ่งขึ้น รวมทั้งปัจจัยเรื่องของราคาค่าไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 4 บาทต่อหน่วย ซึ่งถ้าราคาค่าไฟฟ้าถูกลงก็จะส่งผลทำให้ระยะเวลาคืนทุนนั้นยาวขึ้น รวมทั้งควรพิจารณาเรื่องระยะเวลาของการรับประกันสินค้าด้วย ซึ่งแต่ละร้าน แต่ละตราสินค้า จะมีระยะเวลาไม่เท่ากัน ซึ่งจะต้องนำข้อมูลนี้มาประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาการลงทุนด้วย

อีกกรณีหนึ่งคือการคำนวณจุดคุ้มทุนตามการวิเคราะห์ของวิทยานิพนธ์นี้ ยังไม่ได้คิดผลของค่าปรับ Q ซึ่งเกิดจากค่าตัวประกอบกำลังต่ำ โดยการไฟฟ้าจะคิดค่าปรับเป็น kvar ที่มีค่าเกิน 61.97% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak) โดยปรับกิโลวาร์ (kvar) ละ 14.02 บาท ดังนั้นหากเป็นกรณีสถานที่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ควรจะต้องมีการคำนวณค่าปรับ kvar ประกอบการพิจารณาในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนร่วมด้วย เพื่อความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการที่ค่า Peak demand charge หรือค่าปรับค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่จะลดลงเนื่องจากสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงประกอบการพิจารณาด้วย เช่น 0.6 บาทต่อหน่วย เป็นต้น

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้พบปัญหาสำคัญ และมีความเป็นห่วงอย่างยิ่งในเรื่องขยะอิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งเป็นขยะพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และมนุษย์เป็นอย่างมาก โดยปัจจุบันมีบริษัท  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในต่างประเทศ สามารถทำการรีไซเคิลขยะพวกนี้ได้บ้างแล้ว แต่ปัญหาสำคัญคือ การเก็บรวบรวมขยะเหล่านี้ ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกคนต้องร่วมมือกันแก้ไขต่อไป

#### หมายเหตุ

1. การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบ T5 แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 เดิม นั้น จะต้องใช้ขั้วต่อพิเศษ (Adapter) G13-G5 เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 นั้นมีขนาดสั้นกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 และต้องเปลี่ยนบัลลาสต์เป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 เท่านั้น โดยบัลลาสต์แกนเหล็กเดิม หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ในระบบ T8 เดิมจะไม่สามารถใช้กับระบบ T5 ได้

2. การติดตั้งหลอด LED แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบ T8 เดิม นั้น จะต้องตัดวงจรส่วนของบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ออกไป จากนั้นจะต้องต่อแหล่งจ่ายไฟ หรือ driver สำหรับหลอด LED โดยเฉพาะเพื่อให้วงจรทำงานอย่างถูกต้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573). หน้า 1-94.
- [2] นโยบายพลังงานของรัฐบาลปัจจุบันตามคำแถลงนโยบายของคณะรัฐมนตรีต่อรัฐสภา. 23 สิงหาคม 2554. หน้า 1-66.
- [3] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. การออกแบบระบบแสงสว่าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. หน้า 61-122.
- [4] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธารธีรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง. พ.ศ. 2547.
- [5] MUHAMMAD H. RASHID. **power electronics handbook** .California: ACADEMIC PRESS. 2001. pp. 507-518.
- [6] Henry Shu-Hung Chung, Ngai-Man Ho, Wei Yan, Pok Wai Tam. and S. Y. Hui. "Comparison of Dimmable Electromagnetic and Electronic Ballast Systems -An Assessment on Energy Efficiency and Lifetime." **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS**, VOL. 54, NO. 6, 2007. pp. 3145-3154.
- [7] S. Y. Ron Hui, Leung Ming Lee, Henry Shu-Hung Chung, and Y. K. Ho. "An Electronic Ballast with Wide Dimming Range, High PF, and Low EMI." **IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS**, VOL. 16, NO. 4, 2011. pp. 465-472.
- [8] Wei Yan, S.Y.R.Hui, Henry Shu-Hung Chung. "Energy Saving of Large-Scale High-Intensity-Discharge Lamp Lighting Network Using a Central Reactive Power Control System." **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS**, VOL. 56, NO. 8, 2009. pp. 3078-3154.
- [9] Ying-Chun Chuang, Hung-Liang Cheng. "Single-Stage Single-Switch High-Power-Factor Electronic Ballast for Fluorescent Lamps." **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS**, VOL. 43, NO. 6, 2007. pp. 1434-1440.
- [10] Yiannis Nikolaidis, Petros A. Pilavachi. and Alexandros Chletsis. "Economic evaluation of energy saving measures in a common type of Greek building." **Applied Energy**, Vol. 86, 2009. pp. 2550-2559.
- [11] TaeHoon Hong, HyunJoong Kim. and TaeHyun Kwak. "Energy- Saving Techniques for Reducing CO<sub>2</sub> Emissions in Elementary Schools." **Journal of Management in Engineering**, Vol. 28, No. 1, 2012. pp. 39-50.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] J. Hourtoule, D. van Houtte, P. Fejoz. and P. Hertout. "Magnetic compatibility of standard components for electrical installations Tests on programmable logical controllers and other electronic devices." **Fusion Engineering and Design**, Vol. 75-79, 2005. pp.179-183.
- [13] Marie-Claude Dubois, Ake Blomsterberg. "Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings." **Energy and Buildings**, Vol. 43, 2011. pp. 2572-2582.
- [14] N. G. Chondrakis, F. V. Topalis. "Starting characteristics of fluorescent tubes and compact fluorescent lamps operating with electronic ballasts." **Measurement**, Vol. 42, 2009. pp. 78-86.
- [15] A.E.Emanuel, L.Peretto. "The Response of Fluorescent Lamp with Magnetic Ballast to Voltage Distortion." **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol. 12, No. 1, 1997. pp. 289-295.
- [16] Jiang Lin. "A light diet for a giant appetite, An assessment of China's fluorescent lamp standard" **Energy**, VOL. 30, 2005. pp. 1873-1887.
- [17] Leland Blamk, Anthony Tarquin. **Engineering Economy**. Seventh Edition. Singapore: Mc Graw Hill Companies. 2012.



ภาคผนวก  
(บทความที่ลงตีพิมพ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VOLUME 20 • NUMBER 10/11/12 OCTOBER/NOVEMBER/DECEMBER 2014

[www.aspbs.com/science](http://www.aspbs.com/science)

# Advanced SCIENCE

A Journal Dedicated to All Aspects  
of Scientific Research

# LETTERS

Editor-in-Chief: Dr. Hari Singh Nalwa, USA

Special Sections on  
2nd International Conference on Internet Services Technology and Information Engineering (ISTIE 2014)  
Bali, Indonesia, 31 May–1 June, 2014  
GUEST EDITORS: Ford Lumban Gaol, Sunhono Supangkat, Mohan Kankanhalli, and Benfano Soewito

2nd International Conference on Manufacturing, Optimization, Industrial and Material Engineering (MOIME 2014)  
Indonesia, Jakarta, 29–31 March, 2014  
GUEST EDITORS: Ford Lumban Gaol, Jeff Webb, and Jun Ding

**ASP**  
AMERICAN  
SCIENTIFIC  
PUBLISHERS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ADVANCED SCIENCE LETTERS

Volume 20, Number 10/11/12 (October/November/December 2014) pp.1731-2404

## A SPECIAL SECTION

Selected Peer-Reviewed Articles from the 2nd International Conference on Internet Services Technology and Information Engineering (STIE 2014), Bali, Indonesia, 31 May-1 June, 2014

Guest Editors: *Ford Lumban Gaol, Suhono Supangkat, Mohan Kankanhalli, and Benfano Soewito*

Adv. Sci. Lett. 20, 1731-1733 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

## REVIEWS

Image Segmentation of Repetitive Patterns: A Review

*Kamelia Kamel, Nursuliaty Jamil, Azlina Narawi, and Abdul Rahman Gobil*

Adv. Sci. Lett. 20, 1734-1739 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Trend of Case Based Reasoning in Diagnosing Chronic Disease: A Review

*Daniel Hartono Sutanto, Nanna Suryana Herman, and Mohd. Khanapi Abd. Ghani*

Adv. Sci. Lett. 20, 1740-1744 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

## RESEARCH ARTICLES

Development of Resistive Random Access Memory Simulation Model for Defect Analysis and Testing

*Norsuhaidah Arshad, Nor Zaidi Haron, Zahrladha Zakaria, and Norhayati Soin*

Adv. Sci. Lett. 20, 1745-1750 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Multi-Sensor Fusion Based Effective Obstacle Avoidance and Path-Following Technology

*Byambaa Dorj, Doopalam Tuvshinjargal, Kil To Chong, Dong Pyo Hong, and Deok Jin Lee*

Adv. Sci. Lett. 20, 1751-1756 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Design a Broadband Dual-Polarized Antenna

*Kho Shin Phoo, Mohamad Zoinol Abidin Abd. Aziz, Badrul Hisham Ahmad, and F. Abd. Malek*

Adv. Sci. Lett. 20, 1757-1760 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Investigation of Multi Slot Stacked on Dipole Antenna

