



รายงานการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง  
A Study of Lighting Design Performance Using High Power LED

โดย

ชาญวิทย์ ตั้งสิริวิรุศ

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เฉลิมชาติ มานพ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH  
TK  
4161  
๙49๕๓

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 116884  
วันเดือนปี..... 16 ส.ค. 2554

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

b. 12/๒๒๙๗๐๘  
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลางพระจอมเกล้าลาดกระบัง ผู้ยืมใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ การศึกษาสมรรถนะการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง

A Study of Lighting Design Performance Using High Power LED

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2551 จำนวนเงิน 1,100,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 กันยายน 2551 ถึง 30 กันยายน 2552

ชื่อผู้วิจัยและหน่วยงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญวิทย์ ตั้งศิริวรกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ที่ตั้ง 1518 ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 1080

โทรศัพท์ที่ทำงาน 0-2913-2500 ต่อ 6322 โทรศัพท์มือถือ 08-9104-8499

โทรสาร 0-2587-4356 อีเมลล์ cwtk@kmutnb.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมชาติ มาณพ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่ตั้ง 3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ที่ทำงาน 0-2326-4550 โทรศัพท์มือถือ 08-4160-1572

โทรสาร 0-2326-4550 อีเมลล์ kmchaler@kmitl.ac.th

## 2. บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง ทั้งนี้หลอดไฟแอลอีดีได้ถูกพัฒนาไปมากในไม่กี่ปีมานี้จนกลายเป็นแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดไฟแบบเดิมที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป โดยในขั้นต้นได้ทำการเปรียบเทียบข้อได้เปรียบของหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงกับหลอดไฟอื่น รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย นวัตกรรมใหม่ของการประยุกต์ใช้แอลอีดีกำลังสูงที่ได้ทำการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่ ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงและวงจรขับ ทั้งนี้วงจรขับแบบกระแสคงที่ได้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพของหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง นอกจากนี้แล้วในโครงการวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้า โดยการทดลองใช้วงจรขับที่มีแหล่งจ่ายไฟที่แตกต่างกันได้แก่ แหล่งจ่ายกำลังแบบใช้หม้อแปลง แบบสวิตชิ่ง และแบบที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยจะเป็นการพิจารณาในหลายๆด้านได้แก่ การผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม องค์ประกอบฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพ เป็นต้น หลังจากนั้นจึงนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดสอบด้านสมรรถนะการส่องสว่างต่อไป จากการทดสอบด้านการส่องสว่างพบว่าการประยุกต์ใช้ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงสามารถให้การส่องสว่างที่ดีกว่าและรวมถึงความคุ้มค่าที่ดีกว่าในหลายด้านอีกด้วย

คำสำคัญ: แอลอีดีกำลังสูง, วงจรขับแอลอีดี, การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง, การส่องสว่าง

### Abstract

This research presents a lighting design development using high power LED. Recently, high power LED has been widely used because of its higher lighting efficiency than the traditional lighting. In the first step, high power LED's advantages and potential affects on the environment were compared to traditional lamps. Lighting design using high power LED consisted of high power LED and LED driver circuit. The LED driver circuit with constant current control was designed for high efficiency. Furthermore, three power sources: voltage transformer, switching, and switching with power factor correction circuit were compared. The consideration was tested using THD, harmonic component, efficiency, etc. These circuits were then used to drive high power LED to test its lighting performance. As results, the high power LED yielded better illumination and more cost effective in many aspects.

Keywords: High power LED, LED driver, power factor correction, lighting.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้สนับสนุนโครงการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2551 นี้ และขอขอบคุณสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการทดสอบดวง โคม ทั้งนี้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก รศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านกรุณาให้คำปรึกษาและ คำแนะนำต่าง ๆ

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมชาติ มานพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
1. รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย	I
2. บทคัดย่อ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญเรื่อง	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1    บทนำ	1-1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-4
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1-5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-5
บทที่ 2    การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 หลอดไส้	2-1
2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์	2-2
2.3 หลอดแสงจันทร์	2-3
2.4 หลอดแอลอีดีกำลังสูง	2-4
2.5 การทดลองการใช้พลังงานเบื้องต้น	2-6
2.6 ทฤษฎีพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟ	2-7
2.7 มลพิษที่เกิดจากซากหลอดไฟ	2-12
2.8 คำนิยามด้านการส่องสว่าง	2-20
บทที่ 3    ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	3-1
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย	3-1
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	3-4
3.3 การออกแบบชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงและการทดสอบการส่องสว่างเบื้องต้น	3-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4	ผลการวิจัย	4-1
	4.1 การออกแบบวงจรขับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง	4-1
	4.2 การทดสอบปริมาณการส่องสว่าง	4-11
บทที่ 5	อภิปรายและวิจารณ์ผล	5-1
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	6-1

บรรณานุกรม

ประวัติผู้วิจัย

ภาคผนวก

ก. ผลการทดสอบดวงโคมโดยสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ข. เอกสารแสดงรายละเอียดของ IC ที่ใช้ในการทดสอบ

ค. เอกสารสำเนาการขอยื่นจดอนุสิทธิบัตร

ง. บทความวิจัยที่ยื่นเสนอสำหรับพิจารณาการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างหลอดแอลอีดีกับหลอดฟลูออเรสเซนต์	2-8
3.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3-5
4.1	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของดวงโคมแต่ละประเภท	4-14
6.1	เปรียบเทียบโดยรวมของหลอดไฟทั้ง 3 ชนิด	6-2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	สำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารแห่งหนึ่ง	1-2
1.2	แอลอีดีชนิดต่างๆ	1-3
1.3	ลักษณะโครงสร้างภายในและการกระจายแสงของแอลอีดี	1-3
1.4	การวางแอลอีดีในลักษณะระนาบเดียวกันที่ทำให้มีปัญหาในการกระจายแสง	1-4
2.1	หลอดไส้ที่มีใช้งานมาจนถึงปัจจุบัน	2-1
2.2	ตัวอย่างของโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรงตัวขวาง	2-2
2.3	ตัวอย่างของโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม	2-3
2.4	โครงสร้างของหลอดแสงจันทร์ รูปจริงของหลอดแสงจันทร์และโคมของหลอดแสงจันทร์ที่นิยมใช้บนท้องถนน	2-4
2.5	หลอดไฟแอลอีดี หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง Luxeon และหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงแบบแผ่น	2-5
2.6	ผลการทดลองเบื้องต้นการเปรียบเทียบรูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแสเมื่อโหลดเป็นหลอดไฟชนิดต่างๆ	2-6
2.7	รูปจริงของหลอดไฟแอลอีดีที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับการทดสอบในเบื้องต้น	2-7
2.8	บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณพัลส์แบบ PWM	2-9
2.9	บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณพัลส์แบบ PWM	2-9
2.10	บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมในโหมดกระแส	2-10
2.11	วงจรต่างๆแสดงในลักษณะของบล็อกไดอะแกรมที่จะใช้ในโครงการวิจัยนี้	2-12
2.12	หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ	2-14
2.13	สถานการณ์ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากการสำรวจในปี 2547	2-15
2.14	แผนภาพแนวทางการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์	2-16
2.15	หลุมฝังกลบแบบมั่นคง	2-17
2.16	ระบบรวบรวมน้ำชะซึม	2-17
2.17	ความสัมพันธ์ของหน่วยวัดแสงสว่างในรูปของฟุตแคนเดิลและลักซ์	2-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณี่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่		หน้า
2.18	ปริมาณแห่งการส่องสว่างหรือกำลังส่องสว่าง ซึ่งจะลดลงเมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงไปโดยจะแปรผันกับระยะทางยกกำลังสอง	2-22
2.19	การฉายแสงสว่างสีขาวเข้าไปในก้อนปริซึมซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์ของแสงสว่างสีต่างๆออกจากก้อนปริซึม	2-24
2.20	ความแตกต่างของความยาว-ค่าของชิ้นงานกับสิ่งที่อยู่รอบชิ้นงานซึ่งจะมีผลต่อการมองเห็น	2-25
2.21	(ก) รูปร่างและขนาดของชิ้นงานในลักษณะต่างๆกันซึ่งจะมีผลต่อการมองเห็น (ข) เวลาในการมองเห็นเมื่อเทียบกับปริมาณแห่งการส่องสว่าง	2-26
2.22	การลดลงของปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างเมื่อใช้งานไปเรื่อยๆ ของหลอดไส้ชนิดต่างๆ	2-28
2.23	กราฟแสดงอายุของการทำงานของหลอดไส้	2-29
3.1	เครื่องมือในการวัดปริมาณแสง (Lux Meter)	3-2
3.2	เครื่องมือในการวัดกระแส (Oscilloscope)	3-2
3.3	สายโพรบวัดกระแส	3-2
3.4	ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงติดตั้งพร้อมโคม	3-3
3.5	ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบขึ้นสำหรับไฟถนน 80 วัตต์ (โคมเต่า) และในลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์ฟิสิกส์ 36 วัตต์และ 18 วัตต์	3-3
3.6	แอลอีดีกำลังสูง Luxeon และ (ขวา) เมื่อนำมาประกอบเป็นชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่ใช้ในการทดลองครั้งแรก	3-6
3.7	ลักษณะการกระจายแสงของแอลอีดีกำลังสูง Luxeon ซึ่งมีลักษณะของการพุ่งตรง	3-6
3.8	แอลอีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็นที่ถูกเลือกนำมาใช้แทนแอลอีดีกำลังสูง Luxeon ซึ่งมีลักษณะของการกระจายแสงที่แผ่กว้างมากกว่า	3-7
3.9	มิติและวงจรรภายในซึ่งประกอบไปด้วยแอลอีดีกำลังสูงหลายตัว	3-7
3.10	ลักษณะการต่อวงจรของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงให้มีฟิสิกส์ 80 วัตต์	3-8
3.11	ลักษณะการต่อวงจรของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงให้มีฟิสิกส์ 36 วัตต์	3-9
3.12	ลักษณะการต่อวงจรของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงให้มีฟิสิกส์ 18 วัตต์	3-9
3.13	ลักษณะการจัดวางแอลอีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็นฟิสิกส์ 18 วัตต์	3-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่		หน้า
3.14	(ซ้าย) ชุดดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ขวา) ชุดดวงโคมหลอดแอลอีดีกำลังสูง Luxeon ชุดดวงโคมหลอดแอลอีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็น	3-10
4.1	วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงและวงจรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	4-2
4.2	สัญญาณแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง (บน) ผลการจำลองวงจรแบบรูปปิดและ (ล่าง) ผลการทดลองจริง	4-3
4.3	(2 รูปบน) รูปคลื่นกระแสของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อแหล่งจ่ายเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (2 รูปล่าง) สเปกตราแรงดันและกระแสของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง	4-4
4.4	สเปกตราแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตชิงซึ่งจ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง (2 รูปบน) พิกัด 18 วัตต์ มีค่า THDv=1.54%, THDi=169.05% และ $\eta$ = 61.94% (2 รูปล่าง) พิกัด 36 วัตต์ มีค่า THDv=1.95%, THDi=155.54% และ $\eta$ = 62.37%	4-5
4.5	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของแหล่งจ่ายไฟเมื่อจ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์ (บน) เมื่อแหล่งจ่ายเป็นแบบสวิตชิงและ (ล่าง) มีวงจรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมอยู่ด้วย	4-6
4.6	สเปกตราแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตชิงที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังซึ่งจ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง (2 รูปบน) พิกัด 18 วัตต์มีค่า THDv=1.97%, THDi=11.89% และ $\eta$ = 63.14% และ (2 รูปล่าง) พิกัด 36 วัตต์ มีค่า THDv=1.89%, THDi=8.48% และ $\eta$ = 63.65%	4-7
4.7	วงจรขับพร้อมด้วยวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกแบบขึ้น	4-8
4.8	การทดลองวงจรขับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงในห้องปฏิบัติการ	4-8
4.9	การทดลองการส่องสว่างก่อนนำไปติดตั้งกับเสาสำหรับการทดสอบต่อไป	4-9
4.10	เปรียบเทียบการกระจายแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง Luxeon และชุดดวงโคมหลอดแอลอีดีกำลังสูงชนิด	4-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารขาวเย็นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.11	บล็อกไดโอดแอมพลิฟายเออร์ใช้งานของโคมไฟส่องสว่างที่ประดิษฐ์จาก หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง 4-10
4.12	สัญญาณกระแสเอาต์พุตและแรงดันตกคร่อม MOSFET (ซ้าย) ที่ พิกัดโหลด 18 วัตต์ และ (ขวา) เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นเป็น 24 วัตต์ 4-11
4.13	ลักษณะการกระจายของ (บน) หลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์ (กลาง) ชุด หลอดแอลอีดีกำลังสูง 80 วัตต์ และ (ล่าง) ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง 36 วัตต์ 4-12
4.14	ลักษณะการกระจายของ (บน) หลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์ (ล่าง) ชุด หลอดแอลอีดีกำลังสูง 80 วัตต์ และชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง 36 วัตต์ 4-13
4.15	ชุดหลอดไฟส่องสว่างที่ประดิษฐ์ขึ้น 4-14
5.1	การเปลี่ยนหลอดไฟในอาคารสูงซึ่งต้องใช้นั่งร้านตามกฎระเบียบความ ปลอดภัย 5-3
5.2	(บน) ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมหลอดแสงจันทร์ 80 W และ (ล่าง) ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมแอลอีดีกำลังสูง 80 W 5-4
5.3	การเปรียบเทียบการใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดแสงจันทร์และหลอด แอลอีดีกำลังสูง 5-4

# บทที่ 1

## บทนำ

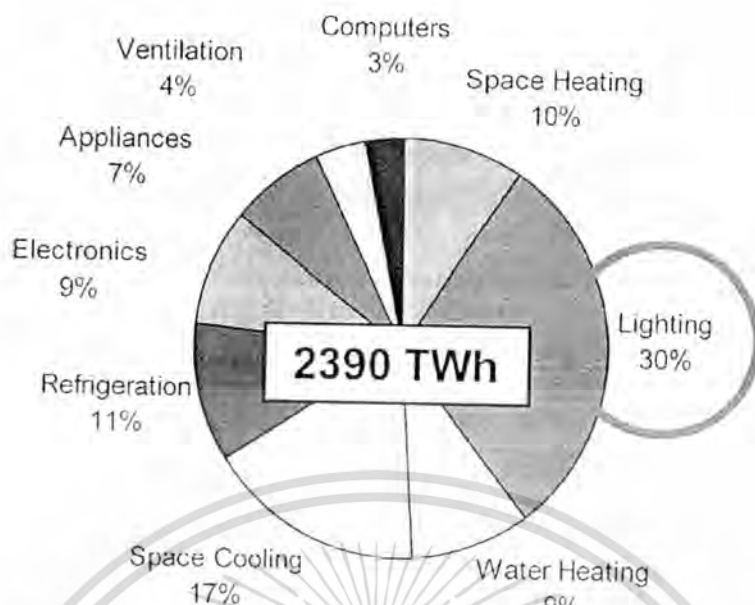
โครงการ การศึกษาสมรรถนะการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง นี้ เพื่อต้องการชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการนำหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงมาประยุกต์ใช้สำหรับการส่องสว่าง ทั้งนี้ การปรับปรุงระบบการส่องสว่างจะถือว่าเป็นประโยชน์และมีความคุ้มค่าเป็นอย่างมาก เนื่องจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่เดิมมักจะมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ ในบทแรกนี้จึงได้ชี้ให้เห็นถึง ความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากการสำรวจการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของอาคารหลังหนึ่งพบว่า ด้านการส่องสว่าง (Lighting) จะใช้พลังงานสูงสุดถึง 30% ของการบริโภคพลังงานทั้งหมด [1-3] แสดงในรูปที่ 1.1 ดังนั้นหากมีการบริหารจัดการพลังงานด้านการส่องสว่างที่ดีจะสามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้เป็นอย่างมาก ในหลายประเทศกำลังให้ความสนใจทางด้านการปรับเปลี่ยนรูปแบบการส่องสว่างจากเดิมที่ใช้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น จากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ซึ่งขดลวดจะร้อนแดงและเปล่งแสงออกมา หลักการดังกล่าวนี้เป็นการทำงานของหลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) ทั้งนี้ หลอดดังกล่าวนี้จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำมาก อย่างไรก็ตามความนิยมในการใช้หลอดไส้ก็ยังมีอยู่มากเช่นกัน เนื่องจากการติดตั้งทำได้ง่ายและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) หลอดแสงจันทร์ (High pressure mercury lamp) หรือหลอดโซเดียม พร้อมทั้งการปรับเปลี่ยนกำลังของหลอดก็ยังสามารถทำได้ง่ายอีกด้วย

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีหลักการทำงานคือ ก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดฟลูออเรสเซนต์จะแตกตัวออกเป็นไอออน (Ion) เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่แคโทดที่ปลายทั้งสองของหลอดมีค่าสูงพอ สถานะนี้ทำให้ความต้านทานทางไฟฟ้าของหลอดแก้วมีค่าตกลงทันที กระแสจะไหลผ่านและกระทบไอปรอท (Mercury vapor) ที่ถูกบรรจุอยู่ใน ไอปรอทนี้จะปล่อยรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกมาและวิ่งไปทั่วทั้งหลอด และเมื่อกระทบกับสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่ที่ผิวในของหลอดก็จะทำให้หลอดสว่างขึ้น หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีประมาณ 72 ลูเมนต่อวัตต์ เมื่อเทียบกับหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 17.5 ลูเมนต่อวัตต์ นอกจากนี้อายุการใช้งานของหลอดก็นานถึง 20,000 ชั่วโมง โดยหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์นั้นจะมีอายุการใช้งานเพียง 750 ชั่วโมง ความจำของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็ต่ำกว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำงานก็น้อยกว่า [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 สํารวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารแห่งหนึ่ง  
(แหล่งที่มา : <http://buildingsdatabook.eren.doc.gov>)

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการออกแบบการส่องสว่างได้มีการแข่งขันกันอย่างแพร่หลายเพื่อให้เกิดการใช้งานอย่างคุ้มค่า เทคโนโลยีไดโอดเรืองแสง (Light-emitting diodes, LED) หรือแอลอีดี เป็นสิ่งประดิษฐ์หนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะแอลอีดีกำลังสูง (High power LED) ที่มีความสามารถเทียบเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟชนิดอื่น ได้แก่ ทิศทางประสิทธิภาพ ฟลักซ์ส่องสว่าง และยังมีข้อดีก็คือไม่ก่อให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความร้อนของลำแสงน้อยมาก และยังมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่นๆ รูปที่ 1.2 แสดงแอลอีดีชนิดต่างๆ ทั้งนี้แล้วได้มีการนำเอาแอลอีดีมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในวงการแพทย์ ยานยนต์ โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์ ซึ่งแอลอีดีกำลังสูงนั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่จะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี ในต่างประเทศนิยมนำเอาแอลอีดีกำลังสูงมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงาน นอกจากนี้แอลอีดียังมีสีสรรที่สวยงามสมจริงกว่า ในยุคปัจจุบันแอลอีดีได้ถูกพัฒนามาจนมีพิภคที่สูงขึ้นกว่าในอดีตมาก โดยแอลอีดี Luxeon K2 เป็นนวัตกรรมใหม่ล่าสุดของบริษัทฟิลลิป (Philips) ซึ่งมีข้อดีดังต่อไปนี้ [5]

- ก) ฟลักซ์ส่องสว่างมากกว่า 140 ลูเมนส์ ที่อุณหภูมิ 6500 เคลวิน
- ข) รับกระแสได้สูงถึง 1.5 แอมแปร์
- ค) มีค่าความต้านทานจากความร้อนต่ำสุดเพียง 9 °เซลเซียสต่อวัตต์

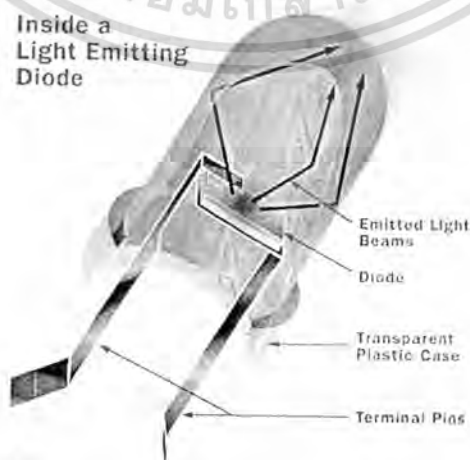
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แอลอีดีชนิดต่างๆ

(แหล่งที่มา : <http://www.vcharkarn.com>)