*Mohamad Hafize Ramli, Mohamad Zoinol Abidin Abd. Aziz, Abdul Halim Dahalen, and Mohd Azlishah Othman*

Adv. Sci. Lett. 20, 1761-1765 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Interpretive Structural Modeling to Improve National Productivity Using E-Commerce and M-Commerce Based Practices in Indian Context

*Sujata P. Deshmukh and G. T. Thampi*

Adv. Sci. Lett. 20, 1766-1777 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Design of an Integrity Homecare Application for Self-Physical Rehabilitations

*Hao-Hsinag Ku and Miao Ou Yang*

Adv. Sci. Lett. 20, 1778-1782 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

FPGA Based Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System Using Perturb and Observe Method During Shading Condition

*Abd Kadir Mahamad, Sharifah Saon, and King Diaw*

Adv. Sci. Lett. 20, 1783-1787 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Design of Antenna with Rectifying Circuit for Low Power Wireless Sensor Network Application

*Z. Zakaria, N. A. Zainuddin, M. N. Husain, M. N. I. Kamaruzaman, M. Z. A. Abd Aziz, N. Z. Haron, A. A. M. Isa, and M. A. Mutalib*

Adv. Sci. Lett. 20, 1788-1792 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Geospatial Content for Smartphone

*Khairul Anshar and Nanna Suryana Herman*

Adv. Sci. Lett. 20, 1793-1797 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Power Quality and Electromagnetic Interference Noise Problems of Fluorescent Lamp System to Control Systems

*Chutipon Uyaissom and Werachet Khan-Ngern*

Adv. Sci. Lett. 20, 1798-1802 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

All-in-One PC or Desktop Saves More Energy But Poses Worse Power Quality Problem with Effect to Control System

*Chutipon Uyaissom*

Adv. Sci. Lett. 20, 1803-1807 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Position Control and Optimization Using the Electronic Circuit Module with the Rotary Encoder

*Anna Antonyová, Peter Antony, and Benfano Soewito*

Adv. Sci. Lett. 20, 1808-1812 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Detecting, Determining and Localizing Multiple Attacks in Wireless Sensor Network

*Rajalakshmi and Umamaheswari*

Adv. Sci. Lett. 20, 1813-1816 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Design of Rugby Ball Patch Microstrip Antenna with Circle Slot for Ultra Wideband Frequency (UWB)

*Rudy Yuwono, Silvi A. D. Permata, Erlan A. Dahlan, and Ronanobella Syakura*

Adv. Sci. Lett. 20, 1817-1819 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Accurate Heading Estimation of a Vehicle Using Low-Cost GPS Only

*Gandaulga Gankhuyag, Lim Shin Taek, Deok Jin Lee, and Kil To Chong*

Adv. Sci. Lett. 20, 1820-1823 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Novel Approach to Signal Encryption: Improved Version of Conventional Direct Sequence Spread Spectrum Scheme

*ไม่ทราบชื่อผู้แต่ง*

Adv. Sci. Lett. 20, 1824-1828 (2014)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)เอกสารนี้เป็น...  
ไม่ทราบชื่อผู้แต่ง

ไม่ทราบชื่อผู้แต่ง



Copyright © 2014 American Scientific Publishers  
All rights reserved  
Printed in the United States of America

*Advanced Science Letters*  
Vol. 20, 1798–1802, 2014

# Power Quality and Electromagnetic Interference Noise Problems of Fluorescent Lamp System to Control Systems

Chutipon Uyaisom\* and Werachet Khan-Ngern

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand*

Energy savings by replacing to fluorescent lamps (T5) with electronics ballast instead of fluorescent lamps (T8) with magnetic ballast conventional type, how popular is because it can save energy up to 40%. However, such an approach would create a major problem, cause pollution power systems electrical power quality problems, electromagnetic interference or EMI noise. That would make the system controls such as communications systems, industrial automation, control systems, internet systems and other systems that use electricity. They require high investments and the quality of the electrical resistance details for the perishables life is short. This will create a major problem for e-waste that is toxic to humans and the environment. The effect of the fluorescent lamps set on the conducted EMI noise is referred to CISPR-15 standard and test setup is referred to CISPR-16 standard. The experiment results shown to good result of fluorescent lamps (T5) with electronics ballast in a energy saving efficiency up to 41.30% of fluorescent lamps (T8) with magnetic ballast conventional type and disadvantages of fluorescent lamps (T5) such as low power quality and high EMI noise problems. However, if you want to energy saving up to 15.22% of fluorescent lamps (T8) with magnetic ballast conventional. But, not generate power quality and EMI noise problems, should be used with fluorescent lamps (T8) with magnetic ballast low loss type.

**Keywords:** Fluorescent Lamp System, Ballast Electronics, Electrical Energy Saving, Power Quality, Conducted EMI Emission.

## 1. INTRODUCTION

The most lighting consumer approximately 15% of energy in residential buildings and up to 30% in commercial buildings, so the electrical energy saving are very importance to reduce operations cost. Which lighting system are used favor fluorescent lamp system because in fluorescent lamp system to be necessary ballast to drive and control current and voltage to fluorescent light bulb. The fluorescent lamp system consists of T5 and T8 and ballast of fluorescent lamp system to split 2 type such as magnetic ballast and electronic ballast. And the electrical energy is major cost of any activity and process of business, industrial, residential and so on. So, many people to think and to try to find the electrical energy saving method to electrical energy saving such as 3R methods (Reduce, Replace and Recycle) and also to hope for good results to environment.

In electrical energy saving of fluorescent lamp system case with favor replace method such as replace magnetic ballast to electronic ballast in T8 fluorescent lamp system with can be electrical energy saving up to 30% or replace magnetic ballast in T8

fluorescent lamp system to electronic ballast in T5 fluorescent lamp system with can be electrical energy saving up to 40%. However, this method may will be generated side effect to power quality of electrical power system, lighting system, and electronics waste.

The fluorescent lamps (T5) are one of the most popular light sources used in the house, industry, department store, hospital, university, and so on. The choice of the ballast can be either electromagnetic ballast (T8) or electronic ballast (T5). Both electromagnetic ballast and electronic ballast (T5) have their own advantages and disadvantages. The typical electromagnetic ballast (T8) is operated at 50 or 60 Hz mains power frequency. It can be used even under hostile working environment and has a very long service life. However, the "conventional" magnetic ballast has its own shortcomings: poor power regulation ability and high loss caused by the iron and copper losses in the magnetic choke.

The advantages of high frequency electronic ballasts (T5) for fluorescent lamps include small size, light weight, good power factor, and energy-saving more than (electronic ballasts T8). However, the problems with this type of electronic equipment are

\* Author to whom correspondence should be addressed.

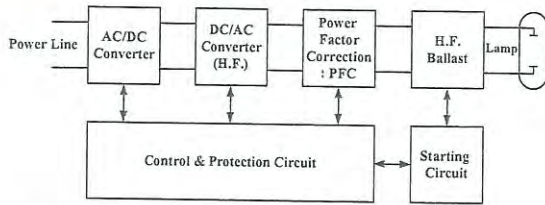


Fig. 1. Diagram of electronic ballast.

input-current harmonics and conducted electromagnetic interference (EMI) due to their high switching frequency operations.

The typical of circuit of electronic ballasts consist of main circuits such as, EMI filter circuit, full bridge rectifier circuit, power factor correction: PFC circuit and half bridge inverter circuit as shown in Figure 1. The EMI filter is mandatory for commercial electronic ballast. Usually it consists of two coupled inductors and a capacitor. The input filter is used to attenuate the electromagnetic interference (EMI) generated by the high frequency stages of ballasts.

The AC to DC converter is used to generate a DC voltage level from the AC line. Normally a full-bridge diode rectifier followed by a filter capacitor is used. However, this simple rectifier provides low input power factor and poor voltage regulation. It can be improved to high power factor by power factor correction circuit: PFC. The DC to AC inverter and high frequency ballast are used to supply the lamp at high frequency and diagram of electronic ballast as shown in Figure 1.

The inverter generates a high frequency waveform and ballast is used to limit the current through the discharge. Both inductors or capacitor can be used to perform this function, with the advantage of low size and weight, because they operate at high frequencies. Which advantages and disadvantages of each type of lamp and type of ballast as follow.<sup>1-5</sup>

## 2. EXPERIMENTAL DETAILS

The test set was found from public favour and consisted of typical fluorescents to test conducted EMI emissions. The power rate of fluorescent lamp and ballasts is (T8:36 watts) and (T5:28 watts) with a several types of ballasts such as magnetic core ballast (T8), and electronic ballasts (T5). The six case studies are summarized in Table I.

### 2.1. Electrical Performance and Power Quality

For the experimental, the supply voltage waveform, current waveform, power factor, and power were measured and analyzed for harmonic content via a power meter and power quality analyzer; (Fluke 43B) and EMC laboratory in department of electrical engineering, faculty of engineering, king mongkut's institute of technology ladkrabang, Bangkok, Thailand as shown in Figure 2.

Table I. Lamps for experiment.

Cases	Lamp	Power rate type	Ballast (W)	Details type
1	T8	36	Magnetic	Conventional
2	T8	36	Magnetic	Low loss
3	T8	36	Electronics	LPF
4	T8	36	Electronics	HPF
5	T5	28	Electronics	LPF
6	T5	28	Electronics	HPF



Fig. 2. Experimental in EMC laboratory.

### 2.2. Conducted EMI Emission

The operations of switching devices of electronic ballast generate  $dv/dt$  or  $di/dt$ , which can be the cause of EMI emission, which can affect the system. The two types of propagation for conducted EMI are differential-mode (DM) and common mode (CM). Differential-mode propagation takes place between two conductors and common-mode propagation takes place between a group of conductors and ground, as explained in Figure 3.

Test setup for measuring is referred to the CISPR-16 standard and the conducted EMI is measured with Line Impedance Stabilization Network (LISN) which has the frequency range between 9 kHz and 30 MHz. LISN was used to provide standard impedance for the measurement and provide the constant 50 ohm

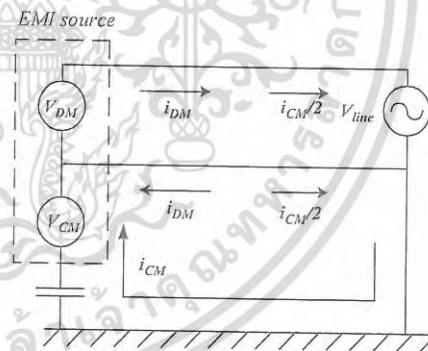


Fig. 3. Differential-mode (DM) and common mode.

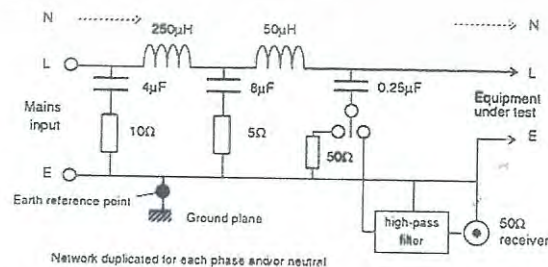


Fig. 4. Line impedance stabilization network or (LISN).

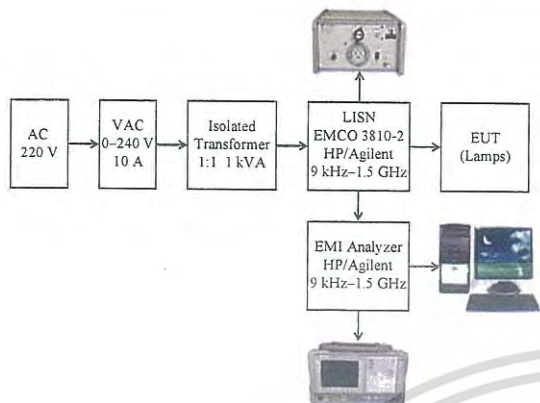


Fig. 5. Diagram for EMI testing.

impedance for the measurement stability as shown in Figure 4 and diagram EMI test as shown in Figure 5.

The instrument details of EMI test consists of EMI Analyzer (Agilent model E7401A 9 kHz–1.5 GHz) and LISN (EMCO model 3810/2 50 Ω 50/250 μH 9 kHz–30 MHz) by Electrical and Electronic Product Testing Center (PTEC), PTEC Building, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Chalokkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand. [www.ptec.or.th](http://www.ptec.or.th).

3. EXPERIMENTAL RESULTS

3.1. Experiment Results of Electrical Performances

3.2. Conducted EMI Noise

From Figures 6–11 are show the electrical performances, power consumption, the experiment results of all as shown the effective



Fig. 6. Power consumption of FL-T8-36 W-MB conventional type.



Fig. 10. Power consumption of FL-T5-28 W-EB low power factor type.



Fig. 7. Power consumption of FL-T8-36 W-MB low loss type.

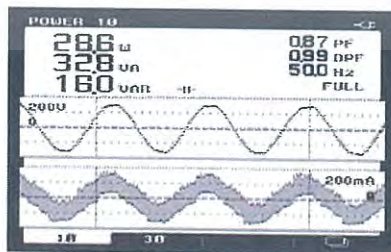


Fig. 11. Power consumption of FL-T5-28 W-EB high power factor type.

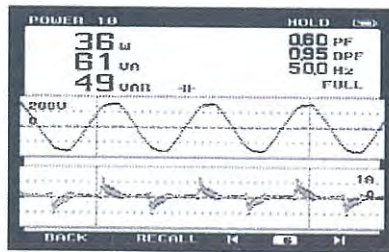


Fig. 8. Power consumption of FL-T8-36 W-EB low power factor type.



Fig. 9. Power consumption of FL-T8-36 W-EB high power factor type.

of fluorescent lamp (T5) with electronic ballast on the electrical energy saving results up to 39.13–41.3% of fluorescent lamp (T8) with magnetic ballast (base type) and side effect to power quality in electrical power system such as total harmonic distortion are high level%.

From Figures 12–17 are show the conducted EMI emission are high level, not good to put down capital, and will be generated the electronic wastes with can be toxic effect to environment, human, vegetation, and animals to increase.

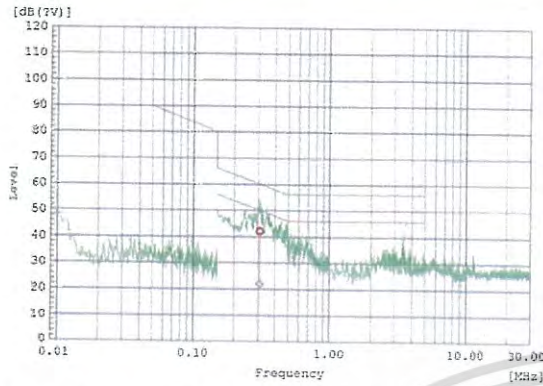


Fig. 12. Conducted EMI noise of FL-T8-36 W-MB conventional type.

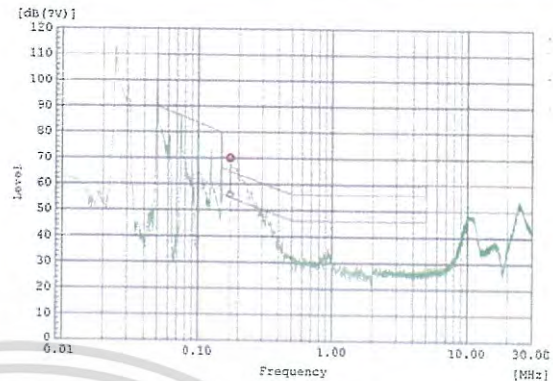


Fig. 15. Conducted EMI noise of FL-T8-36 W-EB high power factor type.

From Table II, the best experimental results on power consumption is fluorescent lamp T5 system with electronic ballast (LPF. Type) with can be reduced up to 41.30% of fluorescent lamp T8 system with magnetic ballast type while power consumption of fluorescent lamp T8 system with magnetic ballast conventional type is 46.0 watts are very high level of all, fluorescent lamp with magnetic ballast low loss type is 39.0 watts,

and fluorescent lamp with electronic ballast is 36.0 watts are low power consumptions, while fluorescent lamp T5 system is about 27.0–28.6 watts are very low power consumptions of all fluorescent lamp system.

The conducted EMI emission of all electronic ballast both T5 and T8 fluorescent lamp system are very high level about 72–112 dB  $\mu$ V with some the frequency range are still out of

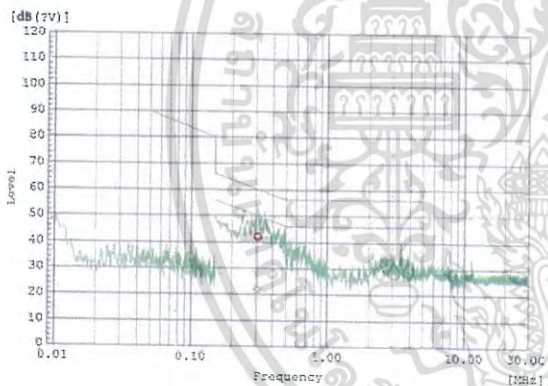


Fig. 13. Conducted EMI noise of FL-T8-36 W-MB low loss type.

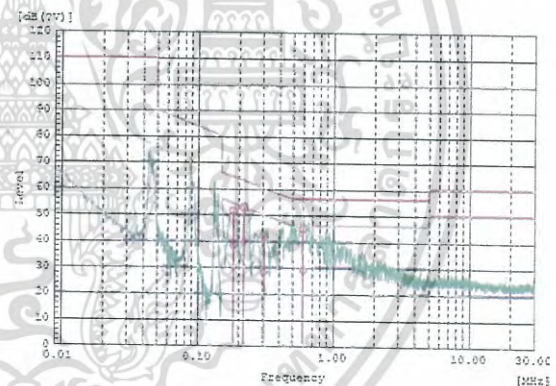


Fig. 16. Conducted EMI noise of FL-T5-28 W-EB low power factor type.