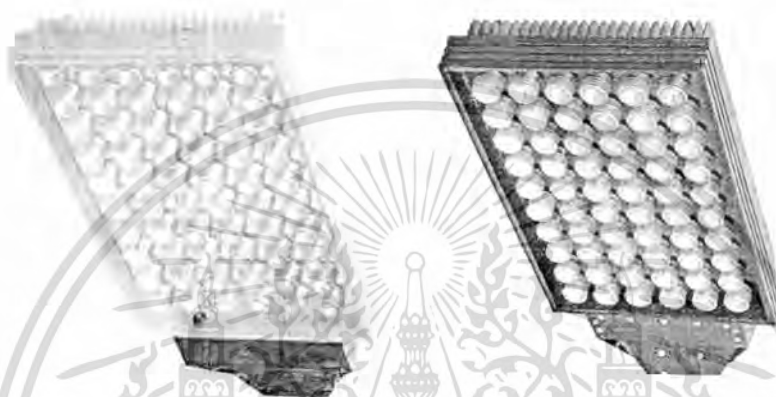
จากที่กล่าวมาทำให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำแอลอีดีกำลังสูงมาต่อรวมกันแล้วทำเป็นชุดหลอดไฟ สำหรับการส่องสว่างแทนหลอดไฟชนิดต่างๆ ที่มีอยู่เดิม จากการสืบค้นงานวิจัยในต่างประเทศก็พบว่า นักวิจัยหลายท่านก็ได้ทำการวิจัยในเชิงการใช้ประโยชน์จากแอลอีดีกำลังสูงในด้านการส่องสว่างและอื่นๆ เนื่องจากแอลอีดียังคงสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกมาก ด้วยเหตุนั้นนักวิจัยในประเทศไทยควรให้ความสนใจในการทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแอลอีดีกำลังสูง เพื่อพัฒนาแอลอีดีกำลังสูงและนำมาใช้สำหรับการส่องสว่างแทนหลอดไฟที่มีอยู่เดิม โดยการพัฒนาให้ชุดขับมีพิกัดกำลังที่สูงตามไปด้วย เพื่อการจ่ายพลังงานให้กับแอลอีดีที่มีประสิทธิภาพ และยังรวมถึงการออกแบบการจัดวางตำแหน่งของแอลอีดีที่ได้ให้การกระจายแสงที่ต้องการ ซึ่งการกระจายแสงของแอลอีดีจะมีลักษณะพุ่งไปข้างหน้าแสดงดังรูปที่ 1.3 ทำให้ลักษณะการจัดวางแอลอีดีตามที่ได้มีการจำหน่ายในตลาดทั้งต่างประเทศยังเป็นในลักษณะระนาบเดียวกันแสดงดังรูปที่ 1.4 ทั้งนี้เป็นการผลิตเพื่อการประดับให้เกิดสวยงามมากกว่านำมาแทนหลอดไฟที่ใช้งานอยู่ภายในบ้าน ซึ่งแอลอีดียุคก่อนยังให้แสงที่น้อยมากไม่สามารถนำมาแข่งขันกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เหมือนกับแอลอีดีกำลังสูงในปัจจุบันได้



รูปที่ 1.3 ลักษณะ โครงสร้างภายในและการกระจายแสงของแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ <http://images.google.co.th> การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แล้ว โครงการวิจัยนี้ยังเป็นการเตรียมความพร้อม เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงนวัตกรรมเกี่ยวกับการส่องสว่างที่จะมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ทั้งนี้หากบุคลากรในประเทศได้มีความเข้าใจจะทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่จำเป็น และไม่จำเป็นต้องนำเข้าทั้งหมด สามารถที่จะผลิตบางส่วนขึ้นได้ซึ่งเป็นการประหยัดเงินตราต่างประเทศ



รูปที่ 1.4 การวางแอลอีดีในลักษณะระนาบเดียวกันที่ทำให้มีปัญหาในการกระจายแสง  
(แหล่งข้อมูล : <http://neonlamp.en.cc21.com>)

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง ทำให้นำมาสร้างเป็นชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรสตาร์ทระดับแรงดันในโหมดควบคุมกระแส ทั้งการควบคุมแบบเปิดและการควบคุมแบบปิด สำหรับการนำมาเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับแอลอีดีกำลังสูง

1.2.3 เพื่อศึกษาการออกแบบการจัดวางตำแหน่งของแอลอีดีกำลังสูง รวมทั้งการออกแบบตามลักษณะดวงโคมชนิดกระจายแสงลงสำหรับการกระจายแสงที่ต้องการ

1.2.4 เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า อนุรักษ์พลังงาน รักษาสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยลดภาวะโลกร้อน โดยเป็นเทคโนโลยีแบบพึ่งตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากกระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ให้กับหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้แหล่งจ่ายไฟดังกล่าวจะเป็นวงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck converter) ที่เป็นการลดทอนระดับแรงดันในโหมดควบคุมกระแส ทั้งการควบคุมแบบเปิดและการควบคุมแบบปิด การศึกษาดังกล่าวนี้จะพิจารณาถึงประสิทธิภาพของวงจรแต่ละชนิดที่ก่อให้เกิดค่าการสูญเสียที่ต่ำ รวมถึงความคุ้มค่าในการลงทุนด้วย

1.3.2 ได้ลักษณะการจัดวางตำแหน่งของแอลอีดีกำลังสูง ที่สามารถทำให้แสงกระจายออกไปได้ตามที่ต้องการ รวมทั้งการออกแบบตามลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมชนิดกระจายแสงลง แสงส่วนใหญ่จากดวงโคมประเภทนี้ประมาณ 90% ขึ้นไปจะกระจายลงสู่เบื้องล่าง ซึ่งมีข้อดีคือสามารถควบคุมทิศทางของลำแสงให้ไปตกบนพื้นที่ที่ต้องการได้ง่าย

1.3.3 ศึกษาเชิงเปรียบเทียบหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้สร้างขึ้นกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ และ 36 วัตต์ ได้แก่ การเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงาน ประสิทธิภาพของหลอดไฟ ความคุ้มค่าในด้านราคา และความเสื่อมของหลอดไฟ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของหลอดไฟจะหมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงสว่างที่หลอดไฟนั้นเปล่งแสงออกมากับปริมาณไฟฟ้าที่จ่ายให้ไปมีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (Lumen/watt) ส่วนความคุ้มค่าทางด้านราคาจะทำการพิจารณาจากอายุการใช้งาน ซึ่งหมายถึงอายุการใช้งานเฉลี่ยเมื่อนำหลอดไฟจำนวนมากมาทำการทดลอง โดยการเปิดและปิดทุกๆ 5 ชั่วโมง หรือ 10 ชั่วโมง หรือแล้วแต่ตามที่กำหนด อายุการใช้งานของหลอดก็คือจำนวนชั่วโมงที่หลอดจำนวนครั้งหนึ่งยังคงทำงานอยู่ และในส่วนของความเสื่อมของหลอดไฟจะพิจารณาในรูปของความเหลืออยู่ของปริมาณแสง ว่ามีเหลืออยู่กี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแสงตอนเริ่มต้น

1.3.4 ศึกษาเชิงเปรียบเทียบ เช่นเดียวกับข้อ 1.3.3 กับเป็นหลอดแสงจันทร์ขนาด 80 วัตต์ซึ่งเป็นหลอดแสงสว่างที่ใช้งานอยู่ตามท้องถนนเป็นจำนวนมาก

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชุดส่องสว่างที่ประดิษฐ์ขึ้นจากหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งภายในมีวงจรเพิ่มเติมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทำให้เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างคุ้มค่า และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม สิ่งประดิษฐ์ด้านการส่องสว่างนี้จะได้ถูกพิจารณา นำมาใช้สำหรับการส่องสว่างแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดแสงจันทร์ รวมทั้งหลอดไฟชนิดอื่นๆ ตามความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การส่องสว่างภายนอกอาคาร โฟลน และอื่นๆ ทั้งนี้ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการวิจัยนี้คือ สามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายโดยรวมที่สำคัญได้แก่ อายุการใช้งานที่ยาวนานของหลอดไฟแอลอีดี การลดจำนวนเสาสูงที่มีราคาแพงสำหรับการติดตั้ง ค่าการบำรุงรักษาที่น้อยกว่า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการพัฒนาโครงการวิจัยนี้ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ข้อมูลที่มีความสำคัญได้แก่ ข้อมูลทางด้านของหลอดไฟ และข้อมูลทางด้านเทคนิคสำหรับการทำงานที่มีประสิทธิภาพของหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งข้อมูลที่สำคัญของหลอดไฟ เช่น ข้อมูลของหลอดไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดแสงจันทร์ เป็นต้น สำหรับข้อมูลด้านเทคนิคการควบคุมจะหมายถึงการเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ทั้งนี้การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องนี้จะเป็นการรวบรวมข้อมูลจากผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในแหล่งต่างๆ ประกอบด้วย วารสารวิชาการ การประชุมและสัมมนาวิชาการ เอกสารประกอบการอบรมวิชาการ วิทยานิพนธ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ [6-7]

#### 2.1 หลอดไส้ (Incandescent lamp)

การผลิตในครั้งแรกของหลอดไฟนั้น แสงสว่างจะได้จากกระแสไฟฟ้าที่วิ่งผ่านเส้นลวดขนาดเล็กมาก ทำให้เส้นลวดร้อนแดงและเปล่งแสงออกมา ซึ่งมีชื่อเรียกว่าหลอดไส้แสดงในรูปที่ 2.1 วิธีนี้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่สูญเสียไปในรูปของความร้อน มากกว่าจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานแสง โดยทั่วไปหลอดไส้สามารถให้แสงสว่างได้ประมาณ 15-20 ลูเมน/วัตต์ และมีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามความนิยมในการใช้หลอดไส้ยังมีอยู่มาก เนื่องจากการติดตั้งหลอดทำได้ง่ายและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ [7]



รูปที่ 2.1 หลอดไส้ที่มีใช้งานมาจนถึงปัจจุบัน

(แหล่งที่มา : [www.pinonlines.com/files/images/0135.jpg](http://www.pinonlines.com/files/images/0135.jpg))

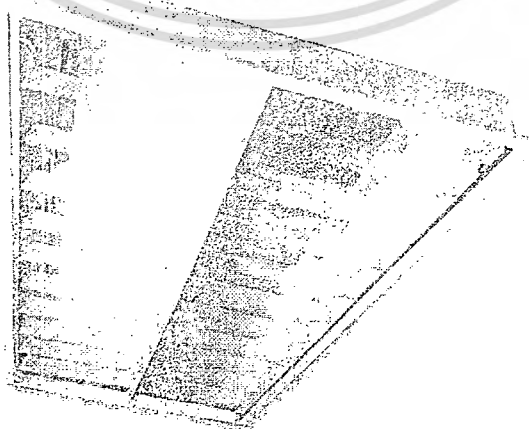
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp)

ในปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกนำมาใช้งานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีข้อดีหลายประการที่สำคัญคือให้ฟลักซ์การส่องสว่างสูงกว่าหลอดไฟฟ้าประเภทอื่น ทั้งนี้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาศัยพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ไอปรอทที่บรรจุไว้ในก๊าซเฉื่อย เช่น พวกก๊าซอาร์กอน คริปทอน หรือ นีออน ที่ความดันต่ำ ได้รับการกระตุ้นจากแหล่งปลดปล่อยพลังงาน (Discharge Source) ให้ไอปรอทปลดปล่อยพลังงานออกมา แสงอัลตราไวโอเล็ตที่เปล่งออกมานี้จะกระทบเข้ากับผิวในหลอดแก้วที่ฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงที่เรียกว่าฟอสฟอรัส (Phosphor) หรือ Fluorescent Material ตัวสารเรืองแสงนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ให้กลายมาเป็นแสงสว่างที่ปรากฏแก่สายตาของมนุษย์

สำหรับการออกแบบดวงโคมหรือโคมไฟฟ้า จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบแสงสว่าง โดยจะทำหน้าที่ในการกระจายแสงหรือสะท้อนแสงให้ไปในทิศทางที่ต้องการ ส่วนประกอบของโคมไฟฟ้าจะประกอบด้วยวัสดุที่สำคัญ 2 ชนิด คือ เหล็กและอลูมิเนียม โดยเหล็กจะใช้ทำส่วนประกอบที่ต้องการความแข็งแรงให้กับโคมและอาจใช้ในการช่วยสะท้อนแสงได้ด้วยการเคลือบสีขาว แต่ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงจะน้อยกว่าอลูมิเนียม ส่วนอลูมิเนียมนั้นส่วนใหญ่จะใช้ในการทำหน้าที่สะท้อนแสง ตัวอย่างของโคมไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในการวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่างกรณีเป็นโคมไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ในเบื้องต้นดังต่อไปนี้ [8]

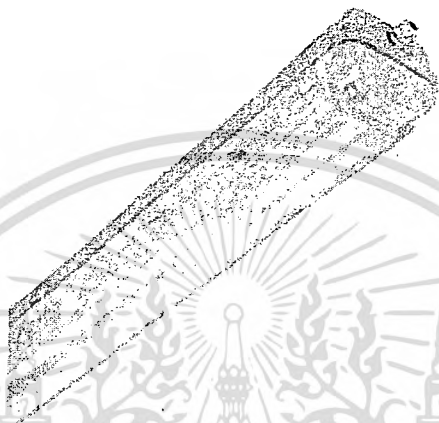
โคมแบบตะแกรงตัวขวาง (Louver luminaires) โคมฟลูออเรสเซนต์ชนิดนี้จะมีแผ่นสะท้อนแสงที่ด้านหลังและด้านข้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อสะท้อนแสงไปในทิศทางที่ต้องการ และจะมีตัวขวางที่ส่วนใหญ่ทำจากอลูมิเนียมดังแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งตัวขวางของโคมทำหน้าที่หักเหแสงและจัดมุมภาพของหลอดเพื่อลดแสงบาดตา



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรงตัวขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (แหล่งที่มา : [www.thaienergysaving.com](http://www.thaienergysaving.com))  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคมฟลูออเรสเซนต์โรงงาน (Industrial luminaires) เป็นโคมฟลูออเรสเซนต์ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงสำหรับกำหนดทิศทางของแสงให้ไปในทิศทางที่ต้องการ โดยโคมฟลูออเรสเซนต์ชนิดนี้จะไม่มิตัวครอบดังแสดงดังรูปที่ 2.3 ทำให้แสงที่ได้มีความสว่างสูง หรือก็คือเป็นโคมชนิดกระจายแสงลง

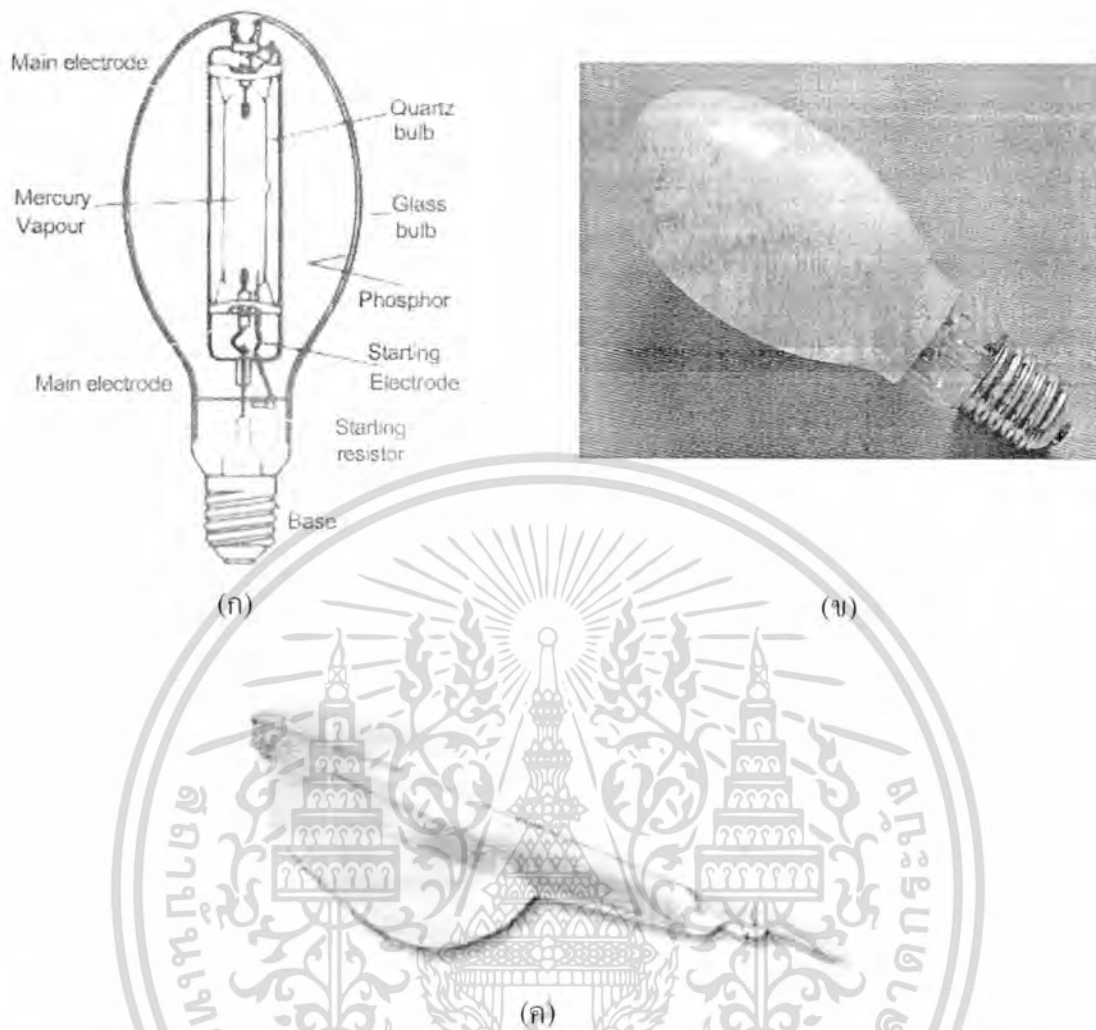


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม  
(แหล่งที่มา : [www.lighting.philips.co.th](http://www.lighting.philips.co.th))

### 2.3 หลอดแสงจันทร์ (Mercury lamp)

เป็นหลอดไฟฟ้าที่ทำงานด้วยหลักการปล่อยประจุความเข้มสูง (High intensity discharge, HID) มีปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างต่อวัตต์สูงกว่าหลอดชนิดอื่นๆ ส่องสว่างได้ไกล นิยมใช้ตามถนน เหมาะกับงานสนามและโรงงานอุตสาหกรรม โดยมักจะนิยมติดตั้งควบคู่กับดวงโคมเสมอ โครงสร้างและรูปของหลอดแสงจันทร์แสดงในรูปที่ 2.4

หลอดแสงจันทร์ 40 วัตต์จะให้แสงสว่างประมาณ 1,600-2,400 ลูเมน มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 24,000 ชั่วโมง หลอดแสงจันทร์มีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดที่ใช้บัลลาสต์กับชนิดที่ไม่ใช้บัลลาสต์ ชนิดที่ไม่ใช้บัลลาสต์จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า เมื่อเริ่มทำงานก๊าซที่อยู่ในหลอดจะเกิดการแตกตัวโดยใช้เวลาประมาณ 10-15 นาทีแล้วแต่ชนิดของหลอด หลอดจะค่อยๆ เริ่มเปล่งแสงสว่างออกมา เมื่อหลอดดับแล้วต้องการให้หลอดติดใหม่ต้องรอให้หลอดเย็นตัวก่อน



รูปที่ 2.4 (ก) โครงสร้างของหลอดแสงจันทร์ (ข) รูปจริงของหลอดแสงจันทร์ และ (ค) โคมของหลอดแสงจันทร์ที่นิยมใช้บนท้องถนน  
 (แหล่งที่มา : <http://srayaisom.dyndns.org/nectec/electrical/light/mercury/mercury.html>)

**2.4 หลอดแอลอีดีกำลังสูง**

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการออกแบบการส่องสว่าง ได้มีการแข่งขันกันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้เกิดการใช้งานอย่างคุ้มค่า เทคโนโลยีไดโอดเรืองแสง (Light-emitting diodes, LED) หรือแอลอีดี เป็นสิ่งประดิษฐ์หนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะแอลอีดีกำลังสูง (High power LED) ที่มีค่าความส่องสว่างสูงเทียบเท่าหลอดไฟชนิดอื่น ได้แก่ทางด้านประสิทธิภาพ ฟลักซ์ส่องสว่าง และยังมีข้อดีกว่าคือ ไม่ก่อให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความร้อนของลำแสงน้อยมาก และยังมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่นๆ ในปัจจุบันได้มีการนำแอลอีดีมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในวงการแพทย์ ยานยนต์ โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์ ซึ่งแอลอีดีกำลังสูงนั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี ในต่างประเทศนิยมนำเอาแอลอีดีกำลังสูงมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการส่องสว่าง นอกจากนี้แอลอีดียังมีสีส้มที่สวยงามสมจริงกว่า ในยุคปัจจุบันแอลอีดีได้ถูกพัฒนา มาจนมีพิคที่สูงชันกว่าในอดีตมาก จึงมีชื่อเรียกเป็นแอลอีดีกำลังสูง ทั้งนี้การเปล่งแสงของหลอดแอลอีดี เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากชิปกึ่งตัวนำ ซึ่งจะให้แสงสีที่แตกต่างกันไปตามวัสดุที่ใช้ทำชิป โดยทั่วไปมักเป็นสารประกอบของธาตุแกลเลียม อาร์เซนิก และฟอสฟอรัส การนำแอลอีดีมาทำ หลอดไฟนั้น จำเป็นต้องมีกรรมวิธีสร้างแสงสีขาวซึ่งอาจจะใช้วิธีรวมแสงจากหลอดแอลอีดีหลายๆดวง เข้าด้วยกัน หรือการใช้ฟอสฟอรัสภายในเลนส์รวมแสงอีพ็อกซี่ ซึ่งจะทำให้เกิดแสงสีขาวนวล ใน ปัจจุบันหลอดแอลอีดีมีแนวโน้มว่าจะถูกนำมาใช้แทนหลอดไฟที่มีใช้งานอยู่เนื่องจากข้อได้เปรียบด้าน อายุการใช้งานที่ยาวนาน