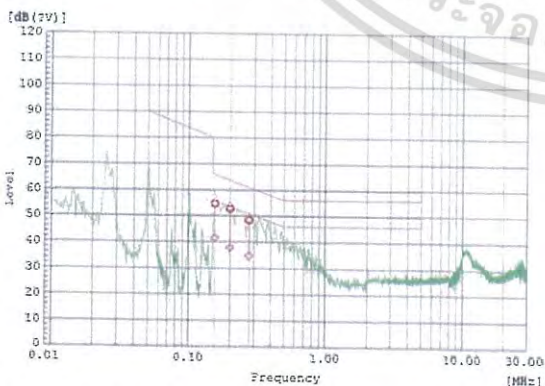


Fig. 14. Conducted EMI noise of FL-T8-36 W-EB low power factor type.

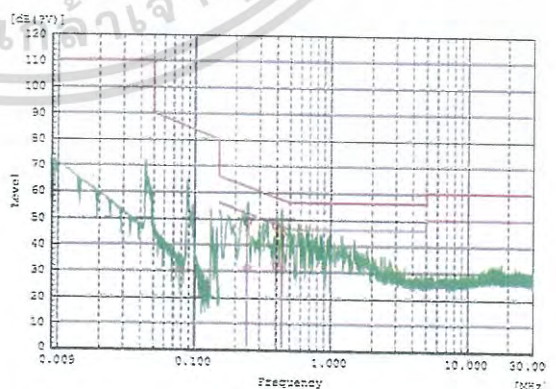


Fig. 17. Conducted EMI noise of FL-T5-28 W-EB high power factor type.

Table II. All experiment results (constant input voltage at 220 V).

Cases	Lamp type	Power rate (W)	Ballast type	Details	Power consumption (W)	Electrical energy saving (%)	Max EMI noise (dB $\mu$ V)	Prices (THB)
1	T8	36	Magnetic	Conventional	46.0	Base	54	70
2	T8	36	Magnetic	Low loss	39.0	15.22	54	120
3	T8	36	Electronics	LPF	36.0	21.74	75	250
4	T8	36	Electronics	HPF	31.5	31.52	112	350
5	T5	28	Electronics	LPF	27.0	41.30	74	450
6	T5	28	Electronics	HPF	28.6	37.83	72	550

limit line, while fluorescent lamp T8 system with magnetic ballast both conventional type and low loss type are very low more than level about 54 dB $\mu$ V.

#### 4. CONCLUSIONS

The experiment results shown to good result of fluorescent lamps (T5) with electronics ballast in a energy saving efficiency up to 41.30% of fluorescent lamps (T8) with magnetic ballast conventional type and disadvantages of fluorescent lamps (T5) such as low power quality (see Figs. 6–11 on distortion of current wave from) and high EMI noise problems (see Figs. 12–17 on limit line standard) may possibly be connected to the same power line as other electrical or electronics devices that are sensitive to harmonics noise such as those in a hospital, in a PLC, or in an Internet server, as they may get malfunctioned, disabled, or even permanently damaged. Our findings show that both the T5 and T8 lamp systems with electronic ballast performed quite well in electrical energy saving and high brightness illumination; however, they created a lot of noise, resulting not only in poor power quality but also in harmful effect to sensitive electronic systems such as PLC, control system, and computer network.

Therefore, if you want to energy saving about 15.22% of fluorescent lamps (T8) with magnetic ballast conventional. But, not generate power quality and EMI noise problems, should be used

with fluorescent lamps (T8) with magnetic ballast low loss type which is a good feature due to moderate electrical energy saving, low conducted EMI noise, good illuminance performance, low cost, can be recycle, environment friendly, and conserve electrical energy saving sustainability.

**Acknowledgments:** The author would like to thank Professor Dr. Shuichi Nitta (Japan), Assoc. Professor Dr. Sombat Teekasup (Eastern Asia University, Thailand), Dr. Wutipon Tarateeraseth (Srinakharinwirot University, Thailand), and Dr. Kraison Aunchaleevarpan (Electrical and Electronic Products Testing Center (PTEC), Thailand), for their advice and fully support.

#### References and Notes

1. W. Khan-Ngern and V. Tarateeraseth, Power Electronics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Bangkok, Thailand (2004), pp. 787–808.
2. R.-L. Lin, H.-Y. Liu, and H.-M. Shih, *IEEE Trans. Power Electronics* 789 (2007).
3. C. K. Cheong, K. W. E. Cheng, and H. L. Chan, Examination of T8–T5 Electronic Ballast Adaptor, *06 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications* (2006), pp. 170–172.
4. A. J. Calleja, J. M. Alonso, E. Lopez, J. Ribas, J. A. Mart'inez, and M. Rico-Secades, *IEEE Transactions on Power Electronics* 998 (1999).
5. S. Y. R. Hui, W. Yan, H. Chung, P. W. Tam, and G. Ho, *IEEE IAS* 2775 (2005).

Received: 20 April 2014. Accepted: 15 May 2014.



# The 5<sup>th</sup> International Conference on Green and Sustainable Innovation and The 5<sup>th</sup> TICChE International Conference



November 8-10, 2015  
Dusit Thani Pattaya, Thailand



“Moving Towards Green Growth and Green Competitiveness”



Organized by



เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกนอกระบบได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INT-O-01

## Reducing Power Quality and Conducted EMI Emission Problems in Lighting System with Dimming Technique

C. Uyaisom<sup>1,\*</sup> and W. Khan-ngern<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
 Bangkok, 10520, Thailand

\*Corresponding author: yaisom@hotmail.com

### ABSTRACT

Saving energy by replacing incandescent lamp with energy-saving lamp or compact fluorescent lamp is popular because up to 80% of energy can be saved. However, such an approach causes a serious electrical pollution problem, specifically power quality and electromagnetic interference problems. Electrical pollution interferes with the operation of any electrical equipment connected to the same power line that the pollution source connects to. It is especially harmful to the sensitive equipment in control, communication, industrial automation, and internet systems. On top of this problem, replacement also requires high up-front investment and the life of the replacing lamp is shorter, which not only costs more money but also creates a major toxic waste problem. Hence, this study proposed to use dimming technique with regular incandescent lamp to save energy instead of that of the popular trend. Our experimental results showed an energy saving of 84.25% with insignificant electrical pollution. If this proposed method is adopted, it will save energy as well as reduce toxic waste, the causes of environmental problem and global warming.

### Introduction

The electrical energy is major cost of any activity and process of business, industrial, residential and so on. So, many people think and try to find the electrical energy saving method to electrical energy saving such as 3R methods (Reduce, Replace and Recycle) and also hope for good results to environment. In this paper, we have focused on finding ways to save energy, the use of incandescent lighting is an alternative technique to reduce the input voltage and save energy sustainably without creating electrical pollution while the brightness of a light bulb is contained in light bulbs CFL, downlights and low cost, payback time soon, and is not harmful to humans and the environment<sup>2-5</sup>.

### Experimental

The experiment will use an central dimmer (auto transformer) to reduce the voltage input to the power supply for incandescent lamp are 25, 100 watts and 18, 20 watts. CFL. with put in down-light 6 inch to analyze the results in terms of electrical energy saving, electrical performance, illuminance, power quality, and conducted EMI emission noise to each lamp systems and diagram for electrical testing as shown in Fig. 1.

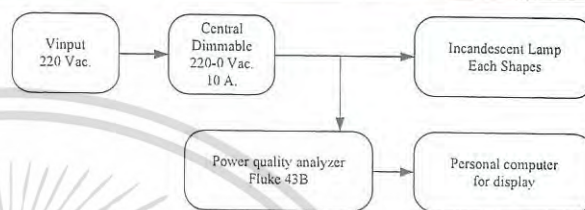


Fig. 1 Diagram for electrical testing.

### Experiment Results

From the experiment results, The best of experiment results is incandescent lamps (small clear-25 W) with dimmable technique. It can be seen that the best effective due to low power consumptions is about 23.3 W only and when it used dimmable technique, it can be energy saving up to 33.91% with power consumptions is 15.4 W only, which less than CFL-18 W (U-shape) at 17.0 W with illuminance (lx) still the same, and can be energy saving up to 21.03% with power consumptions is 18.4 W only, which less than CFL-18 W (Twist-shape) at 19.2 W with illuminance (lx) still the same.

### Conclusion

The electrical energy saving by replacing to the CFL. may be not sustainable because life is very short and have the cost very high level up to 969% of incandescent lamps, That is, how to use incandescent lamps which is very low cost, high power factor and low %THDi, and cannot generated EMI noise emission, which when we used the best shape incandescent lamps (small clear-25W) in downlight (6 inch.) and dimmer techniques, the incandescent lamps can be electrical energy saving as well as CFL with illuminance (lx) still the same or up to 84.25 % of Incandescent lamp (standard clear), So that is good method for sustainable electrical energy saving, reducing global warming, and environment impact problems.

### Reference

- [1] W. Khan-ngern, V. Tarateeraseth, Power Electronics, KMITL, Thailand, 787-808 (2004).
- [2] R.-L. Lin et al., IEEE Trans. Power Electron., 789-796 (2007).
- [3] S.Y.R. Hui et al., IEEE IAS, 2775-278 (2005).