ถึงแม้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะให้แสงสีที่ขาวนวลตา ความจ้าต่ำกว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำงานก็น้อยกว่า และเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า หลอดไฟที่มีใช้งานอยู่ก่อน โดยมีประมาณ 72 ลูเมนต่อวัตต์ เมื่อเทียบกับหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ซึ่งมี ประสิทธิภาพเพียง 17.5 ลูเมนต่อวัตต์ นอกจากนี้อายุการใช้งานของหลอดก็นานถึง 20,000 ชั่วโมง โดย หลอดไส้ขนาด 100 วัตต์นั้นจะมีอายุการใช้งานเพียง 750 ชั่วโมง หลอดแสงจันทร์ซึ่งเป็นหลอดประเภท HID มีอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอดแอลอีดีกำลังสูงมีอายุการใช้งานมากกว่า 100,000 ชั่วโมง ด้วยกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นกว่าแบบเดิม รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งแอลอีดี แบบแผ่นบางถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบส่องสว่าง ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีคุณลักษณะของการ กระจายแสงที่ดีกว่า



(ก)



(ข)



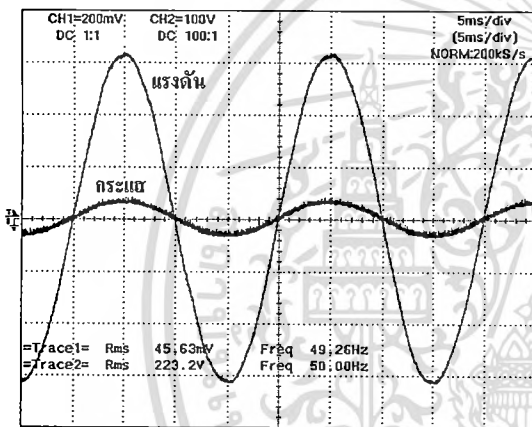
(ค)

รูปที่ 2.5 (ก) หลอดไฟแอลอีดี (ข) หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง Luxeon และ (ค) หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง แบบแผ่น

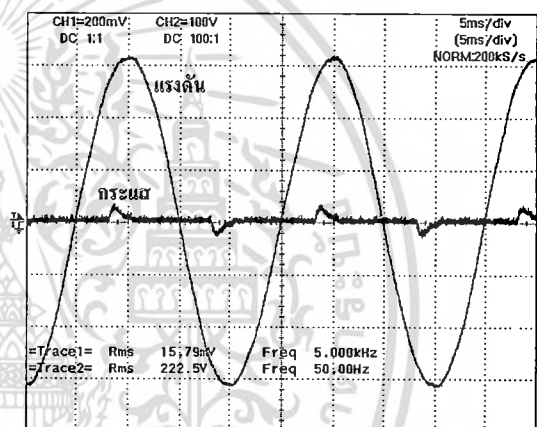
เอกสารนี้เป็น (แหล่งที่มา : <http://www.hero-ledstore.com>) วิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การทดลองการใช้พลังงานเบื้องต้น

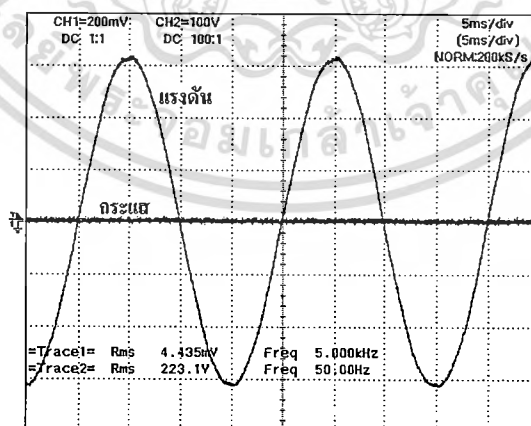
รูปที่ 2.6 ได้เปรียบเทียบให้เห็นถึงรูปคลื่นของแรงดันและกระแสเมื่อโหลดเป็นหลอดไส้ หลอดตะเกียบ (หลอดประหยัดพลังงาน) และหลอดไฟแอลอีดีที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น (ได้รับการจดอนุสิทธิบัตรแล้ว) ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของผู้เสนอขอโครงการวิจัยนี้ จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณกระแสของหลอดไฟแอลอีดีจะใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งน้อยกว่าหลอดประหยัดพลังงานที่มีขายกันอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดอีกด้วย อย่างไรก็ตามการทดลองศึกษาค่าพลังงานของหลอดไฟดังกล่าวนี้ไม่ได้ควบคุมความเข้มของแสงให้มีค่าที่เท่ากัน รูปที่ 2.7 แสดงรูปจริงของหลอดไฟแอลอีดีที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นในครั้งแรก



(ก) หลอดไส้



(ข) หลอดประหยัดพลังงาน (หลอดตะเกียบ)



(ค) หลอดไฟแอลอีดี

รูปที่ 2.6 ผลการทดลองเบื้องต้นการเปรียบเทียบรูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแสเมื่อโหลดเป็นหลอดไฟชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 รูปจริงของหลอดไฟแอลอีดีที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

## 2.6 ทฤษฎีพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟ

ในระยะแรกหลอดแอลอีดียังไม่ได้มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายเหมือนในปัจจุบัน แต่ในระยะหลังที่แอลอีดีได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นแอลอีดีกำลังสูง โดยมีความสามารถเทียบเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจน ทั้งด้านประสิทธิภาพที่ดีขึ้น พลังค์ส่องสว่าง เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการนำเอาแอลอีดีกำลังสูงมาใช้งานมากขึ้น เช่นทางด้านการแพทย์ได้นำแอลอีดีกำลังสูงมาใช้ส่องสำหรับการผ่าตัด ยานยนต์ได้นำแอลอีดีกำลังสูงมาใช้เพื่อความสว่างที่มากกว่าและมีความสวยงาม ทางด้านการตกแต่งภายนอกและภายในอาคารเพื่อเพิ่มความสวยงามแต่ประหยัด และนำมาใช้ทำป้ายโฆษณาและอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้แอลอีดีกำลังสูงมาแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำหรับการส่องสว่างในอาคารบ้านเรือนและหลอดแสงจันทร์สำหรับการส่องสว่างบนท้องถนน (หลอดฮาโลเจน เป็นหลอดไฟขนาดเล็กใช้ส่องเครื่องประดับในตู้โชว์) ทั้งนี้แอลอีดีกำลังสูงนี้เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่จะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การใช้หลอดแอลอีดียังสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายในเรื่องการบำรุงรักษาอันเนื่องจากอายุการใช้งานที่ยืนยาวกว่าเมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ [9] ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างหลอดแอลอีดีกำลังสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างหลอดแอลอีดีกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

	หลอดแอลอีดี	หลอดฟลูออเรสเซนต์
อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	70,000-100,000	5,000-20,000
รังสีอินฟราเรด (ความร้อน)	ไม่มี	มี
รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV)	ไม่มี	มี
การหรี่แสง	ง่าย	ยาก
ประสิทธิภาพในการปล่อยแสง	สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง	ต่ำลงเมื่ออุณหภูมิลดลง
โครงสร้าง	ซิลิโคน+พลาสติก ไม่มีส่วนที่แตกหักได้	แก้ว สามารถแตกหักได้
ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	ไม่มีสารพิษเป็นองค์ประกอบ	มีสารปรอทบรรจุในหลอด
ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่าง (ลูเมนต่อวัตต์)	85 (ยังสามารถเพิ่มได้)	50-90 (ไม่สามารถเพิ่มได้มากกว่านี้)

(แหล่งที่มา : <http://www.epcled.com/catalog/Articles/epc-01.pdf>)

คุณสมบัติของหลอดแอลอีดีกำลังสูง

- ก) มีฟลักซ์ส่องสว่างสูงกว่าแอลอีดีทั่วไป
- ข) มีอายุการใช้งานที่ยาวนานประมาณ 11.4 ปี โดยใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง
- ค) มีประสิทธิภาพของพลังงานมากกว่าหลอดไส้ และหลอดฮาโลเจน
- ง) ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่ำสำหรับการทำงาน
- จ) ถ้าแสงที่ออกจากแอลอีดีกำลังสูงจะเย็นไม่ร้อนเหมือนกับหลอดไส้และหลอดฮาโลเจน
- ฉ) ไม่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ต
- ช) มีให้เลือกใช้หลายสี เช่น ขาว แดง เขียว น้ำเงิน อัมพัน เป็นต้น

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าแอลอีดีกำลังสูงโดยเฉพาะถ้าเป็นแอลอีดีรุ่น Luxeon K2 ที่สามารถรับกระแสได้สูงถึง 1.5 แอมแปร์ ทำให้การใช้งานแอลอีดีรุ่นนี้จึงต้องมีชุดขับที่มีพิกัดกำลังที่สูงและมีประสิทธิภาพตามไปด้วย ในโครงการวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาค้นหาวิธีการออกแบบวงจรควบคุมการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับแอลอีดีที่มีประสิทธิภาพโดยการควบคุมให้ได้กระแสขาออกตามที่ต้องการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมการสวิทช์ (Switch control signal) ฉะนั้นการจะบังคับกระแสขาออกให้ได้ตามที่ต้องการนั้น จะต้องมีการส่งสัญญาณกระแสที่จ่ายให้กับแอลอีดีกำลังสูงกลับมาบังคับสัญญาณควบคุมการสวิทช์นั่นเอง

ในโครงการวิจัยนี้จะได้มีการทดลองควบคุมกระแสขาออกให้มีค่าคงที่ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีวิธีการควบคุมอยู่ 2 แบบด้วยกันดังต่อไปนี้ [5,10] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก) การควบคุมวงจรมอเตอร์แบบเปิด

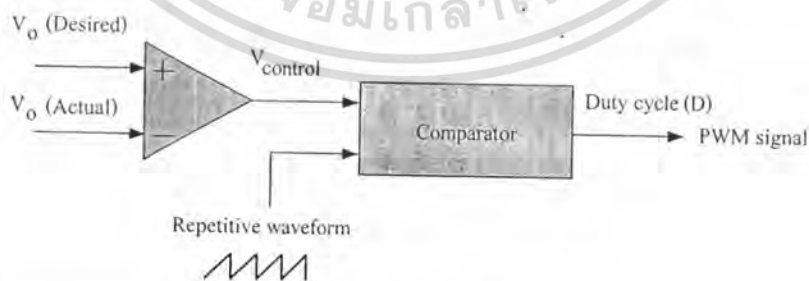
การควบคุมแบบเปิดเป็นการควบคุมที่ไม่มี การนำสัญญาณทางด้านเอาต์พุตหรือสัญญาณที่ต้องการ กลับมาเป็นอินพุตของส่วนควบคุม ดังนั้น ระบบการควบคุมวงจรมอเตอร์แบบเปิดนี้จะมีข้อดีคือ สามารถ ออกแบบวงจรควบคุมได้ง่าย ง่ายในการสร้างและออกแบบ แต่จะมีข้อด้อยในเรื่องของเสถียรภาพในการทำงานต่ำ ผลตอบสนองของวงจรมอเตอร์เมื่อการะมีการเปลี่ยนแปลง และไม่เหมาะสมสำหรับการนำไป ประยุกต์ใช้ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวน เป็นต้น โดยทั่วไปในการควบคุมจะอาศัยหลักการ สวิตซ์แบบปรับความกว้างของพัลส์หรือ PWM (Pulse width modulation) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9 โดยค่าของ  $D$  (Duty ratio) ขึ้นอยู่กับค่าของ  $V_c$  (สัญญาณควบคุม) กับ  $V_{st}$  (สัญญาณพาหะ)

$$D = \frac{V_c}{V_{st}}$$

(2.1)



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณพัลส์แบบ PWM

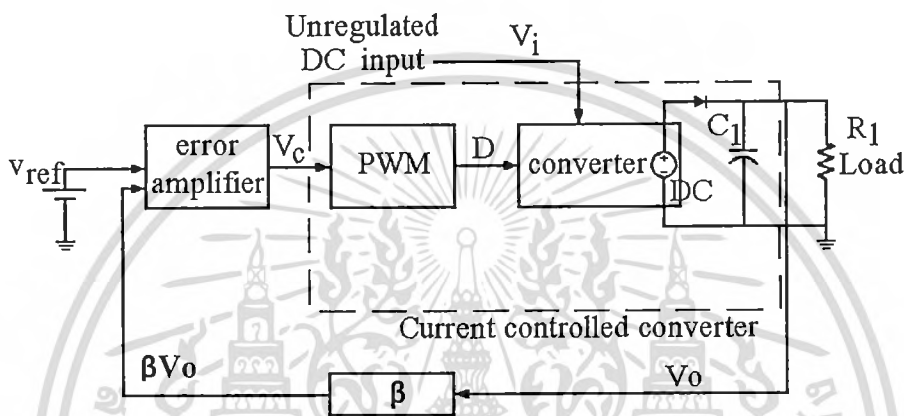


รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณพัลส์แบบ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข) การควบคุมวงจรแบบปิด

จากหัวข้อที่แล้วการควบคุมแบบเปิดนั้นจะมีข้อดีหลายด้าน ดังนั้น ถ้าเปลี่ยนการควบคุมแบบเปิดเป็นการควบคุมแบบปิดจะส่งผลให้เสถียรภาพของระบบโดยรวมดีขึ้น มีผลตอบสนองเร็วขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของภาระ เป็นต้น โดยการควบคุมวงจรแบบปิดนี้จะมีการป้อนกลับของสัญญาณ (Feedback control) เพื่อการตรวจสอบแรงดันหรือกระแสขาออกที่ออกมาให้ได้ตามที่ต้องการ ในการสร้างสัญญาณควบคุมจะใช้วิธีการสวิตช์แบบ PWM ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมในโหมดกระแส

จากรูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมในโหมดกระแส โดยทั่วไปในการควบคุมในโหมดกระแสจะมี 2 โหมด คือ โหมดกระแสต่อเนื่องและกระแสไม่ต่อเนื่อง แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การควบคุมในโหมดกระแสต่อเนื่อง เนื่องจากแอลดีทำงานด้วยกระแส โดยในการควบคุมกระแสเฉลี่ยเอาต์พุตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันควบคุม  $V_c$  ดังสมการ 2.2

$$I_o = GV_c \quad (2.2)$$

การทำงานของคอนเวอร์เตอร์สามารถอธิบายได้ดังนี้

- สมมุติในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  เช่น การลดลงของแรงดันอินพุตและการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าที่โหลด ทำให้แรงดันผิดพลาด  $V_e$  และแรงดันควบคุม  $V_c$  เพิ่มขึ้น เป็นต้น
- ถ้าแรงดัน  $V_c$  เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มกระแสเอาต์พุต  $I_o$  แล้วส่งผลให้แรงดันเฉลี่ยเอาต์พุต  $V_o$  เพิ่มขึ้นด้วย เพื่อชดเชยแรงดัน  $V_o$  ที่ลดลงจากข้อ ก)
- ในทางกลับกันกับข้อ 1 แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  เพิ่มขึ้น จากการทำงานข้อ ก) และ ข) จะรักษาระดับ

แรงดันเอาต์พุตกลับมาอยู่ที่ค่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สภาวะคงตัวแรงดันผิดพลาด  $V_e$  ต้องเพียงพอที่จะรักษากระแสเอาต์พุต  $I_o$  ให้มีค่าคงที่ ขนาดของแรงดันผิดพลาดนี้สามารถพิจารณาจากสมการต่อไปนี้

$$V_e = V_{ref} - \beta v_o \quad (2.3)$$

$$V_e = V_{ref} - \beta G_c A_e V_e R_f \quad (2.4)$$

เมื่อ  $A_e$  คืออัตราขยายของ error amplifier

$$V_e = \frac{V_{ref}}{1 + \beta A_e G_c R_f} \quad (2.5)$$

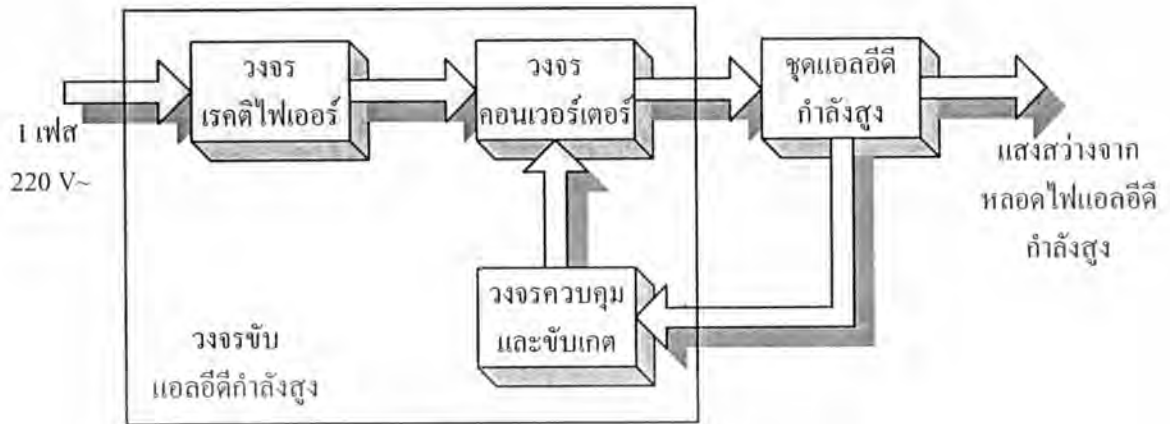
$$V_o = V_{ref} \frac{A_e G_c R_f}{1 + \beta A_e G_c R_f} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 ถ้า  $A_e G_c R_f$  มีค่ามากกว่า 1 มากๆ จะส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณเท่ากับ  $\frac{V_{ref}}{\beta}$  และการควบคุมจะไม่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่นๆ

การออกแบบวงจรขับโหลดแอลอีดีกำลังสูงโดยใช้วงจรลดทอนระดับแรงดัน จะแบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- ก) วงจรภาคกำลัง
- ข) วงจรควบคุม PWM

จากรูปที่ 2.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่จะใช้ในโครงการวิจัยนี้ โดยสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจะผ่านวงจรเรกติไฟเออร์เพื่อเรียงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วไปป้อนให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ส่วนภาคควบคุมมีหน้าที่ในการปรับค่าดิฟตีไซเคิลเพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต ( $I_o$ ) ให้มีค่าคงที่ โดยจะใช้วงจรควบคุมในโหมดกระแสเพื่อรับสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตพร้อมกับประมวลผล และจ่ายสัญญาณเอาต์พุต PWM ที่ต้องการไปยังวงจรขับเกตเพื่อขับนำสวิตช์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป



รูปที่ 2.11 วงจรต่างๆ แสดงในลักษณะของบล็อกโคอะแกรมที่จะใช้ในโครงการวิจัยนี้

## 2.7 ผลพียงที่เกิดจากซากหลอดไฟ

ในปัจจุบันหลายประเทศ ได้ให้ความสนใจสำหรับการหาสิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่จะนำมาทดแทนหลอดไฟสำหรับการส่องสว่าง จุดประสงค์ที่สำคัญคือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก เทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากคือเทคโนโลยีไดโอดเรืองแสงหรือแอลอีดี เช่นในสหรัฐอเมริกากำลังเปิดตัวแอลอีดีกำลังสูงต้นแบบที่ให้แสงสีขาว แอลอีดีกำลังสูงที่ผลิตได้นี้จะช่วยลดต้นทุนการผลิตโดยรวม และยังทำให้กำลังแสงสว่างมากกว่าหลอดแอลอีดีที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้แล้วยังสามารถแข่งขันกับหลอดไฟทั่วไป ที่สำคัญคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ในตลาดได้อีกด้วย ผู้ผลิตหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงได้ประเมินว่าหากในสหรัฐฯ ได้เปลี่ยนจากหลอดไฟทั่วไป 25% มาเป็นหลอดแอลอีดีที่นำมาประดิษฐ์เป็นหลอดไฟที่สามารถให้ความสว่างที่ 150 ลูเมน สหรัฐฯจะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าได้มากถึง 115,000 ล้านดอลลาร์ นั่นหมายความว่าทางรัฐบาลไม่จำเป็นต้องก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินใหม่ถึง 133 โรง และสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ถึง 258 ล้านเมตริกตัน

ส่วนในประเทศทวีปเอเชีย เช่น เกาหลีก็ได้พัฒนาแอลอีดีกำลังสูงเช่นกัน โดย บริษัทโซลเซมิคอนดักเตอร์ (Seoul Semiconductor Co.) กล่าวว่ากำลังอยู่ระหว่างการจดสิทธิบัตรภายใต้ชื่อ “LED for AC” หรือแอลอีดีสำหรับไฟสลับ (Alternating Current, AC) ที่สามารถทำงานบนกระแสไฟฟ้าสลับหรือเอซีได้ ซึ่งเป็นแนวคิดสำคัญที่ทำให้สามารถนำแอลอีดีมาประยุกต์ใช้แทนหลอดไฟแบบเดิมได้เลย ทั้งนี้บริษัทโซลเซมิคอนดักเตอร์ได้ทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงไตรมาสที่ 3 ของปี 2005 โดยมีเป้าหมายเพื่อการตลาดเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ในเอกสารอ้างอิงที่ [11] เป็นตัวอย่างหนึ่งที่มีการวิจัยเกี่ยวกับแอลอีดีกำลังสูง ด้านการศึกษาสมรรถนะของแอลอีดีกำลังสูงเมื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จะเป็นการพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและเงินลงทุนเป็นจำนวนมาก ในการสร้าง ทั้งนี้การพัฒนาหนึ่งที่บ้านเราน่าจะให้ความสนใจคือการนำเอาแอลอีดีกำลังสูงดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งาน ดังเช่นใน โครงการวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ โดยอาศัยข้อมูลทางเทคนิคของ แอลอีดีกำลังสูงเบื้องต้นด้วยข้อดีต่างๆ โดยมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาพัฒนาเป็นหลอดไฟแอลอีดี กำลังสูงเพื่อใช้แทนหลอดไฟแบบเดิมได้ โดยใน โครงการวิจัยนี้ได้นำหลอดไฟ 2 ชนิดมาเปรียบเทียบคือ หลอดฟลูออโรเรสเซนซ์และหลอดแสงจันทร์ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ที่สำคัญการพัฒนาเพื่อมา เป็นหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงจำเป็นต้องมีการศึกษาชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟให้กับแอลอีดีกำลังสูงด้วย เช่นกัน ซึ่งจะเรียก 2 ส่วนที่ทำการวิจัยนี้ว่าเป็นชุด โคมไฟแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งจะได้มีการนำไปใช้ทดแทน หลอดไฟทั้ง 2 เพื่อการประหยัดพลังงานต่อไป