## Reducing Power Quality and Conducted EMI Emission Problems in Lighting System with Dimming Technique

Chutipon Uyaisom<sup>1,\*</sup>, and Werachet Khan-ngern<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
 Bangkok, 10520, Thailand

\*Corresponding author: yaisom@hotmail.com

### ABSTRACT

Saving energy by replacing incandescent lamp with energy-saving lamp or compact fluorescent lamp is popular because up to 80% of energy can be saved. However, such an approach causes a serious electrical pollution problem, specifically power quality and electromagnetic interference problems. Electrical pollution interferes with the operation of any electrical equipment connected to the same power line that the pollution source connects to. It is especially harmful to the sensitive equipment in control, communication, industrial automation, and internet systems. On top of this problem, replacement also requires high up-front investment and the life of the replacing lamp is shorter, which not only costs more money but also creates a major toxic waste problem. Hence, this study proposed to use dimming technique with regular incandescent lamp to save energy instead of that of the popular trend. Our experimental results showed an energy saving of 84.25% with insignificant electrical pollution. If this proposed method is adopted, it will save energy as well as reduce toxic waste, the causes of environmental problem and global warming.

### Introduction

The electrical energy is major cost of any activity and process of business, industrial, residential and so on. So, many people to think and to try to find the electrical energy saving method to electrical energy saving such as 3R methods (Reduce, Replace and Recycle) and also to hope for good results to environment. Which most lighting consumer approximately 15% of energy in residential buildings and up to 30% in commercial buildings, so the electrical energy saving are very importance to reduce operations cost. In electrical energy saving of light system case with favors replace method such as replace incandescent lamp to compact fluorescent lamp or CFL with electronic ballast, it can be electrical energy saving up to 80%. But however, some area in Thailand are still use many incandescent lamps with down-lights such as small home, townhouse, condo condominium, office building, shopping mall, hotel and so on because the price was good, can be easily purchased, and have different shapes many to choose from [1].

However, this method may will be generated side effect to power quality and electrical pollution to electrical power system, and electronics waste due to the short lifespan of electronic devices such capacitor in power electronics circuits in CFL for about 5 years as age of capacitors used in power electronic circuits. The disadvantage of compact fluorescent lamp very high investment cost and may not be worth the investment for the lifetime of the electronic ballast in compact fluorescent lamp is very short (less than 5 years). The end-of-life of electronic ballasts in compact fluorescent lamp will be generated the many electronic waste is a waste as shown in figure 1 which is toxic to which are difficult to collect difficult to eliminate and the high cost of disposal and cannot be recycled as shown in figure 2 unlike traditional incandescent lamp that can be recycled about 100%, which will create pollution and to humans as well that is a significant risk to the global warming problem is not sustainable.

In this paper, we have focused on finding ways to save energy, the use of incandescent lighting a technique to reduce the input voltage as an alternative to save energy sustainably without creating electrical pollution while the brightness of a light bulb is contained in light bulbs CFL down-lights and low cost, payback time soon, and is not harmful to humans and the environment [2-5].



Fig. 1 Electronics ballasts with capacitor in CFL..



Fig. 2 Many electronics wastes from CFL..



**Experimental**

The experiment will use an central dimmer (auto transformer) to reduce the voltage input to the power supply for incandescent lamp are 100 watts consists of 4 cases, such as standard clear, standard soft white, softone, superlux, small clear, and incandescent lamp are 25 watts consists of 2 cases, such as small soft white, and small clear. The compact fluorescent lamp (warm white) consists of 2 cases, such as U-shape (18 watts), and Twists-shape (20 watts) can be replacing to 100 watts incandescent lamp with put in down-light 6 inch. as shown in table 1 and figure 4. All the equipment can be easily purchased in the market generally to analyze the results in terms of electrical energy saving, electrical performance, illuminance, power quality, and conducted EMI emission noise to each lamp systems and diagram for electrical testing as shown in figure 3.

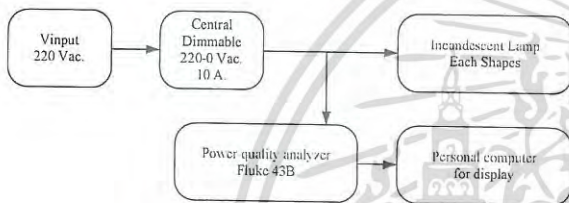


Fig. 3 Diagram for electrical testing.



Fig. 4 Two CFL, four incandescent lamps and down-light 6 inch. for experiment from table 1.

Table 1. Lamps for experiment

Orders	Lamp Types	Power rate (W)	Shape detail
1.	CFL.	18/100	U-shape
2.		20/100	Twists-shape
3.	Incandescent	100	standard clear
4.			Std. soft white
5.			softone
6.			superlux
7.			small clear
8.			25

For the experimental, the supply voltage waveform, current waveform, power factor, and power were measured and analyzed for harmonic content via a power meter and power quality analyzer ; Fluke 43B) and electrical and EMC laboratory in department of electrical engineering, faculty of engineering, Ming Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand. The experimental of illuminance were measured via a lux meter in dark room. For the experimental, the supply voltage waveform, current waveform, power factor, and power were measured and analyzed for harmonic content via a power meter and power quality analyzer ; Fluke 43B) and electrical and EMC laboratory, illumination engineering laboratory, electrical power quality, and electromagnetic compatibility : EMC testing center as shown in figure 5 (a)-(d).



Fig. 5 (a)

Fig. 5 (b)



Fig. 5 (c)

Fig. 5 (d)

Fig. 5 Experimental in (a) electrical and EMC laboratory, (b)illumination engineering laboratory,(c)electrical power quality, and electromagnetic (d)compatibility : EMC testing center.

The operations of switching devices of electronic ballast generate dv/dt or di/dt, which can be the cause of EMI emission, which can affect the system. The two types of propagation for conducted EMI are differential-mode (DM) and common mode (CM). Differential-mode propagation takes place between two conductors and common-mode propagation takes place between a group of conductors and ground, as explained in figure 4. Test setup for measuring is referred to the CISPR-16 standard and the conducted EMI is measured with Line Impedance Stabilization Network (LISN) which has the frequency range between 9 kHz and 30 MHz. LISN was used to provide standard impedance for the measurement and provide the constant 50 ohm impedance for the measurement stability and diagram EMI test as shown in figure 5-6.



The instrument details of EMI test consists of EMI Analyzer (Agilent model E7401A, 9 kHz-1.5 GHz) and LISN (EMCO model 3810/2 50Ω 50/250μH 9 kHz-30MHz) by Electrical and Electronic Product Testing Center or PTEC, and diagram for EMI testing as shown in figure 6.

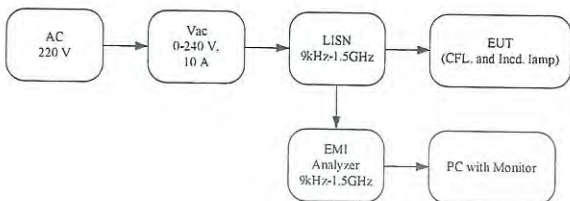


Fig. 6 Diagram for EMI testing.

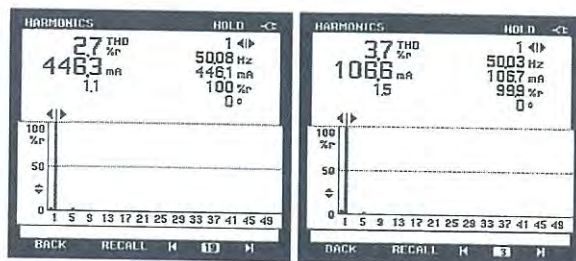


Fig. 10 % THDi of incd-100 W, and incd-25W..

C. Experiment results of conducted EMI emission

Experiment Results

A. Experiment results of electrical performances.



Fig. 7 V, I, P, and PF. of CFL-18 W (U-shape), CFL-20 W (Twist-shape).



Fig. 8 V, I, P, and PF. of incd-100 W, and incd-25W..

B. Experiment Results of %THDi (power quality)



Fig. 9 % THDi of CFL-18 W (U-shape), CFL-20 W (Twist-shape).



Fig. 11 Conducted EMI noise of CFL-18 W. (U-shape).

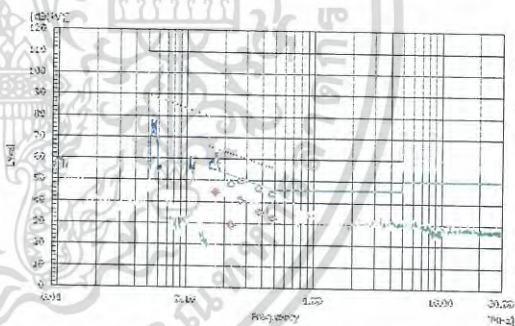


Fig. 12 Conducted EMI noise of CFL-20 W. (Twist-shape).

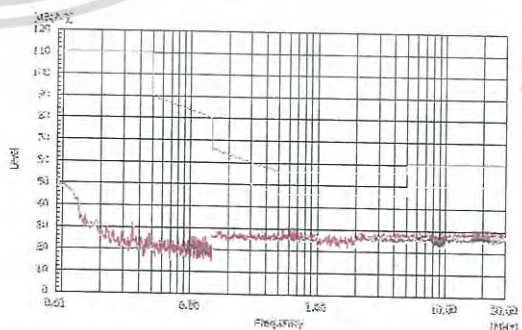


Fig. 13 Conducted EMI noise of incd-100 W, and incd-25W..