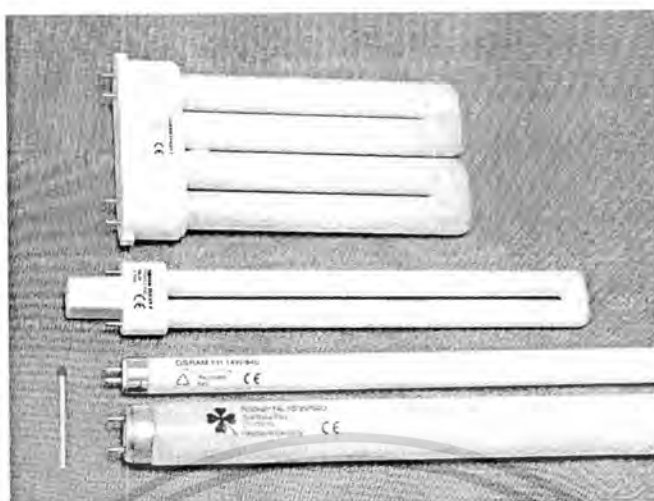
### 2.7.1 การกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนซ์

ของเสียอันตราย ตามนิยามแล้วหมายถึงของเสียประเภทใดประเภทหนึ่งหรือหลายประเภทรวมกัน ที่อาจเกิดปฏิกิริยาเคมีรุนแรง เป็นพิษ เกิดการระเบิด หรือการกัดกร่อน หรือลักษณะอื่นที่เป็นอันตรายต่อ มนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ถ้าพิจารณาสารที่ใช้ในหลอดฟลูออเรสเซนซ์ พบว่าที่ตัวหลอดนั้นจะมีสาร โปรทอยู อีกทั้งบัลลาสต์ก็มีสาร Polychlorinated Biphenyls (PCBS) สารทั้งสองนี้ต่างเป็นสารที่เสถียร เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสามารถตกค้าง สะสม อยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ ทำให้หลอดฟลูออเรสเซนซ์ จัดเป็นของเสียอันตรายที่ต้องผ่านการกำจัดอย่างถูกวิธี [12]

ปัญหาจากซากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ให้แสงสว่างนวล สบายตา มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดแบบมีไส้ (Incandescent lamp) ถึง 8 เท่า และให้ความสว่าง มากกว่าในกำลังวัตต์ที่เท่ากัน โดยหลอดฟลูออเรสเซนซ์ มีส่วนประกอบหลัก คือ แก้ว ส่วนที่เหลือ ประกอบด้วย ขั้วหลอดทำจากอลูมิเนียม ผงฟอสเฟอร์สำหรับเคลือบผิวหลอดเพื่อการเรืองแสง นอกจากนี้ ภายในหลอดยังบรรจุด้วยสารปรอท จึงทำให้ซากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ทั้งหมดอายุการใช้งาน แล้ว ถือเป็นของเสียอันตราย

สารปรอท เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย แขนงลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน และสามารถตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน การแตกของหลอด ฟลูออเรสเซนซ์จะทำให้ไอปรอทระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อม หากสูดดมเข้าไปจะทำให้สารปรอทเข้าไป สะสมในร่างกาย และเกิดผลกระทบต่อระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆ นอกจากนี้ การทิ้งซากหลอด ฟลูออเรสเซนซ์รวมไปกับขยะมูลฝอยทั่วไป จะทำให้สารปรอทที่ปนเปื้อนอยู่ในซากหลอดฟลูออเรส เซนซ์แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม และหากปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร จะก่อให้เกิด ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก และยากต่อการแก้ไขในภายหลัง ในรูปที่ 2.12 แสดงหลอดฟลูออ เรสเซนซ์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ

(แหล่งที่มา : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/Leuchtstofflampen-ctaube050409.jpg>)

สารปรอทจะมีทั้งในรูปของเกลือ Mercurous และเกลือ Mercuric พบว่าสารเกลือของ Mercurous จะละลายน้ำได้น้อยกว่าเกลือ Mercuric ซึ่งเกลือของ Mercurous จะมีพิษน้อยกว่าเกลือของ Mercuric ในปี 2547 มีปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วทั่วประเทศ ประมาณ 41 ล้านหลอด [13] โดยร้อยละ 70 เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง และส่วนที่เหลือเป็นหลอดชนิดวงกลมและหลอดตะเกียบ สำหรับในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี นครปฐม สมุทรปราการ และสมุทรสาคร มีปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรงเกิดขึ้นทั้งสิ้นประมาณ 14 ล้านหลอด คิดเป็นกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรงจากทั่วประเทศ ซึ่งผลการวิจัยนี้แสดงในรูปที่ 2.13

กรมควบคุมมลพิษได้วางแนวทางการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยจะจัดตั้งเป็นหุ้นส่วนความร่วมมือ (Partnership) ในการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของประเทศไทย โดยจะประสานขอความร่วมมือกับกรุงเทพมหานครและเทศบาลต่างๆ ในการเก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากอาคารสถานที่ต่างๆ และขอความร่วมมือจากบริษัท ผู้ผลิตที่รับจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่แล้ว ให้ขยายการให้บริการรีไซเคิลหรือกำจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากอาคารบ้านเรือนและสถานประกอบการทั่วไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 สถานการณ์ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากการสำรวจในปี 2547

(แหล่งที่มา : <http://www.chemtrack.org/EnvForKids/Download/fluorescent-lamp.pdf>)

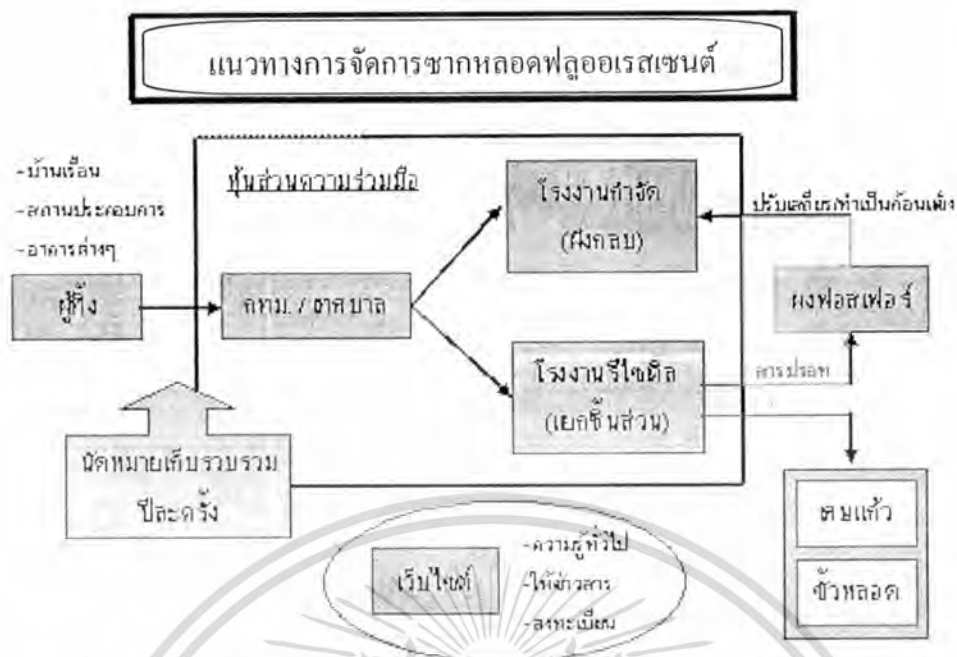
เนื่องจากปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละอาคารในแต่ละปีมีจำนวนไม่มาก กรมควบคุมมลพิษ จะกำหนดวันเก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ปีละหนึ่งครั้ง และจะจัดทำเว็บไซต์เพื่อให้เจ้าของอาคารและประชาชนที่สนใจเข้าร่วม โครงการคัดแยกและเก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ สามารถแจ้งความประสงค์ผ่านทางเว็บไซต์ดังกล่าว โดยกรุงเทพมหานครและเทศบาลที่เข้าร่วมโครงการฯ จะดำเนินการเก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากอาคาร และบ้านเรือนที่ได้ลงทะเบียนแจ้งความประสงค์ไว้ในเว็บไซต์ที่จัดทำขึ้น เพื่อนำส่งไปยังบริษัทผู้ผลิตที่รับจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นำไปรีไซเคิลหรือกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป ทั้งนี้แผนภาพแนวทางการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.14

### 2.7.2 วิธีการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ในการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ในปัจจุบันนี้มีสองแนวทางคือการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และ การกำจัดบนดินหรือใต้ดิน (Land disposal) โดยในประเทศไทยจะนิยมใช้การกำจัดแบบ Land disposal เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย

ระบบของ Land disposal ที่ประเทศไทยใช้จะเป็นระบบฝังกลบมั่นคง หรือที่เรียกว่า Secure landfill ซึ่งวัตถุประสงค์ของระบบฝังกลบมั่นคงนี้ คือ ของเสียอันตรายนั้นจะไม่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยเด็ดขาด พื้นที่ฝังกลบต้องมีความปลอดภัย ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต้องไม่ให้มีน้ำขังในพื้นที่ฝังกลบ และต้องสามารถบำบัดน้ำชะของเสียให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แผนภาพแนวทางการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

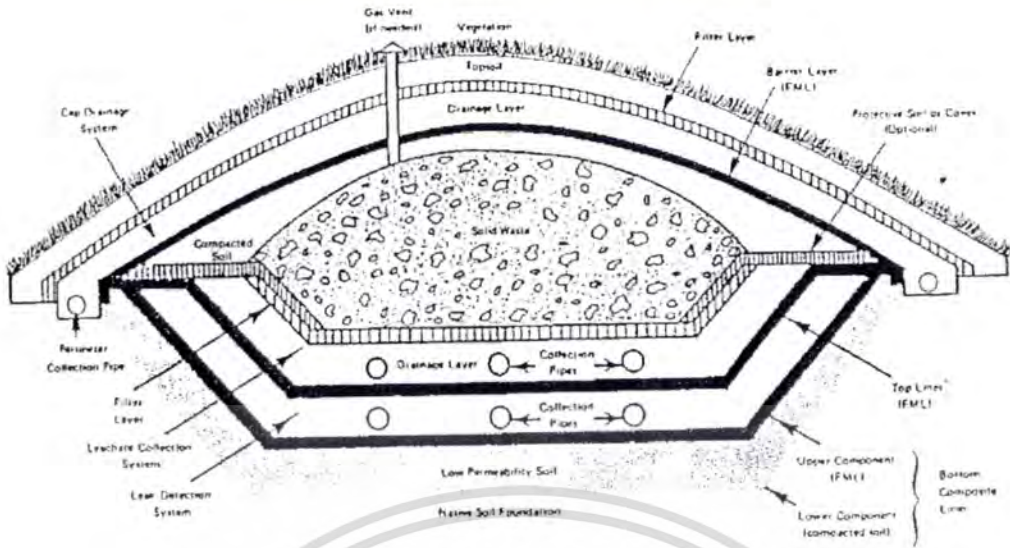
(แหล่งที่มา : <http://www.chemtrack.org/EnvForKids/Download/fluorescent-lamp.pdf>)

ก่อนทำการฝังกลบหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นต้องทำการบดให้มีขนาดเล็กลงแล้วผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) เพื่อทำให้เกิดเป็น  $\text{HgS}$  แล้วทำการผสมกับปูนซีเมนต์ ซึ่งการผสมปูนซีเมนต์เป็นการทำให้เสถียร ข้อดีของการผสมปูนซีเมนต์คือ

- สามารถเก็บกักสารอันตรายอยู่ภายในก้อนซีเมนต์ได้ยาวนาน
- ไม่ต้องทราบถึงความสามารถในการตกตะกอนที่ pH เท่าใด
- มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพอากาศร้อน ฝนหนาว และทนต่อสภาพการถูกกระแทกได้ดีอีกด้วย
- การจัดการดำเนินการผสมสารปูนเป็อนกับซีเมนต์กระทำได้ง่าย

ระบบฝังกลบมั่นคง (Secure landfill system) เป็นวิธีการกำจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่ง จะมีระบบป้องกันการรั่วไหลของน้ำชะขยะ มีระบบปิดทับพื้นที่ฝังกลบ มีระบบระบายน้ำทิ้งที่ถูกต้องตามหลักวิชา หลุมฝังกลบมีเสถียรภาพ และจะมีการดูแลพื้นที่หลังปิดบ่อฝังกลบเมื่อบ่อเต็ม แสดงในรูปที่ 2.15 จากรูปเป็นลักษณะของหลุมฝังกลบมั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



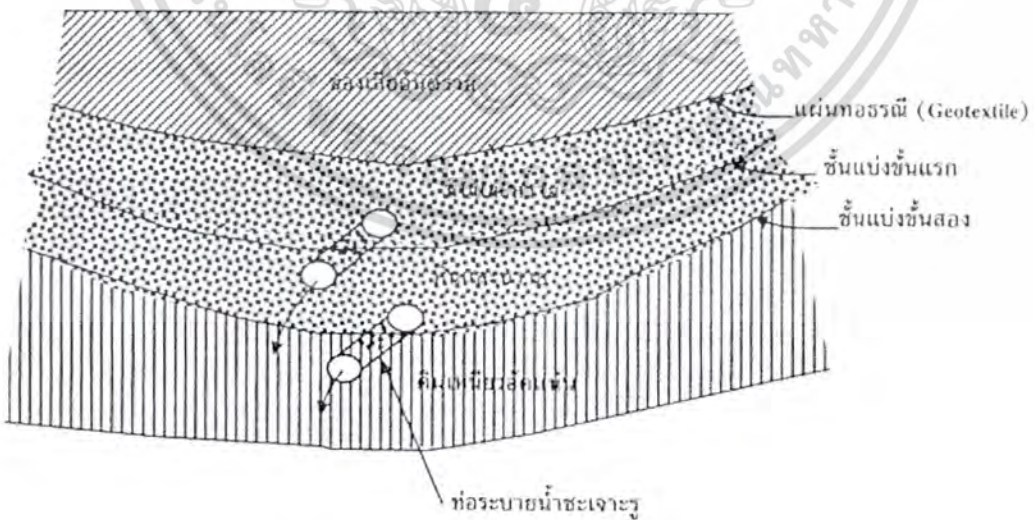
รูปที่ 2.15 หลุมฝังกลบแบบมีน้ำคัง

(แหล่งที่มา : <http://www.chemtrack.org/EnvForKids/Download/fluorescent-lamp.pdf>)

ระบบฝังกลบมีน้ำคัง ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

ก) ระบบรวบรวมน้ำชะซึมพร้อมชั้นดาด (Land and Leachate Collection)

ระบบนี้จะใช้ท่อระบายน้ำชะ ฝังอยู่ในชั้นพลาทิวสตีปิดทับ เพื่อทำหน้าที่รวบรวมน้ำชะซึม ระบบรวบรวมน้ำแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ระบบรวบรวมน้ำชะซึม

(แหล่งที่มา : <http://www.chemtrack.org/EnvForKids/Download/fluorescent-lamp.pdf>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข) การใช้วัสดุปิดทับพื้นที่ฝังกลบ

วัสดุปิดทับพื้นที่การฝังกลบ เพื่อป้องกันหรือพยายามลดน้ำชะขยะ ซึ่งอาจมาได้สองทางคือ ฝนตกลงบนพื้นที่ฝังกลบโดยตรง และน้ำฝนได้ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ฝังกลบซึ่งอยู่ต่ำกว่า วัสดุที่ใช้ในการปิดหุ้มจะมีดังนี้

- หญ้าหรือพืชอื่น ๆ มีไว้เพื่อลดการกัดเซาะหรือการชะล้างและช่วยลดปริมาณน้ำฝนซึมลงชั้นล่าง พร้อมทั้งจะช่วยคายน้ำออกจากใบไม้ และยังคงดูดซับความชื้นไว้บนผิวชั้นพื้นดิน
- ดินปุ๋ย : มีไว้ใช้รองรับพืช และไว้ให้สารอาหารแก่พืช
- แผ่นทอธรณี (Geotextile filter) มีไว้แยกชั้นบนกับชั้นล่าง และทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองเพื่อคักไม่ให้วัสดุจากส่วนบนเคลื่อนลงส่วนล่าง
- หินและทราย เป็นชั้นที่ต้องการให้เกิดการระบายน้ำหลายแห่ง ได้มีการวางท่อระบายน้ำด้วย เพื่อให้มีการไหลเป็นไปได้อย่างทั่วถึง และรวดเร็ว
- แผ่นใยธรณี (Geomembrane) เป็นแผ่นใยธรณีที่ใช้แบ่งแยกชั้น เป็นแผ่นที่ยืดหยุ่นได้ดี
- ดินเหนียวอัดแน่น เป็นชั้นที่กั้นไม่ให้น้ำไหลซึมลงสู่ชั้นล่าง
- ชั้นหินเล็ก ใช้ระบายหรือช่วยรวบรวมก๊าซ หลายแห่งอาจใช้ท่อลำเลียงก๊าซที่เกิดจากการหมักของเสีย แต่สำหรับของเสียอันตรายจะมีก๊าซเกิดขึ้นน้อย
- ชั้นหินปกคลุม หน้าที่หลักเพื่อปรับสภาพชั้นผิวดินให้มีความลาดเอียงที่ถูกต้องสำหรับการระบายน้ำ ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่ได้สัมผัสกับของเสียอันตรายโดยตรง และเป็นชั้นที่เริ่มทำการปรับระบบดินให้มีความลาดเอียงตามต้องการ

### 2.7.3 การดูแลพื้นที่หลังปิดฝังกลบ (Post closure care of landfill)

การดูแลพื้นที่หลังปิดฝังกลบเป็นภารกิจที่สำคัญมาก เพราะถ้าดูแลพื้นที่ไม่ดีจะก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ มากมายดังนี้

- ก) ฝุ่นฟุ้งกระจายทั่วบริเวณ
- ข) น้ำฝนชะพื้นที่ฝังกลบ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียกระจายทั่วบริเวณ
- ค) น้ำใต้ดินบริเวณรอบ ๆ พื้นที่ฝังกลบจะถูกปนเปื้อนด้วยของเสียอันตราย
- ง) อาจมีพวกแมลงวัน แมลงต่าง ๆ ก่อให้เกิดการแพร่เชื้อโรคติดต่อได้
- จ) อาจมีสารพิษปนเปื้อนอยู่บนพื้นดินบริเวณพื้นที่ฝังกลบ ซึ่งอาจเป็นสารก่อมะเร็ง และ โรคร้าย

ดังนั้นปัญหาที่กล่าวมาควรมีมาตรการต่างๆ เพื่อช่วยพัฒนาปรับปรุงพื้นที่ฝังกลบให้ได้ดีที่สุด ปราศจากปัญหาต่างๆดังที่กล่าวมา โดยมีมาตรการต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก) ปลูกพืชต่าง ๆ เพื่อให้รากพืชช่วยยึดดินให้แน่น ไม่ให้หลุดลอกหน้าดินออกมา
- ข) ควรมีรั้วรอบบริเวณอย่างชัดเจน
- ค) มีการปลูกต้นไม้บริเวณรอบพื้นที่เพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจายออก และช่วยป้องกันกลิ่นเหม็นออกจากพื้นที่ ทำให้มีทัศนียภาพดีขึ้น
- ง) ควรมีมาตรฐานการตรวจสอบ ตรวจวัดค่ามลพิษต่าง ๆ เช่น คุณภาพอากาศ คุณภาพน้ำประปา คุณภาพน้ำทิ้ง คุณภาพน้ำดิน เป็นต้น
- จ) มีการตรวจสอบน้ำใต้ดินรอบบริเวณพื้นที่ฝังกลบ

#### 2.7.4 อันตรายจากซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วถือเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากมีสารปรอท เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารปรอทเป็นโลหะหนักที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย และแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน ซึ่งสารปรอทจากซากหลอดฟลูออเรสเซนต์นี้สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ได้โดยวิธีการต่อไปนี้ [14]

ก. เมื่อเกิดการแตกหักไอปรอทที่บรรจุอยู่ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อม และเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ

ข. หากทิ้งรวมไปกับขยะมูลฝอยทั่วไป ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์มักถูกบดอัดรวมไปในรถเก็บขยะ ส่งผลให้ไอปรอทแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นอันตรายต่อพนักงานเก็บขยะและผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้ จากนั้นซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะถูกนำไปฝังกลบแบบไม่มีการป้องกันที่ถูกต้อง เมื่อฝนตก น้ำฝนก็จะชะผ่านกองซากที่เป็นของเสียอันตราย ทำให้สารพิษไหลปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและดูดซึมเข้าสู่สัตว์น้ำและพืชผัก เมื่อคนรับประทานสัตว์น้ำหรือพืชผักที่ปนเปื้อนสารพิษก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายได้

ตัวอย่างพิษจากสารปรอท กล่าวคือในปี พ.ศ. 2499 มีการตรวจพบโรคที่เกิดจากสารพิษของสารปรอทในประเทศญี่ปุ่นเรียกว่า “โรคมินามาตะ” (Minamata Diseases) ซึ่งเกิดจากคนรับประทานอาหารจำพวกปลาและหอยจากอ่าวมินามาตะ ซึ่งมีสารปรอทเจือปนอยู่ เนื่องจากโรงงานผลิตพลาสติกแห่งหนึ่งปล่อยน้ำทิ้งที่มีสารเมทิลเมอร์คิวรี (Methylmercury) ลงสู่อ่าวเป็นเวลาหลายปี ผลจากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้มีผู้ได้รับผลกระทบกว่า 3,000 คน ซึ่งผู้ป่วยจะมีอาการชาตามมือเท้าแขนขาและริมฝีปากสั่น จากนั้นจะเริ่มมีอาการหงุดหงิดกระวนกระวาย พูดไม่ชัด ฟังไม่ได้ยิน กล้ามเนื้ออ่อนแรง ควบคุมตัวเองไม่ได้ และเป็นอัมพาตในที่สุด

## 2.8 คำนิยามด้านการส่องสว่าง

### 2.8.1 หน่วยที่ใช้ในการวัดความสว่างของแสงสว่าง

แสงสว่างเป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่สามารถวัดปริมาณได้เหมือนพลังงานอย่างอื่น แต่มีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปเท่านั้น การวัดปริมาณแสงสว่างอาจจะออกมาในรูปความเข้มแห่งการส่องสว่าง ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง หรืออาจจะอยู่ในรูปปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างต่อหน่วยพื้นที่อื่น ๆ [4]

#### 2.8.1.1 ความเข้มแห่งการส่องสว่าง หรือกำลังส่องสว่าง

สามารถวัดค่าได้ตามความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างซึ่งมีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela) กำลังการส่องสว่าง (Candlepower) หรือความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) หนึ่งแคนเดลาจะมีค่าขนาดเท่ากับ  $1/60$  ของความเข้มแห่งการส่องสว่างต่อตารางเซนติเมตรบนทุก ๆ พื้นผิวของวัตถุดำที่อุณหภูมิต่ำกับจุดเยือกแข็งของทองคำขาว ภายใต้ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท

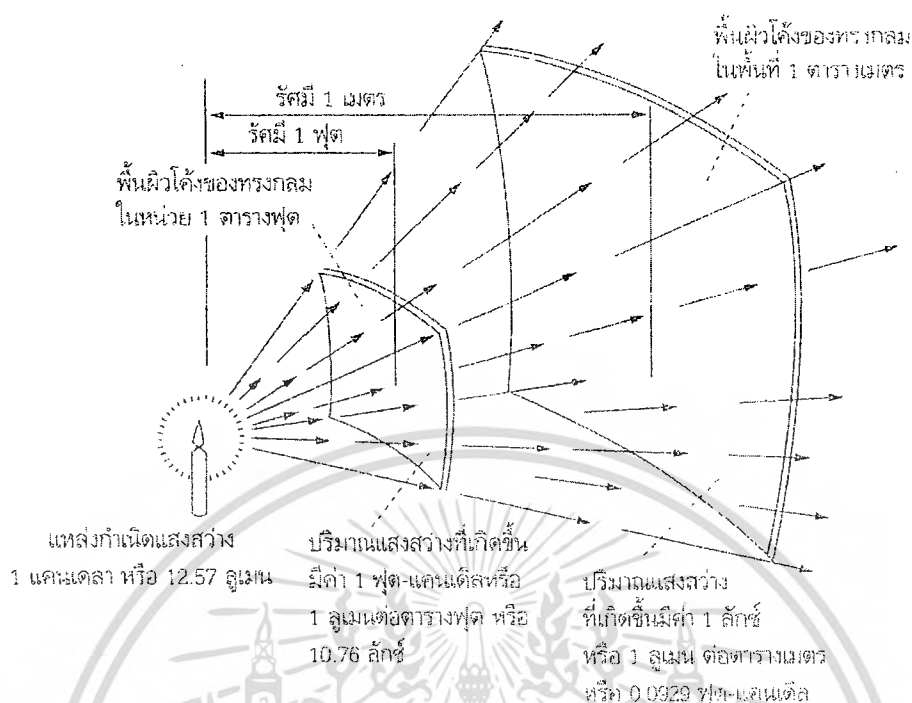
#### 2.8.1.2 ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (Lumen)

ในการบอกค่าความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงสว่างใดๆ อีกวิธีหนึ่งก็นิยมใช้กันคือ จะอยู่ในรูปของปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างนั้น เช่น ถ้าเรามีแหล่งกำเนิดแสงสว่างขนาดเล็กมาก ๆ เสมือนจุดและมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างเปล่งออกมารอบตัวมันอย่างสม่ำเสมอทุกทิศทาง และมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา นำมาวางที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมโดยมีรัศมี 1 หน่วย ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนผิวของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน ถ้าพิจารณาพื้นที่ทั้งหมดของทรงกลมแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ เพราะฉะนั้นค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างออกได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน พิจารณาได้จากรูปที่ 2.17

#### 2.8.1.3 ฟุต-แคนเดิล (Foot-candle)

พิจารณาจากการนำแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีขนาดเล็กมากๆ เสมือนจุดและมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่เปล่งออกมารอบทุกๆ ทิศทางอย่างสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา นำมาวางที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับ 1 ฟุต และมีปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง 1 ลูเมน ไปตกลงบนพื้นที่ผิวของทรงกลมทุกๆ หนึ่งตารางฟุต ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุต-แคนเดิล หรือมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



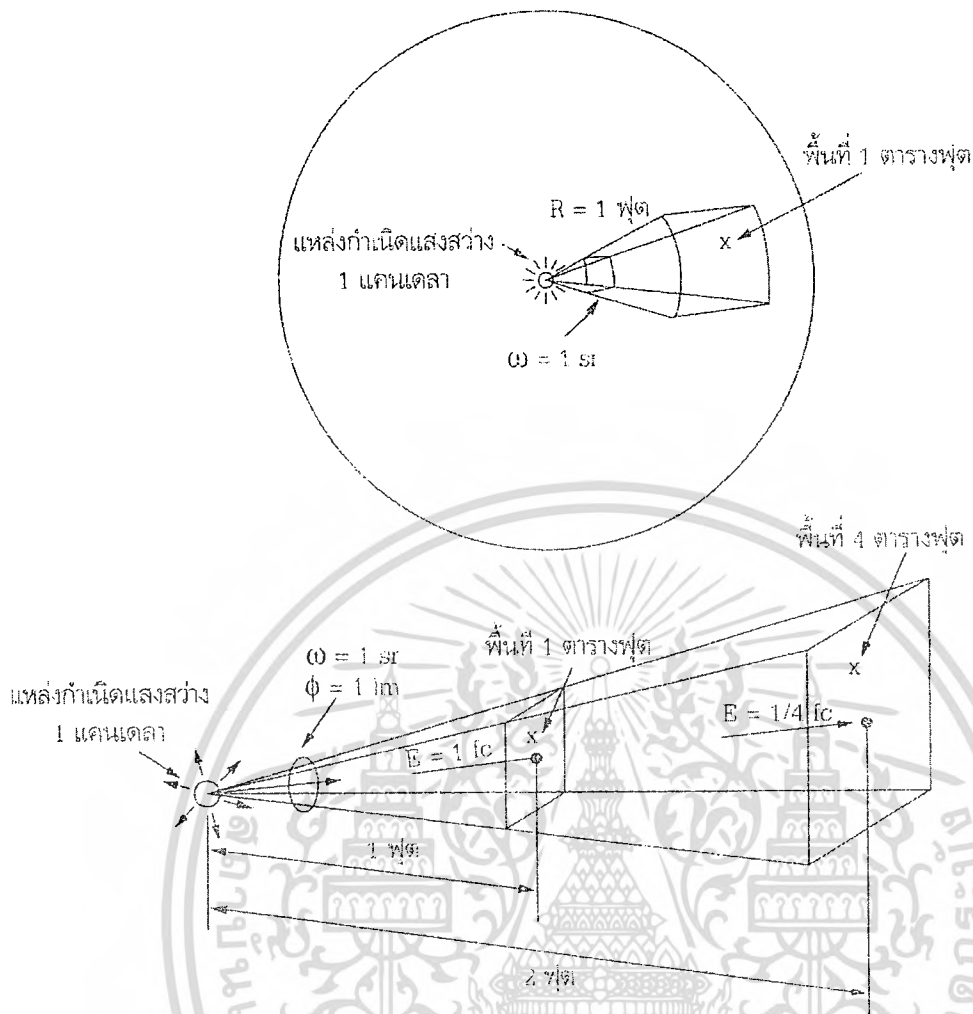
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของหน่วยวัดแสงสว่างในรูปของฟุตแคนเดิลและลักซ์  
(แหล่งที่มา : ชาลส์ ค็อกซ์ อภัยนิพัทธ์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง [4])

แต่ถ้าเรานำแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีขนาดเล็กมากๆ เสมือนจุดและมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่เปล่งออกมารอบทุกๆ ทิศทางอย่างสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา นำมาวางที่จุดศูนย์กลางทรงกลมมีรัศมีเท่ากับ 1 เมตร และมีปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง 1 ลูเมน ไปตกลงบนพื้นที่ผิวของทรงกลมทุกๆ หนึ่งตารางเมตร และค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง 1 ฟุต-แคนเดิล จะมีค่าเท่ากับ 10.76 ลักซ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ ฟุต-แคนเดิลมิเตอร์ (Foot-candlemeter) กับลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter)

## 2.8.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง

ตามธรรมชาติแล้วปริมาณแห่งการส่องสว่างจะแปรผันตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่าง และแปรผกผันกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างถึงจุดที่เราต้องการวัดแสงสว่างยกกำลังสอง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปที่ 2.18 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ปริมาณแห่งการส่องสว่างหรือกำลังส่องสว่าง ซึ่งจะลดลงเมื่อระยะทาง เปลี่ยนแปลงไปโดยจะแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง (แหล่งที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง [4])

$$E = \frac{cd}{D^2}$$

เมื่อ E คือ ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนจุดที่ต้องการวัด มีหน่วยเป็น ฟุต-แคนเดิลหรือลักซ์

Cd คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสว่างมีหน่วยเป็น แคนเดลา

D คือ ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างถึงจุดบนพื้นที่ที่ต้องการวัดแสงสว่างมีหน่วยเป็นฟุตหรือเป็นเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 ความจ้าของแสงสว่าง

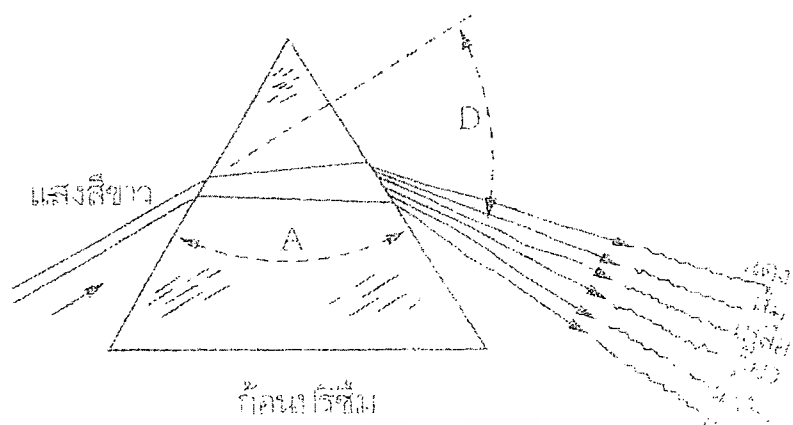
เมื่อมีการส่องสว่างออกจากแหล่งกำเนิดแสงสว่าง แสงสว่างจะไปตกกระทบวัตถุแล้วจะมีการสะท้อนออกเข้าสู่ตาของเรา แสงสว่างจะสะท้อนออกมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุที่ถูกแสงสว่างตกกระทบวัตถุนั้นอาจจะดูดกลืนแสงสว่างเข้าไปในพื้นที่ผิวทั้งหมด หรืออาจจะสะท้อนออกมาทั้งหมดหรือเพียงเล็กน้อย ถ้ามีการสะท้อนแสงสว่างออกมากก็อาจจะกล่าวได้ว่ามีความจ้ามาก หรือสะท้อนแสงสว่างออกมาน้อยก็อาจจะกล่าวได้ว่ามันมีความจ้าน้อย ซึ่งความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนออกจากวัตถุหรือพุ่งเข้าหาตาของเรา สามารถวัดค่าต่อหน่วยพื้นที่ของการสะท้อนแสงสว่างได้มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Foot-lambert) ซึ่งค่าฟุตแลมเบิร์ตนี้จะมีค่าเท่ากับปริมาณแห่งการส่องสว่างคูณกับค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของวัตถุนั้น และค่าฟุตแลมเบิร์ตนี้เป็นค่าที่สายตาคนเราเห็น หรือที่เรียกว่า ความจ้าไม่ใช่ความสว่างในหน่วยของฟุต-แคนเดิล

### 2.8.4 สีของแสงสว่าง

แสงสว่างที่ส่องออกมาโดยทั่วไปจะมีความยาวคลื่นของแสงสว่างสีต่างๆ เรียงกันอยู่มากมาย ความยาวคลื่นของแสงสว่างที่ให้แสงสว่างสีออกมานี้มีตั้งแต่ความยาวคลื่นของแสงสว่างสีสั้นที่สุดถึงความยาวคลื่นของแสงสว่างสียาวที่สุดที่ทำให้เกิดการมองเห็นแสงสว่างออกมาเป็นแสงสว่างสีต่างๆ ได้ซึ่งจะเรียงซ้อนกันอยู่ เช่น สีเหลือง สีแดง สีนํ้าเงิน สีเขียว สีแดง เป็นต้น หรือถ้าเราจะพิจารณาได้อีกอย่างหนึ่งคือการฉายแสงสว่างสีขาวผ่านเข้าไปในก้อนปริซึม แล้วจะปรากฏแสงสว่างสีต่างๆ ออกมาจากก้อนปริซึม

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าแสงสว่างจะมีความยาวคลื่นต่างๆ กันหรืออาจจะกล่าวได้ว่าการที่เรามองเห็นก้อนปริซึมเป็นสีขาว โดยที่ไม่เห็นแสงสว่างสีอื่นเลยก็เนื่องจากความไม่สมดุลของแสงสว่างสีขาวนั่นเองคือแสงสว่างของสีใดที่มีพลังงานสูงสุดก็จะปรากฏแสงสว่างสีนั้นออกมาจากวัตถุ และแสงสว่างสีอื่นก็จะถูกดูดกลืนหายไปในวัตถุนั้น

ทั้งนี้ตามปกติแล้วสายตามนุษย์ไม่สามารถที่จะมองเห็นวัตถุใด ๆ ออกมาเป็นสีใดสีหนึ่งได้ โดยเฉพาะถ้าหากไม่มีพลังงานของแสงสว่างสีนั้น ๆ และวัตถุจะต้องมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงสว่างสีนั้นออกมาด้วยจึงจะมองเห็นสีนั้น ๆ ได้ สีของวัตถุที่ตาคนเรามองเห็นบางครั้งอาจจะมีสีเพี้ยนไปจากเดิมก็ได้ ถ้าสีของแสงสว่างที่ฉายเข้าหาวัตถุจะทำให้เรามองเห็นวัตถุนั้น มีสีเดิมหรือถ้าฉายแสงสว่างสีเขียวลงไปบนวัตถุที่มีสีแดงก็จะมองเห็นวัตถุสีแดงมีสีออกมาก่อนข้างสีคล้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการที่เรามองเห็นวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ตัวเรามีสีออกมาต่างๆ กันได้เพราะมีแสงสว่างอยู่รอบ ๆ บริเวณวัตถุนั้น ถ้าไม่มีแสงสว่างอยู่รอบ ๆ บริเวณวัตถุนั้นก็จะไม่สามารถมองเห็นอะไรหรือสีของแสงสว่างได้เลยหรือกล่าวได้ว่า ไม่มีแสงสว่างก็จะมีสีเกิดขึ้น



รูปที่ 2.19 การแยกแสงสว่างสีขาวเข้าไปในก้อนปริซึมซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์ของแสงสว่างสีต่าง ๆ ออกจากก้อนปริซึม

(แหล่งที่มา : ชาลส์คัตต์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง [4])

แม่สีของแสงสว่างก็มีลักษณะเหมือนแม่สีทั่วไปในทางศิลปะแต่แม่สีของแสงสว่างจะมีอยู่ 3 สี คือ สีแดง น้ำเงิน และเขียว จะแตกต่างกับแม่สีและศิลปะอยู่บ้าง แม่สีทั้ง 3 สีนี้เรียกว่า สีปฐมภูมิ (Primary Color) ซึ่งถ้าเรานำแม่สีของแสงสว่างทั้งสามสีมาฉายรวมกัน (Addition) โดยฉายลงไปบนฉากสีดำ โดยฉายให้แสงสว่างซ้อนกันก็จะได้สีของแสงสว่างขึ้นมาอีกชุดหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า สีทุติยภูมิ (Secondary Color) และถ้าเรานำแม่สีของแสงสว่างทั้ง 3 สีมาฉายซ้อนกันเข้าไปในฉากสีดำโดยใช้อัตราส่วนของแสงสว่างแม่สีที่เหมาะสมพอกันทั้ง 3 สี เราก็จะได้แสงสว่างออกมาเป็นแสงสว่างสีขาวบนฉากสีดำ

### 2.8.5 ความสัมพันธ์ของแสงสว่างกับวัตถุและการมองเห็น

ในการมองเห็นวัตถุต่างๆ จะเห็นได้ชัดเจนหรือไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุหรือสีของวัตถุ ถ้าความสว่างไม่เพียงพอก็จะทำให้เราสามารถแยกแยะวัตถุนั้นๆ ได้ลำบาก ยิ่งถ้าวัตถุนั้นกำลังเคลื่อนที่อยู่ ก็จะต้องใช้แสงสว่างมากขึ้นเพื่อที่จะทำให้เห็นวัตถุนั้นได้ชัดเจน ถ้ามีความแตกต่างของความขาว-ดำน้อย หรือมีลักษณะคล้ายๆ กัน หรือขนาดของวัตถุยิ่งเล็กลงก็ยิ่งต้องการแสงสว่างมากและเวลาในการมองเห็นก็ต้องการเพิ่มมากขึ้น องค์ประกอบเหล่านี้จะต้องนำไปพิจารณาในการออกแบบระบบแสงสว่างต่อไป

องค์ประกอบที่ต้องนำไปพิจารณาในการออกแบบระบบแสงสว่างมีดังนี้

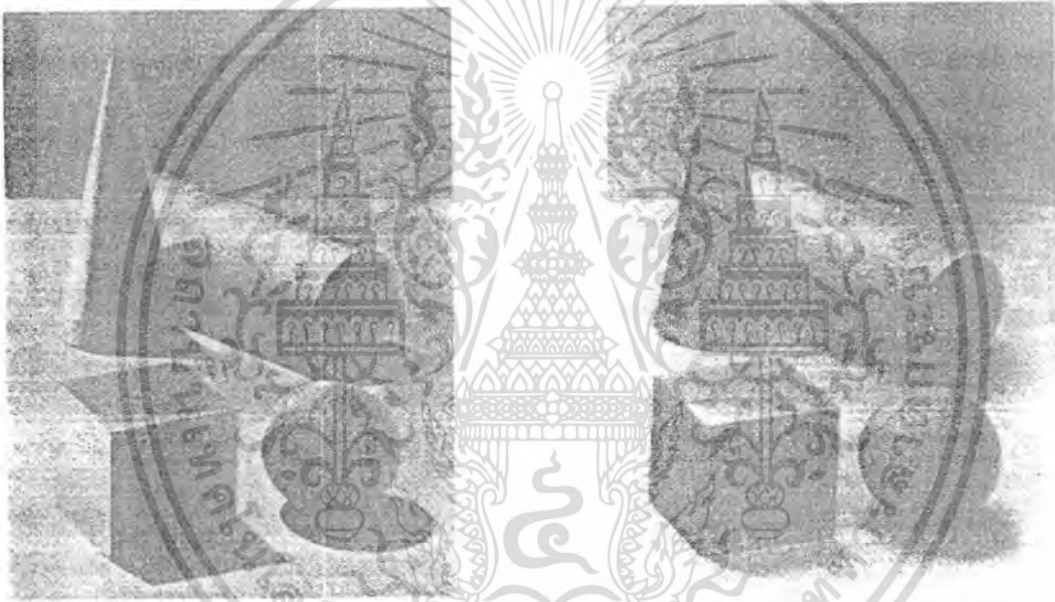
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.5.1 ความจ้าและการส่องสว่าง

ในการออกแบบเราจะรักษาค่าความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ ให้มีค่าที่เหมาะสม ซึ่งคุณสมบัติของวัตถุที่มีค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างจะต้องนำมาพิจารณาคด้วย

### 2.8.5.2 ความแตกต่างของความขาว-ดำของวัตถุ

ความแตกต่างของความขาว-ดำ ระหว่างวัตถุกับสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัวมัน (Contrast) ถ้าความแตกต่างระหว่างความขาว-ดำมีมาก การมองเห็นยิ่งทำได้ง่ายขึ้นและไม่จำเป็นที่จะต้องออกแบบให้มีแสงสว่างมากเหมือนกับวัตถุสีเทาที่วางอยู่บนพื้นสีดำดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ความแตกต่างของความขาว-ดำของชิ้นงานกับสิ่งที่อยู่รอบชิ้นงานซึ่งจะมีผลต่อการมองเห็น (แหล่งที่มา : ชาญศักดิ์ อภิชัยพันธ์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง [4])