Table 2. All experiment results.

Vin	Lamp type and shape detail							
	CFL			Incandescent lamp				
	U-shape	Twists-shape	standard clear	standard soft white	Softone	Superlux	small clear	small soft white
Cases.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Power rate (W)	18 W	20 W	100 W	100 W	100 W	100 W	25 W	25 W
Power consumptions	17.0W	19.2 W	97.8 W	96.1 W	92.0 W	92.0 W	23.3 W	23.6 W
Prices. (Bath)	129	155	16	16	21	24	18	18
Prices differences	base	base	8.06/9.69	8.06/9.69	6.14/7.38	5.38/6.46	7.17/8.61	7.17/8.61
Illuminance (lx)								
Vinconstant at 220 V.	29 (lx)	41 (lx)	55 (lx)	81 (lx)	68 (lx)	65 (lx)	66 (lx)	41 (lx)
<b>Dim Vin (V) U-shape-18 W</b>			160.0	141.0	155.0	157.0	165.0	191.0
			= 29 (lx)	= 29 (lx)	= 29 (lx)	= 29 (lx)	= 29 (lx)	= 29 (lx)
Pin (W)- After Dim V.			60.1	48.1	54.0	55.0	15.4	18.9
Reduced Pin (W) (before-after)			37.7	48.0	38.0	37.0	7.9	4.7
% electrical energy saving U-shape-18 W After Dim Vin			38.55	49.95	41.30	40.22	33.91	19.92
<b>Dim Vin (V) Twists-shape 20 W</b>			196.0	166.0	180.0	187.0	189.0	220.0
			= 41 (lx)	= 41 (lx)	= 41 (lx)	= 41 (lx)	= 41 (lx)	= 41 (lx)
Pin (W) -After Dim V.			81.2	61.4	67.5	72.5	18.4	23.6
Reduced Pin (W) : (before-after)			16.6	34.7	24.5	19.5	4.9	0.0
% electrical energy saving Twists-shape 20 W. After Dim Vin			16.97	36.11	26.63	21.20	21.03	0.00

From the experiment results in experiment results of electrical performances (3.1) as shown in figure 7-8 consists of V, I, P, and PF. of CFL-18 W (U-shape), CFL-20 W (Twist-shape), incd-100 W, and incd-25 W respectively. It can be seen that the CFL-18 W (U-shape) have power consumption are 17.0 watts, and CFL-20 W (Twist-shape) have power consumption are 19.2 watts, while incandescent lamp (incd-100W) have power consumption are 93.6 watts, and incandescent lamp (incd-25 W) have power consumption are 23.5 watts. So that, the CFL-18 W (U-shape) can be electrical energy saving up to 76.6 W or 81.84 % of incandescent lamp (100 W) and CFL-20 W (Twist-shape) can be electrical energy saving up to 74.4 W or 79.49 % of incandescent lamp (100 W). However, both CFL-18 W (U-shape) and (Twist-shape) have low power factor about 0.6 while, incandescent lamp (100 W and 25 W) have high power factor about 1.0 or unity power factor.

The experiment results of % THDi (power quality) as shown in figure 9-10 consists of % THDi of CFL-18 W (U-shape), CFL-20 W (Twist-shape), incd-100 W, and incd-25W. It can be seen that the CFL-18 W (U-shape) and (Twist-shape) are generated of % THDi are 74.3-75.2 % which very high level, while incandescent lamp (100 W and 25 W) are very low level about 2.7-3.7 %. The experiment results of conducted EMI emission noise (3.3) consists of conducted EMI noise of CFL-18 W (U-shape), CFL-20 W (Twist-shape), incd-100 W, and incd-25W. It can be seen that the CFL-18 W (U-shape) are generated of EMI noise are 69 dBuV at 0.01 MHz and (Twist-shape) are generated of EMI noise are 79 dBuV at 0.055 MHz, which very high level, and some frequency of both CFLs have level of EMI signal more than limit line

(out of limit), while incandescent lamp (100 W and 25 W) cannot generated of EMI noise as shown in figure 11-13.

The table 2 show the experiment results with dimmable technique to incandescent lamps each shapes to compared the CFLs both U-shape and Twist-shape. It can be seen that the good effective of dimmable technique, such as standard soft white-100 W (case. 4) it can be energy saving up to 49.95 %, which have illuminance (lx) equal to CFL-18 W (U-shape) is about 29 lx and it can be energy saving up to 36.11 %, which have illuminance (lx) equal to CFL-20 W (Twist-shape) is about 41 lx. The best of experiment results is incandescent lamps (small clear-25 W) with dimmable technique, It can be seen that the best effective due to low power consumptions is about 23.3 W only and when it used dimmable technique, it can be energy saving up to 33.91 % with power consumptions is 15.4 W only, which less than CFL-18 W (U-shape) at 17.0 W with illuminance (lx) still the same, and can be energy saving up to 21.03 % with power consumptions is 18.4 W only, which less than CFL-18 W (Twist-shape) at 19.2 W with illuminance (lx) still the same.

### Conclusion

The electrical energy saving by replacing to the CFL may be is not sustainable because life is very short and have the cost very high level up to 969 % of incandescent lamps, which creates waste in electronic devices that are toxic to the environment and human waste or expired for about 5 years by the application of capacitors in electronic ballast, illuminance are reduced very much, and will be generated of electrical pollutions (harmonics and EMI) to electrical power system. Which, if we consider an alternative.



That is, how to use incandescent lamps which is very low cost, high power factor and low % THDi, and cannot generated EMI noise emission, which when we used the best shape incandescent lamps (small clear-25W) in Downlight (6 inch.) and dimmer techniques, the incandescent lamps can be electrical energy saving as well as CFL with illuminance (lx) still the same or up to 84.25 % of Incandescent lamp (standard clear), So that is good method for sustainable electrical energy saving, reducing global warming, and environment impact problems.

#### Acknowledgments

The author would like to thank Prof. Dr. Shuichi Nitta (Japan), Assoc. Prof. Dr. Sombat Teekasup (Eastern Asia University, Thailand), Dr. Wutipon Tarateeraseth (Srinakharinwirot University, Thailand), and Dr. Kraison Aunchaleevarpan (Electrical and Electronic Products Testing Center (PTEC), Thailand), for their advice and fully support.

#### References

- [1] W. Khan-ngern and V. Tarateeraseth, Power Electronics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, 787-808 (2004).
- [2] Ray-Lee Lin, Hung-Yi Liu and Hsu-Ming Shih, AC-side CCM CS-CP- PFC electronic Ballast, IEEE Trans. On Power Electronics., 789-796, (2007).
- [3] C. K. Cheong, K. W. E. ChengI, and H. L. Chan2, Examination of T8-T5 Electronic Ballast Adaptor, 06 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 170-172 (2006).
- [4] Antonio J. Calleja, J. Marcos Alonso, Emilio L'opez, Javier Ribas, Juan Angel Mart'ýnez, and Manuel Rico-Secades, Analysis and Experimental Results of a Single-Stage High-Power Factor Electronic Ballast Based on Flyback Converter ,IEEE Transactions on Power Electronics, 998-1006, (1999).
- [5] S.Y.R. Hui, W. Yan, H. Chung, P.W. Tam and G. Ho, "Energy Efficiency Comparison of Dimmable Electromagnetic and Electronic Ballast Systems", IEEE IAS, 2775-278, (2005).





# The 5<sup>th</sup> International Conference on Green and Sustainable Innovation and The 5<sup>th</sup> TICChE International Conference

November 8-10, 2015  
Dusit Thani Pattaya, Thailand



“Moving Towards Green Growth and Green Competitiveness”

Organized by



เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INT-O-02

## Side Effects of LED Lamp: Power Quality and Harmonics Noise Problems

C. Uyaisom<sup>1,\*</sup> and W. Khan-ngern<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
 Bangkok, 10520, Thailand

\*Corresponding author: yaisom@hotmail.com

### ABSTRACT

Saving energy by replacing regular or energy-saving lamp with LED lamp is popular because it can save energy up to 85.47% of energy. However, such an approach creates a major problems of power quality and electromagnetic interference that are harmful to electrical equipment in any electrical systems such as communication, industrial automation, control, and internet systems. Replacing to LED requires very high investment and its operation life is only 5 years due to the short life of the capacitor in LED's electronic circuit, which means that not only more investment is needed to replace working LED but discarded LED will also become hard-to-recycle toxic waste, causing a major environmental problem. This study's experimental results showed that LED creates up to 75.5% harmonic noise and low 0.42 power factor. These harmful side effects are much higher than the limits specified in the EMI standard.

### Introduction

In electrical energy saving of light system case with favors replace method such as replace compact fluorescent lamp or CFL. with electronic ballast to LED lamp, it can be electrical energy saving up to 85.47%. However, this method may will be generated side effect to power quality and electrical pollution to electrical power system, and electronics waste due to the short lifespan of electronic devices such capacitor in power electronics circuits in LED lamp for about 5 years as age of capacitors used in power electronic circuits. The end-of-life of electronic ballasts in LED lamp will be generated the many electronic waste which are difficult to collect, difficult to eliminate, very high cost of disposal, cannot be recycled, unlike traditional incandescent lamp that can be recycled about 100%, which will create pollution and to humans as well that is a significant risk to the global warming problem is not sustainable. This paper focuses on the problems that are going to happen, all of the people are talking about saving energy in lighting.

### Experimental

The experiment will use an central dimmer (auto transformer) to reduce the voltage input to the power supply for incandescent lamp are 60, 40, 25 watts, compact fluorescent lamp are 12, 8, 5 watts (twists-shape), and LED lamp are 9.5, 6, 4 watts with put in down-light 6 inch..

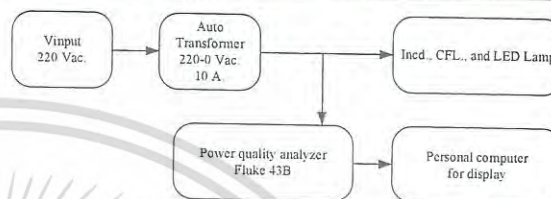


Fig. 1 CFL., LED lamp, and down-light 6 inch.

### Experiment Results

From the experiment results, It was found that the good effective of LED lamp such as energy saving up to 84.00-85.47% of incandescent lamps while compact fluorescent lamps at 79.45-81.20% which is not much different with the LED lamp. The illuminance (lx) of incandescent lamp, compact fluorescent lamp, and LED lamp is not much different. The power factor of incandescent lamp is about 0.95-0.99 which nearly unity power factor with good power quality, while LED lamp are very low power factor about 0.21-0.42 with bad good power quality. The %THDi of incandescent lamp is about 2.7-3.7 % which normal power quality, while %THDi of compact fluorescent lamp is high level about 66.4-70.3 % with not good power quality, and %THDi of LED lamp are very high level about 53.7-75.5 % with bad power quality.

### Conclusion

The electrical energy saving by replacing from incandescent lamp or compact fluorescent lamp to LED lamp may be not sustainable because life is very short and have the cost very high level up to 2,722 % of incandescent lamps, which creates waste in electronic devices that are toxic to the environment and human waste or expired for about 5 years by the application of capacitors in electronic ballast which generated environment problems and can be generated of electrical pollutions (harmonics and EMI noise) which are harmful to the system may cause system damage or a malfunction.

### Reference

- [1] W. Khan-ngern, V. Tarateeraseth, Power Electronics, KMITL, Thailand, 787-808 (2004).
- [2] R.-L. Lin et al., IEEE Trans. Power Electron., 789-796 (2007).
- [3] S.Y.R. Hui et al., IEEE IAS, 2775-278 (2005).



## Side Effects of LED lamp: Power Quality and Harmonics Noise Problems

Chutipon Uyaisom<sup>1\*</sup>, and Werachet Khan-ngern<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

\*Corresponding author: yaisom@hotmail.com

### ABSTRACT

Saving energy by replacing regular or energy-saving lamp with LED lamp is popular because it can save energy up to 85.47% of energy. However, such an approach creates a major problems of power quality and electromagnetic interference that are harmful to electrical equipment in any electrical systems such as communication, industrial automation, control, and internet systems. Replacing to LED requires very high investment and its operation life is only 5 years due to the short life of the capacitor in LED's electronic circuit, which means that not only more investment is needed to replace working LED but discarded LED will also become hard-to-recycle toxic waste, causing a major environmental problem. This study's experimental results showed that LED creates up to 75.5% harmonic noise and low 0.42 power factor. These harmful side effects are much higher than the limits specified in the EMI standard.

### Introduction

The electrical energy is major cost of any activity and process of business, industrial, residential and so on. So, many people to think and to try to find the electrical energy saving method to electrical energy saving such as 3R methods (Reduce, Replace and Recycle) and also to hope for good results to environment. Which most lighting consumer approximately 15% of energy in residential buildings and up to 30% in commercial buildings, so the electrical energy saving are very importance to reduce operations cost. In electrical energy saving of light system case with favors replace method such as replace compact fluorescent lamp or CFL. with electronic ballast to LED lamp, it can be electrical energy saving up to 85.47 % . But however, some area in Thailand are still use many incandescent lamps and CFL. with down-lights such as small home, townhouse ,condo condominium, office building, shopping mall, hotel and so on because the price was good, can be easily purchased, and have different shapes many to choose from [1].

However, this method may will be generated side effect to power quality and electrical pollution to electrical power system, and electronics waste due to the short lifespan of electronic devices such capacitor in power electronics circuits in LED lamp for about 5 years as age of capacitors used in power electronic circuits. The disadvantage of LED lamp very high investment cost more than CFL, and may not be worth the investment for

the lifetime of the electronic ballast in compact fluorescent lamp is very short (less than 5 years). The end-of-life of electronic ballasts in LED lamp will be generated the many electronic waste is a waste which is toxic to which are difficult to collect difficult to eliminate, very high cost of disposal, cannot be recycled, unlike traditional incandescent lamp that can be recycled about 100%, which will create pollution and to humans as well that is a significant risk to the global warming problem is not sustainable.

In this paper, Focus on the problems that are going to happen all of the people are talking about saving energy in lighting. It may be a problem with the quality of the power system which are harmful to the system to the system together such as communications systems, industrial automation, control systems, internet systems and other systems that use electricity and very costly with unnecessarily, including the electronic waste that is harmful to humans and the environment in the future [2-5].

### Experimental

The experiment will use an central dimmer (auto transformer) to reduce the voltage input to the power supply for incandescent lamp are 60, 40, 25 watts, compact fluorescent lamp (warm white) are 12, 8, 5 watts (twists-shape), and LED lamp are 9.5, 6, 4 watts (warm white) with put in down-light 6 inch. as shown in figure 1 and table 1.



Fig. 1 Incand. CFL., LED lamp, and down-light 6 inch. for experiment.

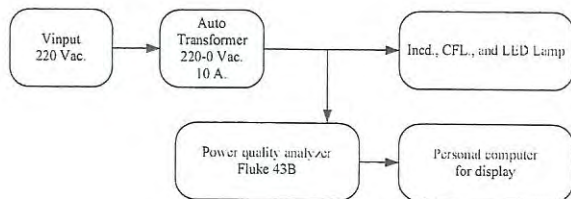


Fig. 2 CFL., LED lamp, and down-light 6 inch. for experiment.



Fig. 3 Experimental in electrical laboratory.

All the equipment can be easily purchased in the market generally to analyze the results in terms of electrical energy saving, electrical performance, illuminance, power quality, and conducted EMI emission noise to each lamp systems and diagram for electrical testing as shown in figure 2.

For the experimental, the supply voltage waveform, current waveform, power factor, and power were measured and analyzed for harmonic content via a power meter and power quality analyzer ; Fluke 43B) and electrical and EMC laboratory in department of electrical engineering, faculty of engineering, king mongkut's institute of technology ladkrabang, Bangkok, Thailand. The experimental of illuminance were measured via a lux meter in dark room. For the experimental, the supply voltage waveform, current waveform, power factor, and power were measured and analyzed for harmonic content via a power meter and power quality analyzer ; Fluke 43B) and electrical laboratory, illumination engineering laboratory, electrical power quality as shown in figure 3-4.



Fig. 4 Experimental in illumination engineering laboratory.

Table 1. lamps for experiment.

Orders	Lamp types	Power rate (W)
1.	Incandescent lamp	60
2.		40
3.		25
4.	CFL. (Twist-Shape)	15/60
5.		8/40
6.		5/25
7.	LED lamp	9.5/60
8.		6/40
9.		4/25

Experimental results

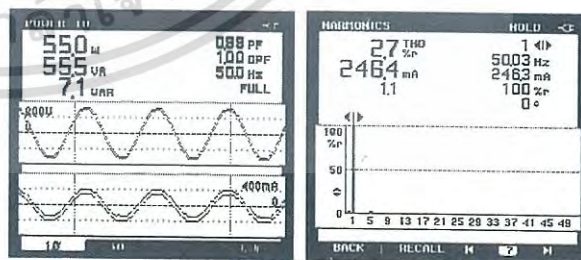


Fig. 5 P, PF, and %THDi of incandescent lamp-60 W..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

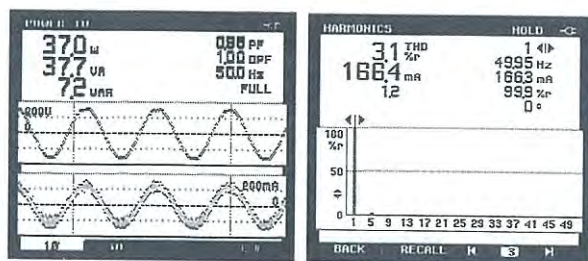


Fig. 6 P, PF, and %THDi of incandescent lamp-40 W..

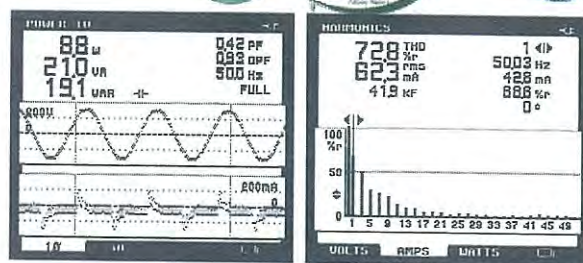


Fig. 11 P, PF, and %THDi of LED-9.5/60 W..