### 2.8.5.3 ขนาดของชิ้นงาน

ขนาดของชิ้นงานก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งจะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบ โดยปกติคนเราสามารถมองเห็นวัตถุที่มีขนาดโตได้ดีกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็ก หรืออาจจะมองวัตถุขนาดเดียวกัน มีขนาดเล็กลงในเวลากลางคืนก็ได้ถ้าแสงสว่างไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับเวลากลางวัน ดังนั้นในการออกแบบเราจำเป็นที่จะต้องให้แสงสว่างเพียงพอที่จะให้มองเห็นวัตถุในเวลากลางคืนเท่ากับเวลากลางวัน และวัตถุที่ยิ่งเล็กก็ต้องการปริมาณของแสงสว่างมากขึ้น หรือคนที่มีอายุมาก เวลาทำงานกับวัตถุที่มีขนาดเล็กก็ต้องการปริมาณแสงสว่างมากขึ้น ซึ่งจะนำมาพิจารณาเป็นพิเศษในการออกแบบระบบแสงสว่าง

ต่อไปนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.8.5.4 เวลาที่ใช้ในการมองเห็นวัตถุ

ตามปกติตาคนเราไม่สามารถที่จะมองเห็นหรือรับรู้สิ่งต่างๆ ได้เท่ากัน ตาเราจะรับรู้อะไรได้แน่นอนนั้นย่อมต้องการเวลาในการปรับกล่อมเนื้อตาให้ขยายหรือหดตัว ซึ่งถ้ามีปริมาณแสงสว่างน้อยๆ การมองวัตถุต่างๆ ก็ย่อมต้องใช้เวลามากกว่าบริเวณที่มีปริมาณแสงสว่างมากๆ ยิ่งกว่าวัตถุอื่นๆ กำลังเคลื่อนที่อยู่ก็ยิ่งต้องการแสงสว่างมากขึ้น ผู้ออกแบบควรจะนำข้อจำกัดเหล่านี้มาพิจารณาเป็นพิเศษ แต่การเพิ่มปริมาณแสงสว่างนั้น เมื่อถึงค่าค่าหนึ่งแล้วจะทำให้การมองเห็นวัตถุคงที่เนื่องจากขีดจำกัดของกล้ามเนื้อตานั่นเอง ดังรูปที่ 2.21(ก) และรูปที่ 2.21(ข)



รูปที่ 2.21 (ก) รูปร่างและขนาดของชิ้นงานในลักษณะต่างๆกันซึ่งจะมีผลต่อการมองเห็น (ข) เวลาในการมองเห็นเมื่อเทียบกับปริมาณแห่งการส่องสว่าง  
(แหล่งที่มา : ชาลูนี กัดดี อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง [4])

#### 2.8.6 หลอดไฟ

หลอดไฟฟ้า (Electrical lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างชนิดหนึ่งที่เกิดจากการสร้างขึ้นของมนุษย์ นับตั้งแต่สมัยของเอ็ดิสัน เป็นคนแรกที่มีการประดิษฐ์หลอดไฟฟ้าสำเร็จเป็นครั้งแรก และมีการพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ทำให้หลอดไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมามีประสิทธิภาพสูงถึง 183 ลูเมนต่อวัตต์ (Lumen/Watt) สมัยเอ็ดิสันนั้น หลอดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นใช้เป็นหลอดไฟฟ้าแรกมีประสิทธิภาพเพียง 1.4 ลูเมนต่อวัตต์ ซึ่งแตกต่างกันมากกับปัจจุบัน และปัจจุบันยังได้มีการสร้างหลอดไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อใช้กับงานต่างๆ เฉพาะด้านอีกมากมายหลายชนิด หลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดจะนำไปใช้งานแตกต่างกันออกไป และถ้าเราจะนำหลอดไฟฟ้าพวกนี้ไปใช้จะต้องศึกษารายละเอียดต่างๆ จากบริษัทผู้ผลิต หรือคู่มือของหลอดไฟฟ้าชนิดนั้นๆ เสียก่อน และก่อนที่จะศึกษาการทำงาน หรือการนำหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ ไปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานก็ควรจะต้องทำความเข้าใจกับความหมายของค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกหลอดไฟฟ้า ก่อน ความหมายดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

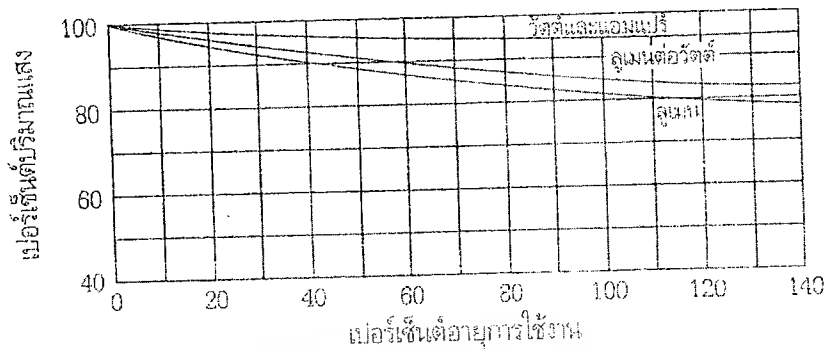
### 2.8.6.1 ประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้า

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลต่างๆ ในการคำนวณหา ประสิทธิภาพจะหมายถึงอัตราส่วนของพลังงานที่เครื่องจักรกลนั้นให้ออกมาต่อพลังงานที่เราใส่เข้าไป ให้กับเครื่องกลนั้นในหน่วยของการเปรียบเทียบหน่วยเดียวกัน เช่น ในทางเครื่องกลไฟฟ้า ประสิทธิภาพ จะมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อวัตต์ (Output/Input) แต่ในเรื่องของแสงสว่างก็คำนวณหาค่าประสิทธิภาพของ หลอดไฟฟ้า (Light source efficacy) ได้เหมือนกับทางเครื่องกล แต่จะมีข้อแตกต่างกันอยู่ที่ว่าค่า อัตราส่วนที่นำมาคำนวณจะเป็นคนละหน่วยกัน

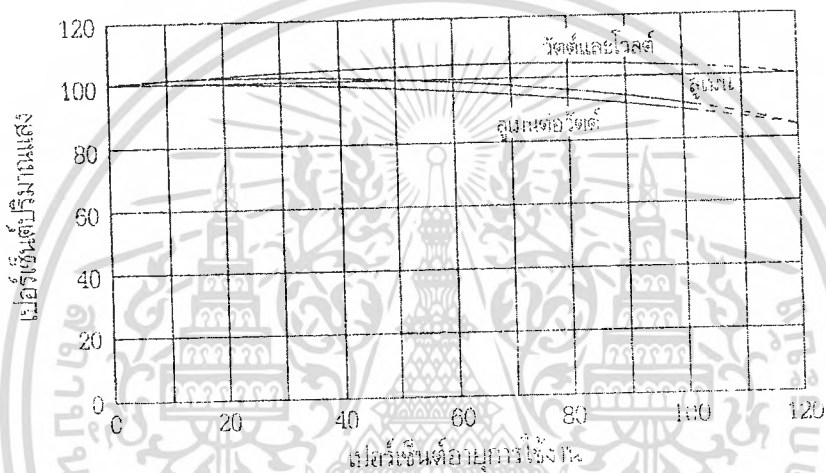
เพราะฉะนั้น ค่าของประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นกับหลอดไฟฟ้า จึงใช้คำว่า Efficacy แทนที่จะใช้คำว่า Efficiency เหมือนที่ใช้ในทางกลหรือไฟฟ้า ซึ่งความหมายของประสิทธิภาพ ของหลอดไฟฟ้า หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากหลอด ไฟฟ้ามีหน่วยลูเมนต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นวัตต์ หรือค่าลูเมนต่อ วัตต์ของหลอดไฟฟ้านั้นเอง

### 2.8.6.2 ความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า

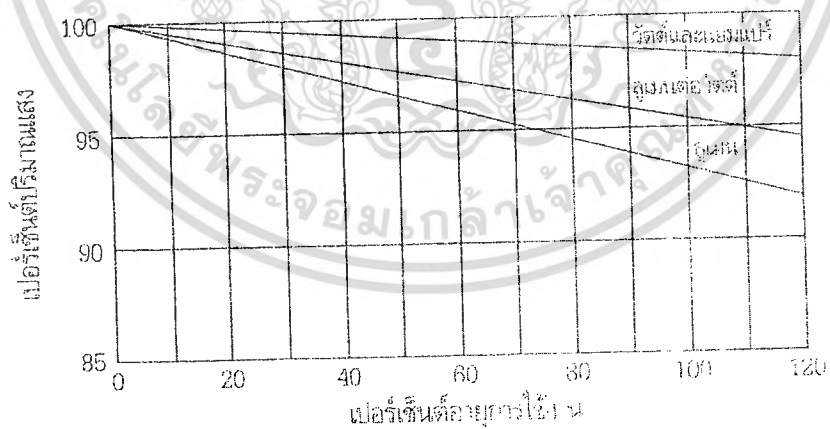
ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (Lamp Lumen Depreciation, LLD) ทุก ชนิดนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อหลอดไฟฟ้านั้นถูกใช้งานไปแล้ว ยิ่งใช้หลอดไฟฟ้าไปนานๆ ค่าความเสื่อมสภาพ ของหลอดไฟฟ้าย่อมจะต้องมากขึ้นไปด้วย ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้าในที่นี้ หมายถึง ปริมาณ จำนวนเส้นแรงของแสงสว่างในหน่วยลูเมนที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ ประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้ามีค่าลูเมนต่อวัตต์ลดลงตามไปด้วย การพิจารณาค่าความเสื่อมสภาพของ หลอดไฟฟ้าจะพิจารณาอยู่ในรูปการคงเหลืออยู่ของปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างว่ามีเหลืออยู่ที่ เปอร์เซ็นต์ของปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างในตอนเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.22



(ก) หลอดต่อขนานกัน



(ข) หลอดต่ออนุกรมกัน



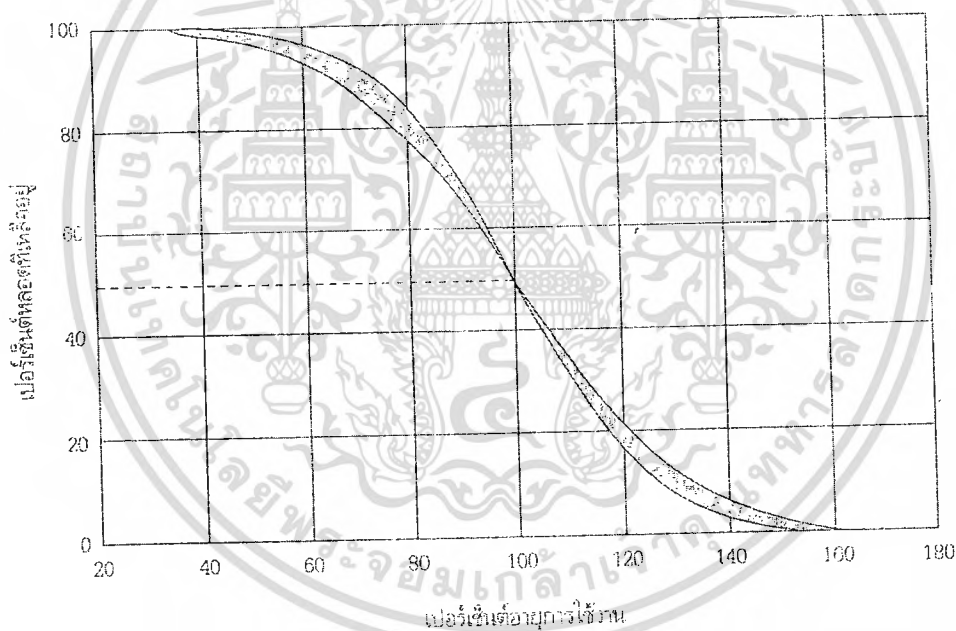
(ค) หลอดทั้งสแตน-ไอโอดีน

รูปที่ 2.22 การลดลงของปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างเมื่อใช้งานไปเรื่อยๆ ของหลอดไส้ชนิดต่างๆ (แหล่งที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง [4])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.6.3 อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า

อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า (Lamp mortality) แต่ละชนิดแต่ละประเภท จะมีอายุการใช้งานไม่เท่ากัน หลอดไฟฟ้าบางชนิดอาจจะมีอายุสั้น ใช้งานได้นานเพียงเสี้ยววินาที หลอดไฟฟ้าบางชนิดอาจจะมีอายุการใช้งานเป็นร้อยๆ ชั่วโมง หรือหลอดไฟฟ้าบางชนิดจะมีอายุการใช้เป็นพันเป็นหมื่นชั่วโมง ซึ่งขึ้นอยู่กับงานที่ต้องการใช้หลอดไฟฟ้าชนิดนั้นๆ แต่อายุการใช้งานจริงที่จะพูดถึงคือ อายุการใช้งานเฉลี่ยของหลอดไฟฟ้า ไม่ใช่นับตั้งแต่หลอดไฟฟ้านั้นทำงานจนกระทั่งหลอดไฟฟ้านั้นดับสนิท แต่หมายถึงการนำเอาหลอดไฟฟ้าจำนวนหนึ่งมาทำการทดสอบ โดยการปิด-เปิดทุกๆ 10 ชั่วโมง (ซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่จะใช้) จนกระทั่งหลอดในกลุ่มดังกล่าวนั้นดับสนิท และเสื่อมลดลงเหลือ 50% ของจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบทั้งหมด จึงยึดเอาระยะเวลานี้เป็นอายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้าโดยเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 กราฟแสดงอายุของการใช้งานของหลอดไส้

(แหล่งที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง [4])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งจะให้เกิดการทำงานอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยมีขอบเขตของงานและวัตถุประสงค์เป็นตัวกำหนดแนวทาง เพื่อไปสู่ข้อสมมุติฐานและการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตต่อไป การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย วิธีการวิจัย และการออกแบบชุดทดลองหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง และทดสอบการส่องสว่างดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

3.1.1 หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงทั้งแบบหลอดและแบบแผ่นบาง

3.1.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแสงจันทร์

3.1.3 ชุดโคมกระจายแสง

3.1.4 เครื่องมือวัดปริมาณแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.5 เครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.1.6 สายโพรบวัดกระแส ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.1.7 ดิจิตอลออสซิลอสโคป

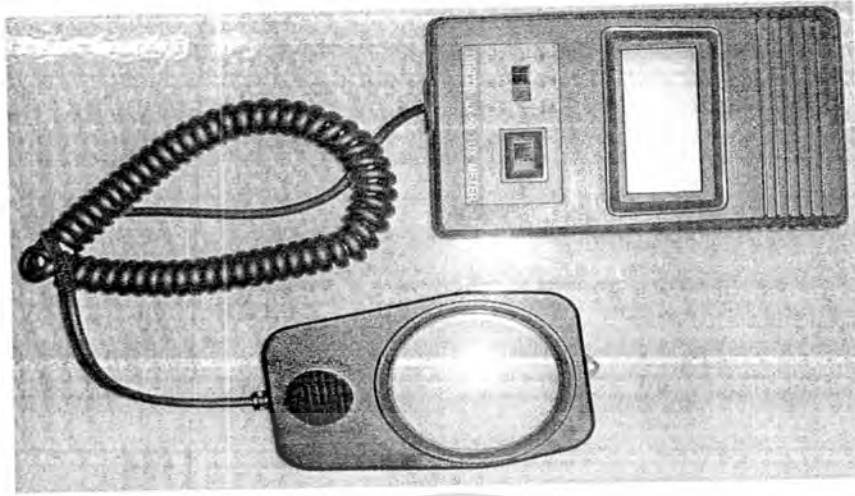
3.1.8 ชุดเครื่องมือช่าง

3.1.9 คอมพิวเตอร์

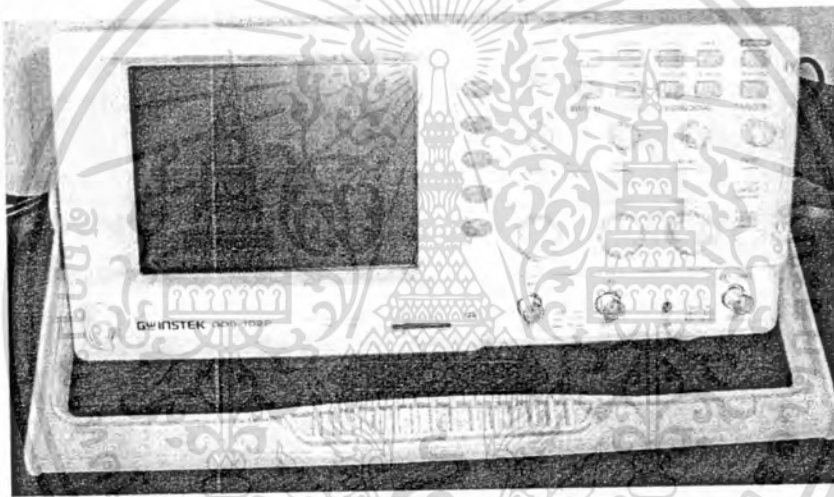
3.1.10 ไอซีเบอร์ IRS2541, HV9910, LM2576HV ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.

3.1.11 ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงติดตั้งพร้อมโคม ดังแสดงในรูปที่ 3.4

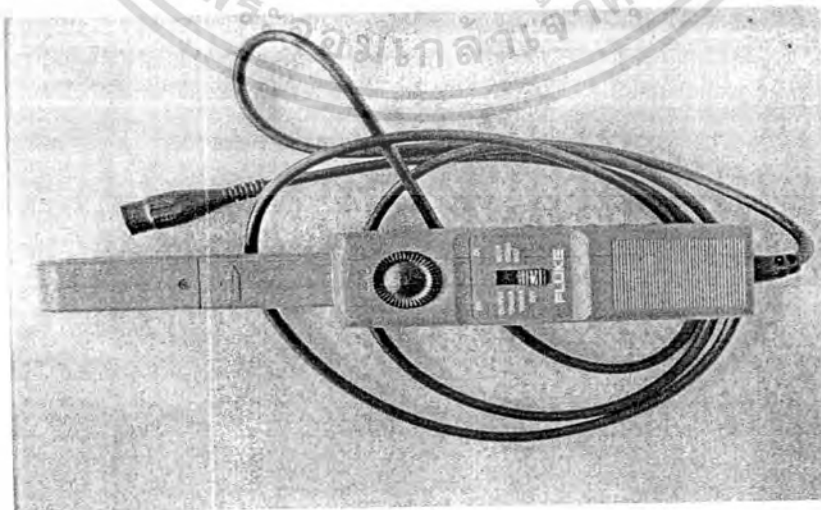
3.1.12 ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงออกแบบสำหรับไฟถนน 80 วัตต์ (โคมเต่า) และในลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์พิกัด 36 วัตต์ และ 18 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.1 เครื่องมือในการวัดปริมาณแสง (Lux Meter)

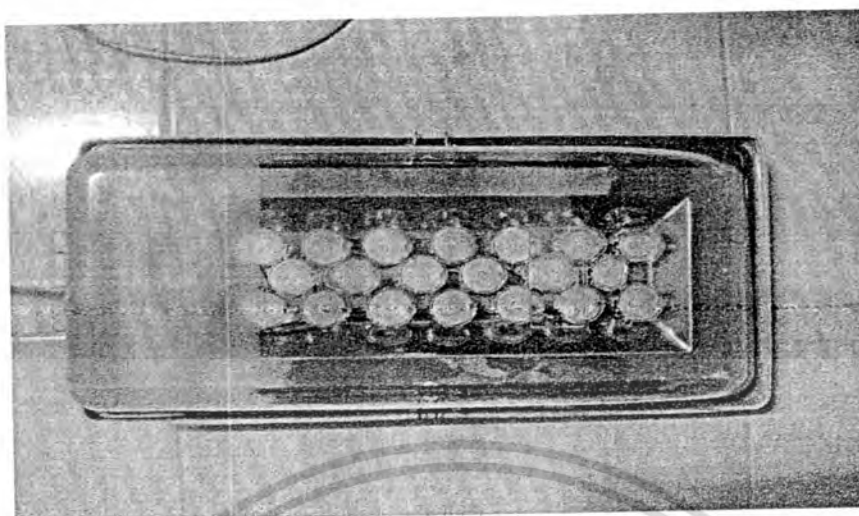


รูปที่ 3.2 เครื่องมือในการวัดกระแส (Oscilloscope)

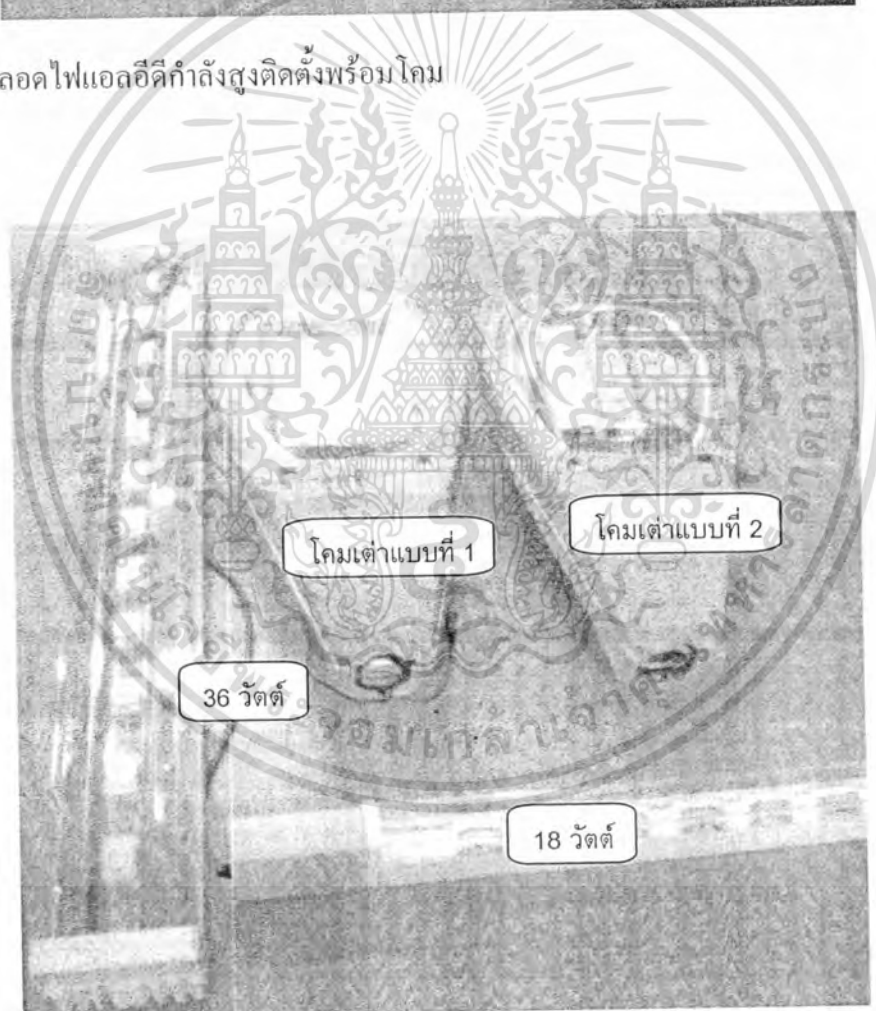


รูปที่ 3.3 สายโพรบวัดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงติดตั้งพร้อมโคม



รูปที่ 3.5 ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบขึ้นสำหรับไฟถนน 80 วัตต์ (โคมเต้า) และในลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์พิกัด 36 วัตต์และ 18 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 ศึกษาชนิดและข้อจำกัดในการทำงานของแอลอีดีกำลังสูง ค่าปริมาณแสงที่แอลอีดีสามารถสร้างขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นการศึกษาจากเอกสารข้อมูล (Data sheets) และทาง website ของบริษัทผู้ผลิตแอลอีดี รวมถึงบริษัทที่ได้มีการนำแอลอีดีไปประยุกต์ใช้งาน

3.2.2 ออกแบบหาจำนวนแอลอีดีกำลังสูงที่จะนำมาทำการทดลอง โดยการคำนวณหาจากการกำหนดจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสงในหน่วยลูเมนตามที่ต้องการ หรือกำหนดจากพิกัดของหลอดแสงจันทร์หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ทราบค่าจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสงสำหรับการเปรียบเทียบ

3.2.3 ออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแอลอีดีตามที่ได้คำนวณหาจำนวนแอลอีดีไว้แล้ว การออกแบบแหล่งจ่ายไฟดังกล่าวนี้ จะเป็นวงจรลดทอนระดับแรงดันที่เป็นการลดทอนระดับแรงดันในโหมดควบคุมกระแส โดยจะทำการเปรียบเทียบทั้งวงจรการควบคุมแบบเปิดและการควบคุมแบบปิด

3.2.4 จำลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้โปรแกรม PSIM เพื่อหาข้อผิดพลาดแล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข สำหรับการนำไปออกแบบวงจรจริงที่สามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพ

3.2.5 ศึกษาการจัดวางดวงโคมให้ได้ลักษณะของการกระจายแสง ตามดวงโคมชนิดกระจายแสงลง ทั้งนี้การจัดวางตำแหน่งของแอลอีดีกำลังสูงยังต้องคำนึงถึงรูปร่างทางกายภาพโดยรวม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ทดแทนหลอดไฟที่ใช้งานอยู่เดิมได้ด้วย

3.2.6 ออกแบบลายทองแดงของวงจรที่ได้มีการปรับปรุงแก้ไขเรียบร้อยแล้ว โดยใช้โปรแกรมออกแบบลายปรินต์

3.2.7 ทดลองการกระจายแสงในทิศทางต่างๆของหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้สร้างขึ้น และเก็บข้อมูลของการกระจายแสงที่ได้ กับการจัดวางตำแหน่งของแอลอีดีในแต่ละลักษณะ โดยทำการปรับเปลี่ยนมุมการวางชุดแอลอีดีเพื่อให้ได้การกระจายแสงที่ต้องการ

3.2.8 ทำการทดสอบปริมาณการส่องสว่างด้วยวิธีมาตรฐาน CIE 121:1996 โดยสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

3.2.9 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง พร้อมทั้งหาแนวทางการแก้ไขปัญหาสำหรับการนำไปใช้งานจริงในอนาคต

3.2.10 เผยแพร่ผลการวิจัยในลักษณะบทความวิจัยหรือบทความวิชาการ และแผ่นพับต่อสาธารณชน

งานวิจัยได้ดำเนินการตามแผนที่กำหนดไว้ แสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

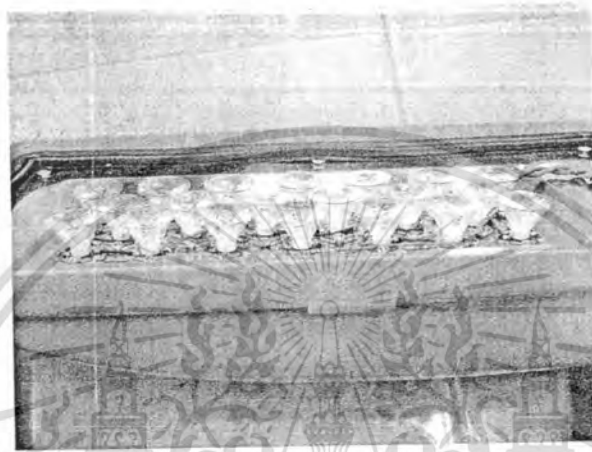
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการตามข้อ 3.2	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ (เดือนที่)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3.2.1												
3.2.2												
3.2.3												
3.2.4												
3.2.5												
3.2.6												
3.2.7												
3.2.8												
3.2.9												
3.2.10												

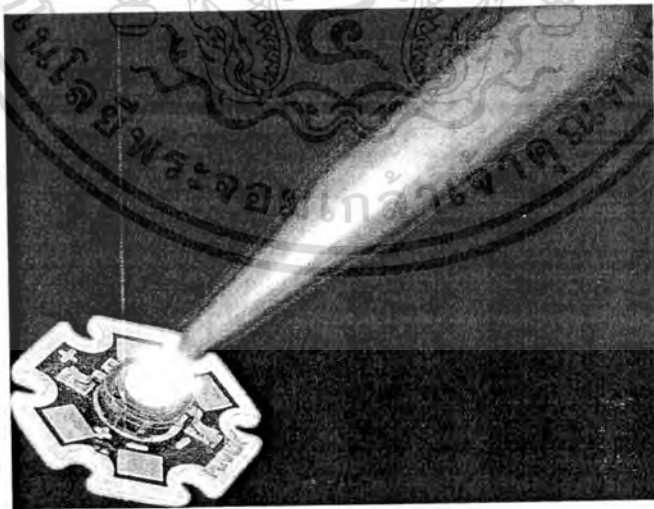
### 3.3 การออกแบบชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงและการทดสอบการส่องสว่างเบื้องต้น

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแอลอีดีกำลังสูงชนิด Luxeon แสดงในรูปที่ 3.6 เป็นแหล่งกำเนิดแสงสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพในหลายด้านด้วยกัน ได้แก่ด้านอายุการใช้งาน เสถียรภาพ และการส่องสว่าง แต่ปัญหาของแอลอีดีกำลังสูงชนิดนี้คือลักษณะของการกระจายแสงที่มีลักษณะพุ่งตรงแสดงในรูปที่ 3.7 ทำให้การออกแบบเพื่อจุดประสงค์ของการกระจายแสงทำให้มีปัญหาค่อนข้างมาก คณะผู้วิจัยจึงได้พยายามค้นหาแอลอีดีกำลังสูงชนิดอื่นมาทดสอบ ซึ่งมีชนิดหนึ่งที่สามารถให้การกระจายแสงได้ดีกว่าแอลอีดีแบบ Luxeon โดยมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆมีชื่อเรียกว่าแอลอีดีกำลังสูงขาวเย็น (Cool White High Power LED) แสดงในรูปที่ 3.8 โดยมีโครงร่างและลักษณะของวงจรภายในประกอบไปด้วยแอลอีดีหลายตัวแสดงในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

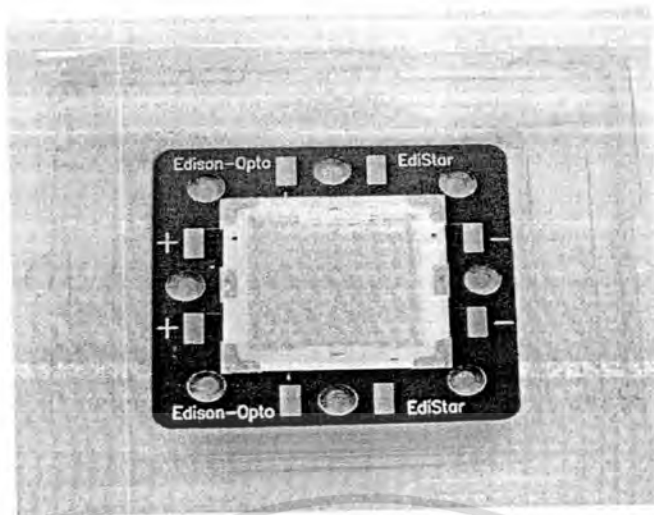


รูปที่ 3.6 (บน) แอลอีดีกำลังสูง Luxeon และ (ล่าง) เมื่อนำมาประกอบเป็นชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่ใช้ในการทดลองครั้งแรก

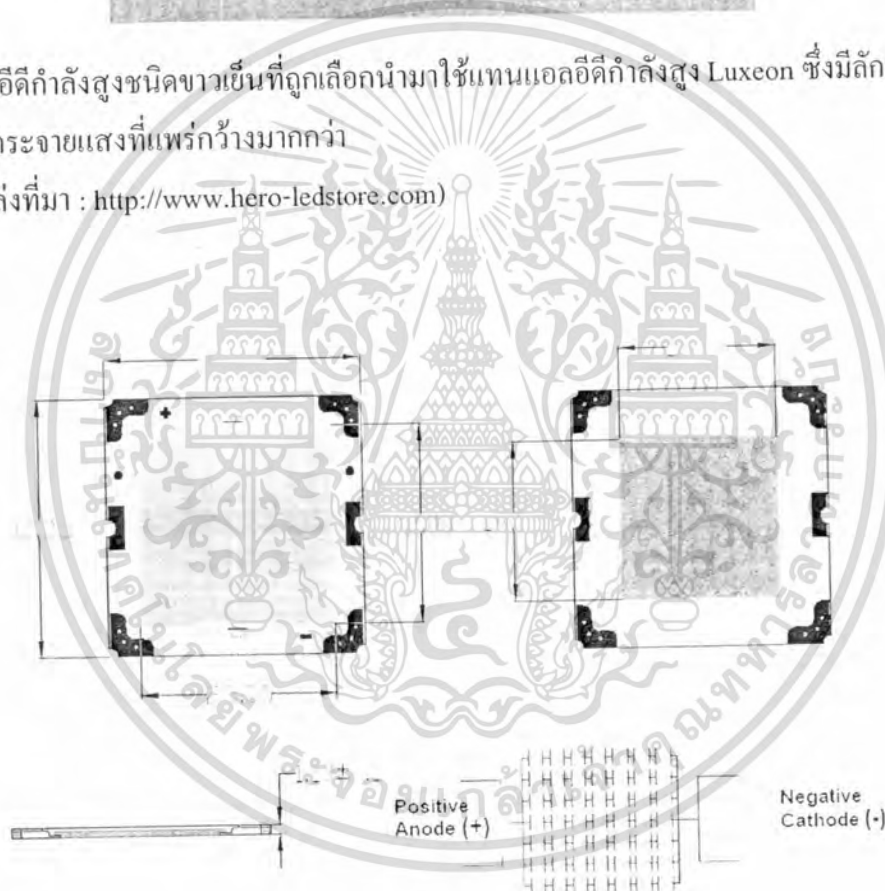


รูปที่ 3.7 ลักษณะการกระจายแสงของแอลอีดีกำลังสูง Luxeon ซึ่งมีลักษณะของการพุ่งตรง (แหล่งที่มา : <http://www.hero-ledstore.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แอลอีดีกำลังสูงชนิดขาเย็นที่ถูกเลือกนำมาใช้แทนแอลอีดีกำลังสูง Luxeon ซึ่งมีลักษณะของการกระจายแสงที่แผ่กว้างมากกว่า  
(แหล่งที่มา : <http://www.hero-ledstore.com>)

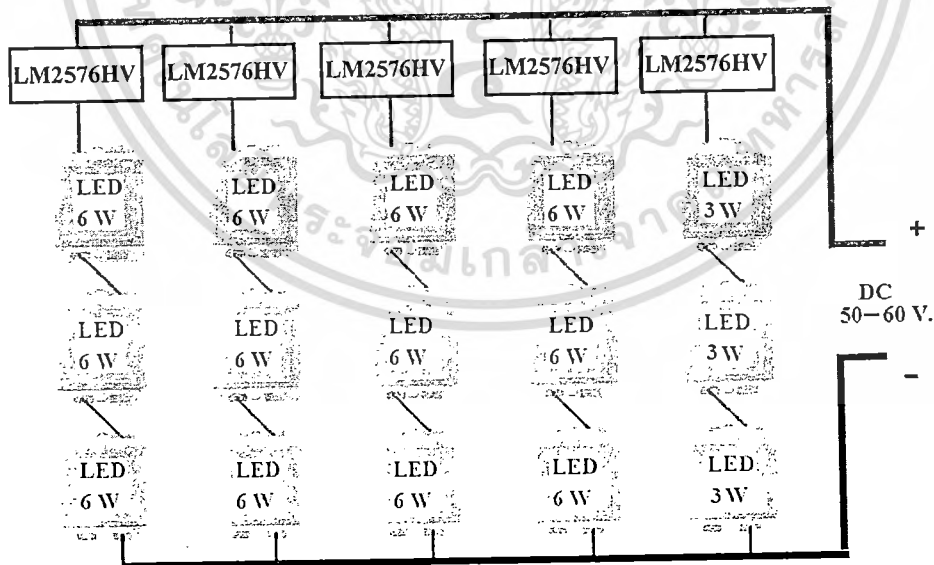


รูปที่ 3.9 มิติและวงจรภายในซึ่งประกอบไปด้วยแอลอีดีกำลังสูงหลายตัว  
(แหล่งที่มา : <http://www.hero-ledstore.com>)

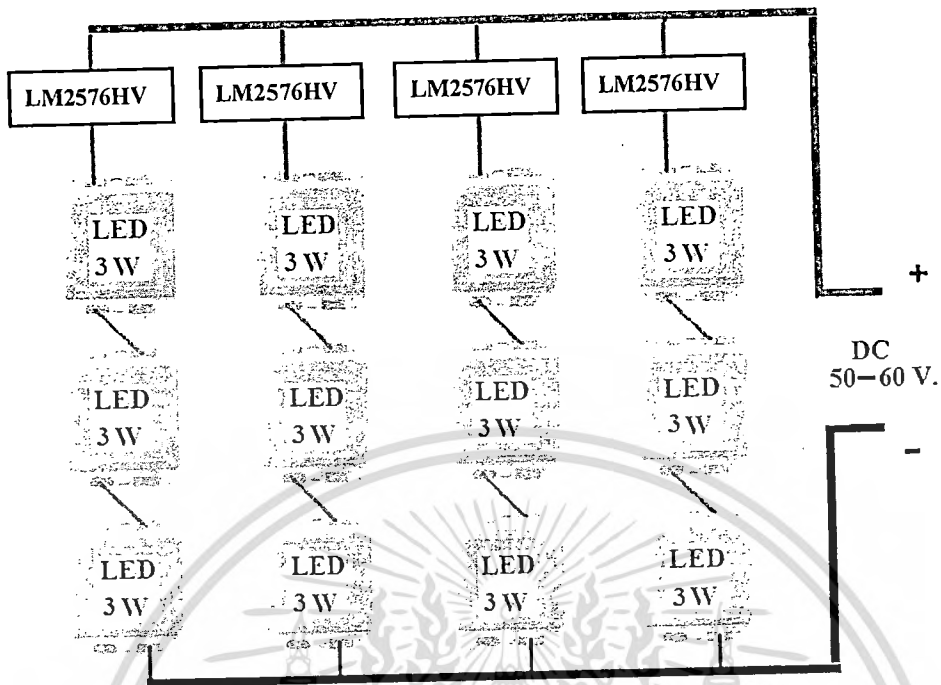
ในรูปที่ 3.9 แสดงวงจรภายในของแอลอีดีกำลังสูงชนิดขาเย็นซึ่งประกอบไปด้วยแอลอีดีกำลังสูงหลายตัวมาจัดวางรวมกันซึ่งจะทำให้มีคุณลักษณะของการกระจายแสงที่ดีกว่าการใช้แอลอีดีแบบเดิม สำหรับการนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์และไฟถนนตามจุดประสงค์ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการวิจัยนี้ต่อไป ในเบื้องต้นของการทดสอบการส่องสว่างที่ได้ทำการทดลอง โดยทำการติดตั้งโคมไว้ที่ระดับความสูง 2.6 เมตร จากนั้นติดตั้งเครื่องวัดแสง LUX Meter ที่ระยะห่าง 5 เมตร แล้วทำการวัดความเข้มแสงที่มุมก้ม  $2.5^\circ$  และมุมในแนวระดับ  $0^\circ, 2.5^\circ, 7.5^\circ, 12.5^\circ, 17.5^\circ, 22.5^\circ$  และ  $27.5^\circ$  ตามลำดับทำการทดลองด้วยโคม 3 ชนิดได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง Luxeon และชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงขาวเย็น

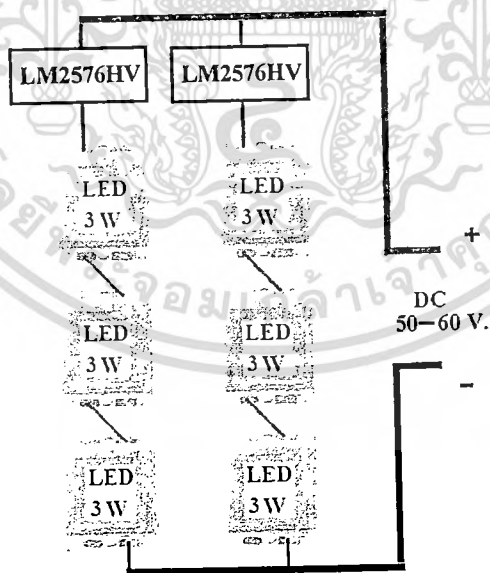
หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกแอลอีดีกำลังสูงแล้ว ได้นำมาต่อวงจรสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีพิกัดตามที่ได้วางแผนไว้ คือ 18 วัตต์ (ในลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์) 36 วัตต์ (ในลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์) และ 80 วัตต์ (ในลักษณะของโคมเต่า) ทั้งนี้ลักษณะของการต่อวงจรมีด้วยกัน 3 แบบแสดงในรูปที่ 3.10 ถึงรูปที่ 3.12 ซึ่งโดยสรุปแล้วเป็นการนำแอลอีดีกำลังสูงแบบแผ่นชนิดขาวเย็นมาต่ออนุกรมกัน 3 หลอด เพื่อให้สามารถรับระดับแรงดันไฟลิตซ์ที่ตกคร่อมได้ตั้งแต่ 50 โวลต์ จนกระทั่งถึง 60 โวลต์ ตามหลักการควบคุมกระแสให้คงที่โดยใช้ไอซี LM2576HV ที่มีวงจรสนับสนุนไม่มากและสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด โดยได้ถูกเลือกนำมาใช้แทนไอซี IRS2541 ที่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์อื่นๆเป็นจำนวนมากและค่อนข้างยากต่อการควบคุม ทั้งนี้วงจรภายในของไอซีทั้งสองแสดงในภาคผนวก และในรูปที่ 3.13 แสดงรูปจริงของลักษณะการจัดวางแอลอีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็นพิกัด 18 วัตต์ ถูกติดตั้งอยู่กับแผ่นระบายความร้อน ซึ่งจากรูปนี้จะเป็นลักษณะของการวางแผ่นแอลอีดีกำลังสูงติดกับแผ่นระบายความร้อนในระนาบเดียว



รูปที่ 3.10 ลักษณะการต่อวงจรของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงให้มียุติ 80 วัตต์

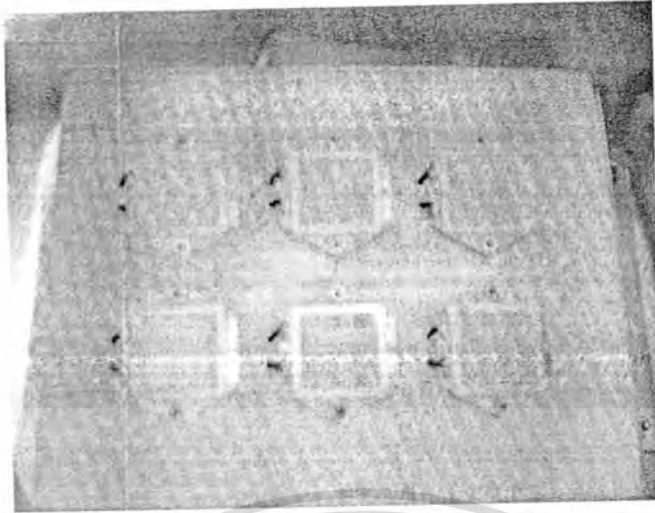


รูปที่ 3.11 ลักษณะการต่อวงจรของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงให้มีพิกัด 36 วัตต์