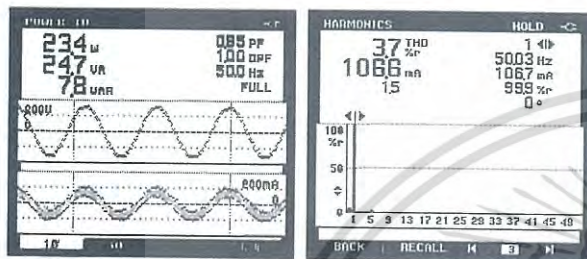


Fig. 7 P, PF, and %THDi of incandescent lamp-25 W..

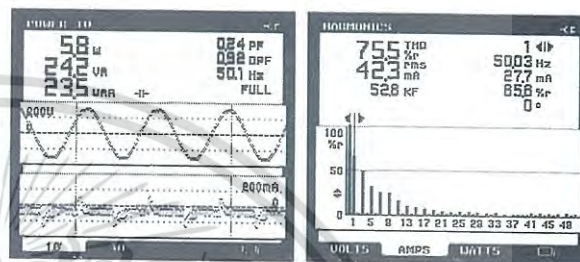


Fig. 12 P, PF, and %THDi of LED-6/40 W..

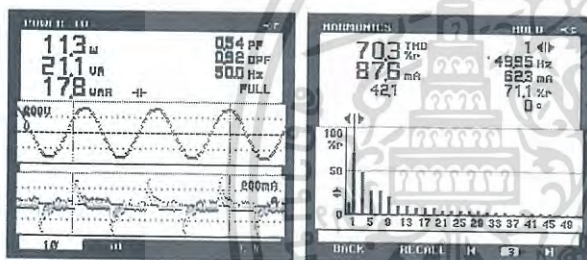


Fig. 8 P, PF, and %THDi of CFL-twist shape-12/60 W..

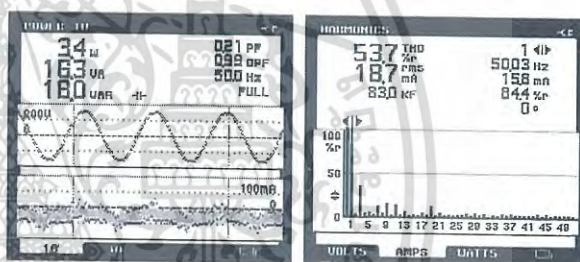


Fig. 13 P, PF, and %THDi of LED-4/25 W..

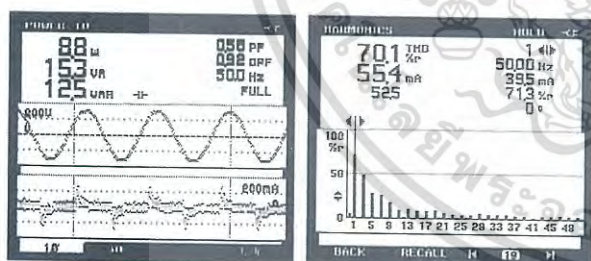


Fig. 9 P, PF, and %THDi of CFL-twist shape-8/40 W..

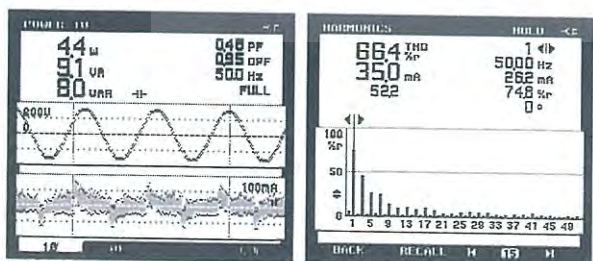


Fig. 10 P, PF, and %THDi of CFL-twist shape-5/25 W..

From the experiment results in experiment results of electrical performances as shown in figure 5-13 consists of V, I, P, PF., and % THDi of each lamp and figure 14-16 show the conducted EMI noise from each lamps. Which all experiment results are compared to each factors of performance each lamps as shown in table 2. The table 2 show the experiment results of each shapes to compared each factors of performance. It can be seen that the good effective of LED lamp such as energy saving up to 84.00-85.47 % of incandescent lamps while compact fluorescent lamps at 79.45-81.20 % which is not much different with the LED lamp. The illuminance (lx) of incandescent lamp, compact fluorescent lamp, and LED lamp which is not much different. The power factor of incandescent lamp are about 0.95-0.99 which nearly unity power factor with good power quality, while compact fluorescent lamp are low power factor about 0.48-0.58 with not good power quality, and LED lamp are very low power factor about 0.21-0.42 with bad good power quality



Table 2. All experimental results.

Orders	Lamp Types	Power rate (W)	Power consumptions (W)	% energy saving	Illuminance (lx)	Power factor	%THDi	Price (Bath)	% Increase price
1.	Incand. lamp	60	55.0	base	32	0.99	2.7	18	base
2.	Incand. lamp	40	37.0	base	28	0.98	3.1	18	base
3.	Incand. lamp	25	23.4	base	24	0.95	3.7	18	base
7.	CFL.	15/60	11.3	79.45	34	0.54	70.3	124	689
8.	CFL.	8/40	8.8	76.22	31	0.58	70.1	124	689
9.	CFL.	5/25	4.4	81.20	27	0.48	66.4	124	689
10.	LED lamp	9.5/60	8.8	84.00	31	0.42	72.8	490	2,722
11.	LED lamp	6/40	5.8	84.32	26	0.24	75.5	395	2,194
12.	LED lamp	4/25	3.4	85.47	23	0.21	53.7	359	1,994

The %THDi of incandescent lamp are about 2.7-3.7 % which normal power quality, while %THDi of compact fluorescent lamp are high level about 66.4-70.3 % with not good power quality, and %THDi of LED lamp are very high level about 53.7-75.5 % with bad power quality. The prices of incandescent lamp are very low about 18 bath only, while compact fluorescent lamp are high level about 124 bath, and LED lamp are very high level of all about 359-490 bath. The investment cost of compact fluorescent lamp are high level up to 689 % of incandescent lamp, while LED lamp are very high level up to 1,994-2,722 % of incandescent lamp.

### Conclusion

The electrical energy saving by replacing from incandescent lamp or compact fluorescent lamp to LED lamp may be is not sustainable because life is very short and have the cost very high level up to 2,722 % of incandescent lamps, which creates waste in electronic devices that are toxic to the environment and human waste or expired for about 5 years by the application of capacitors in electronic ballast which generated environment problems in future. It can be generated of electrical pollutions (harmonics and EMI noise) to electrical power system. That would make importance major problems to system controls such as communications systems, industrial automation, control systems, internet systems and other systems that use electricity. The investment cost are very much higher than necessary and may not be worth the investment. due to the short lifetime due to the capacitor in power electronics circuits in LED lamps. Finally, lighting designers and users should have knowledge and understanding problems in the use of electrical equipment to avoid the problem of

signal quality in power systems. Which are harmful to the system may cause system damage or a malfunction.

### Acknowledgments

The author would like to thank Prof. Dr. Shuichi Nitta (Japan), Assoc. Prof. Dr. Sombat Teekasup (Eastern Asia University, Thailand), Dr. Wuttipon Tarateeraseth (Srinakharinwirot University, Thailand), and Dr. Kraison Aunchaleeyarpan (Electrical and Electronic Products Testing Center (PTEC), Thailand), for their advice and fully support.

### References

- [1] W. Khan-ngern and V. Tarateeraseth, Power Electronics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, 787-808 (2004).
- [2] Ray-Lee Lin, Hung-Yi Liu and Hsu-Ming Shih, AC-side CCM CS-CP- PFC electronic Ballast, IEEE Trans. On Power Electronics., 789-796, (2007).
- [3] C. K. Cheong, K. W. E. ChengI, and H. L. Chan2, Examination of T8-T5 Electronic Ballast Adaptor, 06 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 170-172 (2006).
- [4] Antonio J. Calleja, J. Marcos Alonso, Emilio L'opez, Javier Ribas, Juan Angel Mart'inez, and Manuel Rico-Secades, Analysis and Experimental Results of a Single-Stage High-Power Factor Electronic Ballast Based on Flyback Converter, IEEE Transactions on Power Electronics, 998-1006, (1999).
- [5] S.Y.R. Hui, W. Yan, H. Chung, P.W. Tam and G. Ho, "Energy Efficiency Comparison of Dimmable Electromagnetic and Electronic Ballast Systems", IEEE IAS, 2775-278, (2005).

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นายชุตินันท์ อู่ยายโสม
วัน เดือน ปีเกิด	21 ตุลาคม พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
ที่อยู่	115 ซ.ประเสริฐมนูกิจ 29 แยก 10 ถ.ประเสริฐมนูกิจ แขวงจระเข้บัว เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร. 082-836-5599 Email : yaisom@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	2539 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง (วศบ.ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2546 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วศม.ไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง 2. ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ 3. รถไฟฟ้า 4. ระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆ เช่น พีแอลซี 5. งานประยุกต์ด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 6. ปัญหาฮาร์ดแวร์ 7. อีเอ็มไอ และอีเอ็มซี
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ. 2546-ปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้