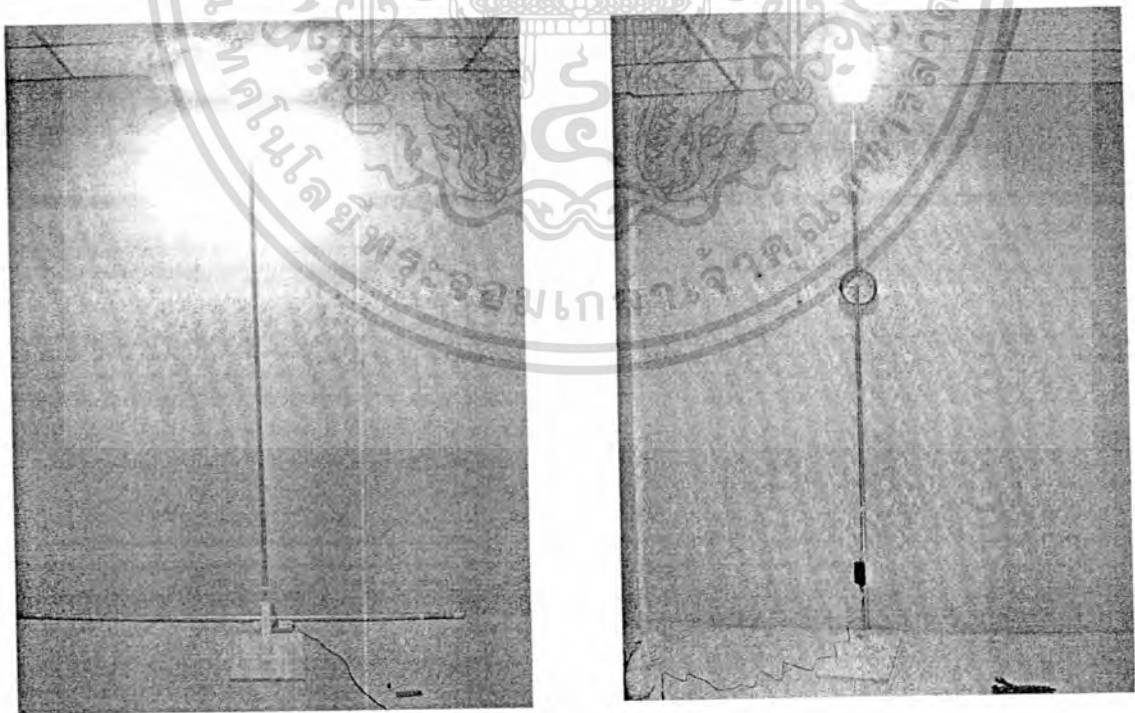
รูปที่ 3.12 ลักษณะการต่อวงจรของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงให้มีพิกัด 18 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



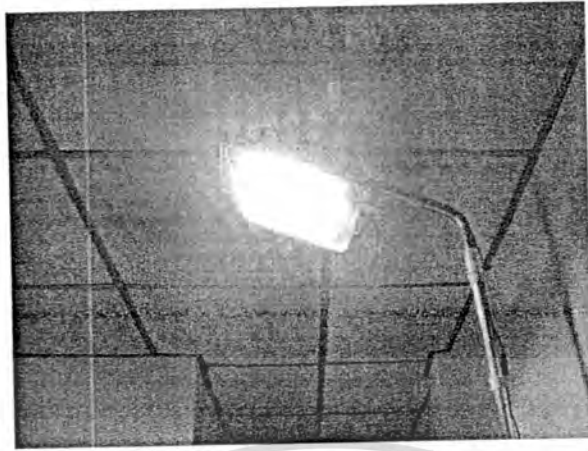
รูปที่ 3.13 ลักษณะการจั่ววงแอสีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็นพิกัด 18 วัตต์

ในรูปที่ 3.14 แสดงการติดตั้งชุดโคมไฟที่ประดิษฐ์ขึ้นจากแอสีดีกำลังสูงที่มีชุดวงจรขับที่สามารถจ่ายกระแสได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การทดสอบดังกล่าวเป็นเพียงการทดสอบในห้องดินเท่านั้น เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการให้มีความเหมาะสม เช่น มุมองศาของแผ่นแอสีดีกำลังสูงให้ได้การกระจายแสงที่ต้องการ ก่อนนำไปทดสอบกับสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความน่าเชื่อถือต่อไป



รูปที่ 3.14 (ซ้าย) ชุดดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ขวา) ชุดดวงโคมหลอดแอสีดีกำลังสูง Luxeon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 (ต่อ) ชุดดวงโคมหลอดแอลอีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

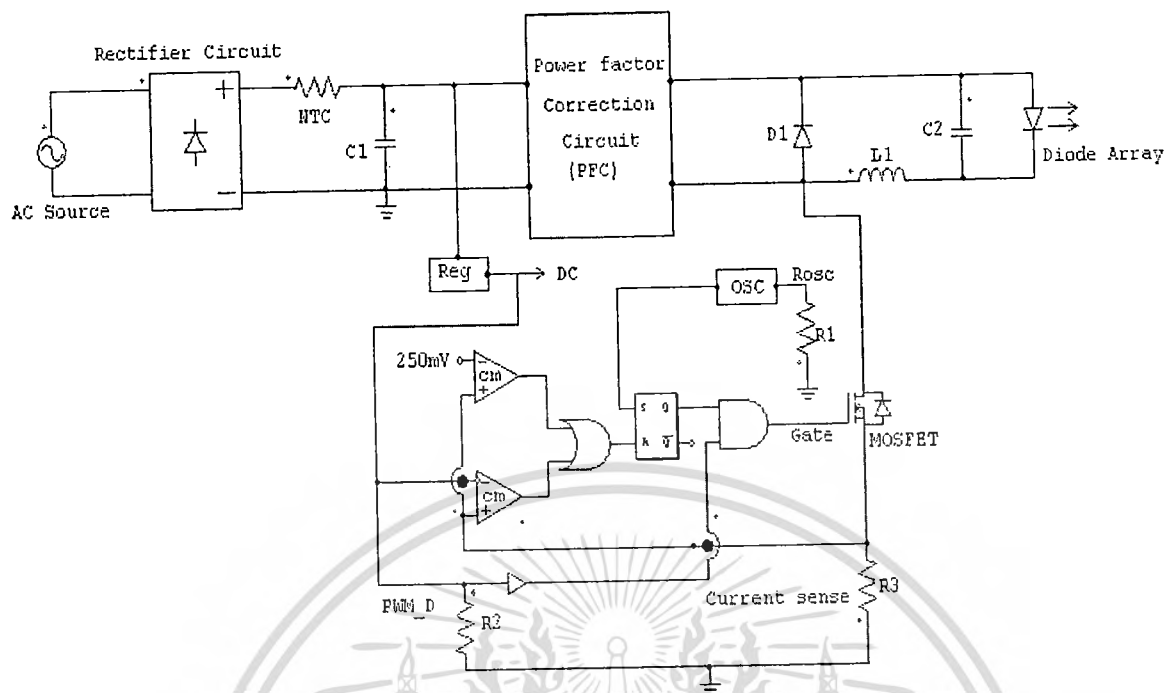
### ผลการวิจัย

ด้วยวิธีดำเนินการวิจัยทั้ง 10 ขั้นตอนนั้นสามารถแยกเป็นผลการวิจัยที่สำคัญ 2 แนวทาง กล่าวคือ ผลการวิจัยดำเนินการออกแบบวงจรขับของชุด โคมแอลอีดีกำลังสูง และอีกผลการวิจัยหนึ่งคือการทดสอบปริมาณการส่องสว่าง ซึ่งมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

#### 4.1 การออกแบบวงจรขับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง

ผลการวิจัยในหัวข้อนี้ได้มุ่งเน้นเพื่อให้ได้ชุดวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง ที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเริ่มจากการศึกษาถึงการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่มีประสิทธิภาพซึ่งพบว่าจำเป็นต้องออกแบบให้ชุดวงจรขับหลอดแอลอีดีสามารถจ่ายกระแสได้อย่างคงที่และต่อเนื่องตลอดการเปิดใช้งาน ในขั้นของการทดสอบเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ฟลักซ์ 18 วัตต์ และ 36 วัตต์ และหลอดแสงจันทร์ฟลักซ์ 80 วัตต์นั้นสามารถออกแบบจำนวนของหลอดแอลอีดีกำลังสูงได้จากฟลักซ์ของหลอดแอลอีดีที่มีด้วยกันหลายฟลักซ์ได้แก่ 3 วัตต์ และ 6 วัตต์ กล่าวคือที่ฟลักซ์ 18 วัตต์ ได้ใช้หลอดแอลอีดี 3 วัตต์ จำนวน 6 หลอด และที่ฟลักซ์ 36 วัตต์ ได้ใช้หลอดแอลอีดี 3 วัตต์ จำนวน 12 หลอด และสำหรับที่ฟลักซ์ 80 วัตต์ ได้ใช้หลอดแอลอีดีทั้ง 3 วัตต์ และ 6 วัตต์ รวมทั้งการจำกัดกระแสในบางวงจรย่อยเพื่อให้ได้ 80 วัตต์ ทั้งนี้ในบทที่ 3 ได้แสดงการต่อวงจรไว้แล้ว ชุดวงจรขับหลอดแอลอีดีดังกล่าวได้ถูกจำลองการใช้งานก่อนนำมาใช้งานจริงด้วยโปรแกรม PSIM ก่อนออกแบบลายทองแดงด้วยโปรแกรมออกแบบลายปริ้นต่อไป

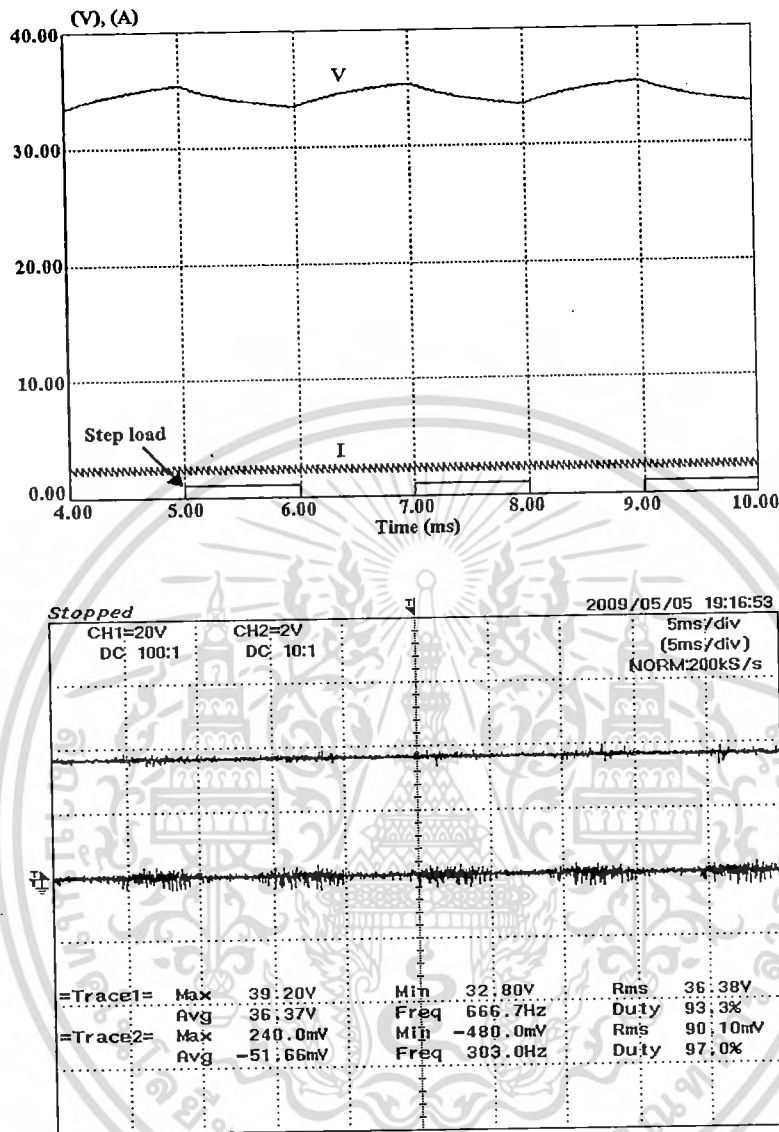
วงจรของชุดแหล่งจ่ายไฟหรือต่อไปนี้จะเรียกเป็นชุดวงจรขับที่ได้ออกแบบขึ้นแสดงในรูปที่ 4.1 โดยวงจรขับดังกล่าวนี้จะเป็นวงจรทอนระดับแรงดันหรือเรียกว่าวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter) ที่มีการควบคุมแบบลูปิด โดยมีวงจรสำหรับควบคุมกระแสให้มีค่าคงที่ วงจรดังกล่าวนี้ก่อนนำไปออกแบบลายปริ้นได้ทำการจำลองเพื่อให้ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพ โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองวงจรได้ใช้โปรแกรมจำลองการทำงาน ผลการจำลองและผลการทดลองจริงเมื่อนำมาขับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงแสดงในรูปที่ 4.2 (บน) ซึ่งพบว่าวงจรขับดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.1 วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงและวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การทดลองเริ่มต้นด้วยการศึกษาการเกิดขึ้นของฮาร์มอนิก ทั้งในแรงดันและกระแสของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่มีแหล่งจ่ายไฟเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage source) ที่ประกอบด้วยหม้อแปลงแรงดันเปรียบเทียบกับวงจรของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ซึ่งรวมบัลลาสต์อยู่ด้วย) ได้ผลการทดลองในรูปที่ 4.2 (ล่าง) ทั้งนี้สัญญาณที่ได้ถูกจัดเก็บในลักษณะของไฟล์แบบ ASCII โดยใช้สโคปแบบดิจิทัลสำหรับนำมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อตรวจสอบฮาร์มอนิกที่รวมอยู่ในสัญญาณมาตรฐานดังกล่าว

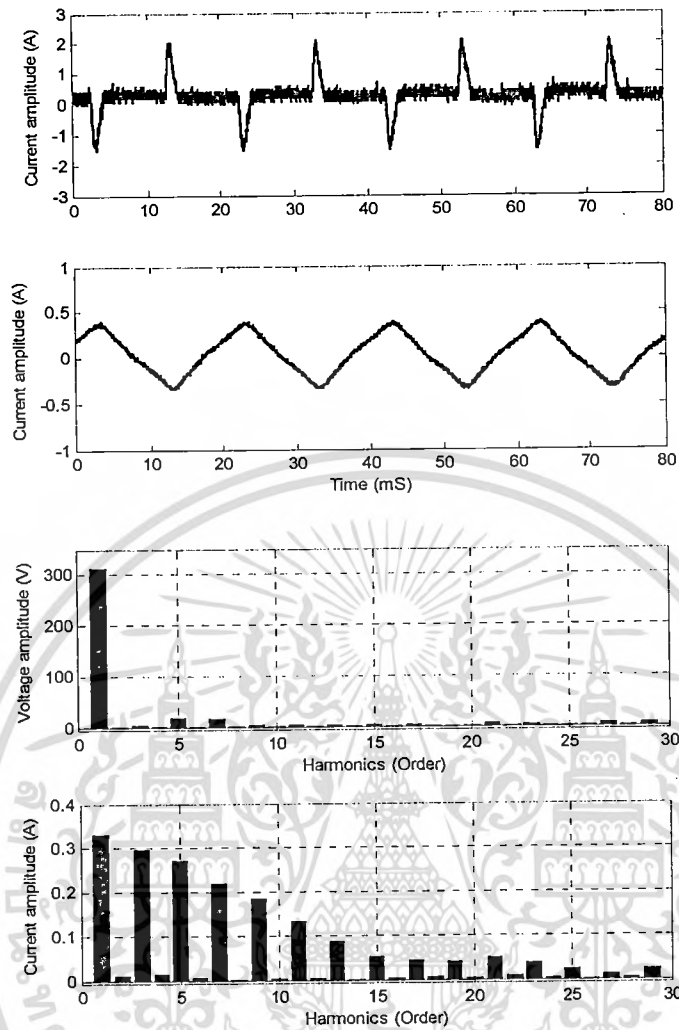
วงจรที่ได้ออกแบบขึ้นนี้ได้ถูกนำไปทดสอบกับแหล่งจ่ายไฟชนิดอื่นตามที่ได้กล่าวมาแล้วได้ผลดังนี้ โดยจากการคำนวณหาค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total harmonic distortion, THD) ของทั้งแรงดันและกระแสของวงจรชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงในรูปที่ 4.3 ได้ค่า  $THD_v = 10.08\%$  และ  $THD_i = 165.51\%$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า  $THD_i$  มีค่าสูงมาก จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขให้มีค่าที่ต่ำกว่านี้สำหรับในส่วนของวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีบัลลาสต์รวมอยู่ด้วยได้ค่า  $THD_v = 9.98\%$  และ  $THD_i = 14.72\%$  (ไม่ได้แสดงรูปสเปกตรา) การทดลองต่อมาเมื่อแหล่งจ่ายของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงเป็นแบบการสวิตช์ (Switching) ซึ่งยังคงเป็นแบบจ่ายแรงดันได้ผลการทดลองในรูปที่ 4.4 ผลการทดลองนี้แสดงเฉพาะสเปกตราของสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตช์ซึ่งจ่ายให้กับแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์และ 18 วัตต์ พร้อมทั้งแสดงข้อมูลคุณภาพทางไฟฟ้าที่สำคัญอีกด้วย



รูปที่ 4.2 สัญญาณแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง (บน) ผลการจำลองวงจรแบบ ลูปปิดและ (ล่าง) ผลการทดลองจริง

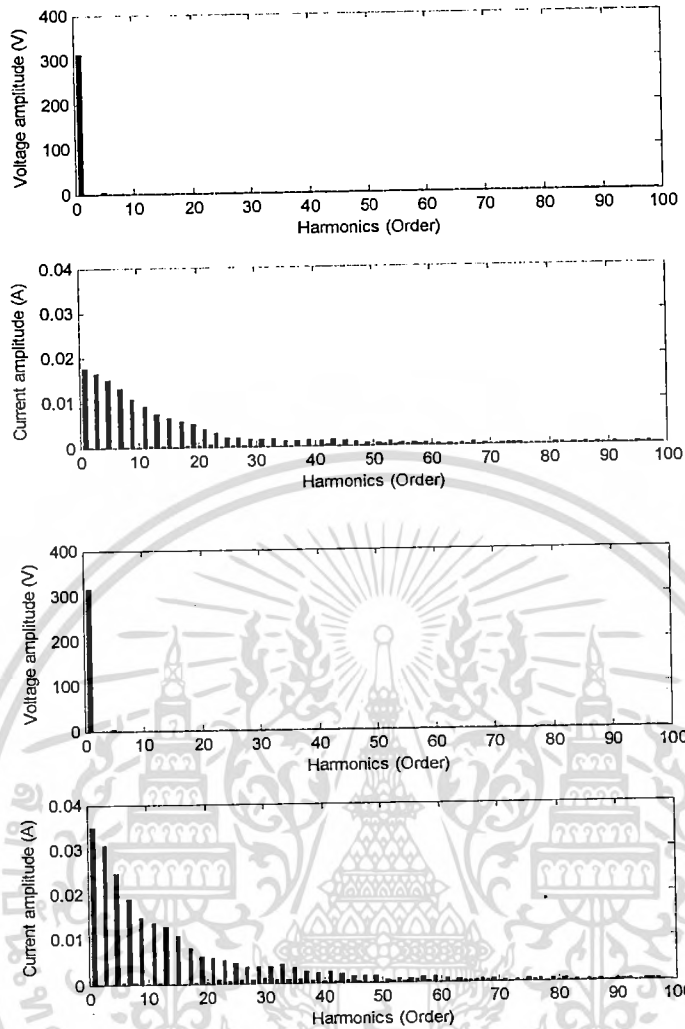
ที่กล่าวมาชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่มีแหล่งจ่ายไฟเป็นเพียงแหล่งจ่ายแรงดันมีค่า THDi ที่สูงมาก ทำให้ต้องมีการปรับปรุง เพื่อให้ได้คุณภาพไฟฟ้าที่ดีด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าโดยทั่วไปแล้ว ทิศทางการกระจายแสงจะขึ้นอยู่กับประเภทของดวงโคม ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทตามลักษณะของการนำไปใช้งาน แต่จากการทบทวนงานวิจัยในเอกสารอ้างอิง พบว่าวงจรขับซึ่งนำมาเป็นแหล่งจ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงนั้นจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการส่องสว่าง โดยกล่าวว่าหากควบคุมกระแสให้กับแอลอีดีได้ก็จะทำให้มันสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (2 รูปบน) รูปคลื่นกระแสของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อแหล่งจ่าย เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (2 รูปล่าง) สเปกตรัมแรงดันและกระแสของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง

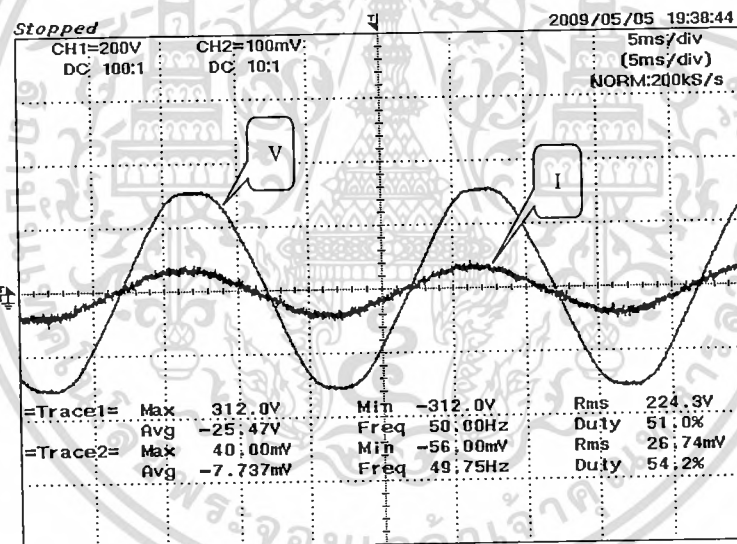
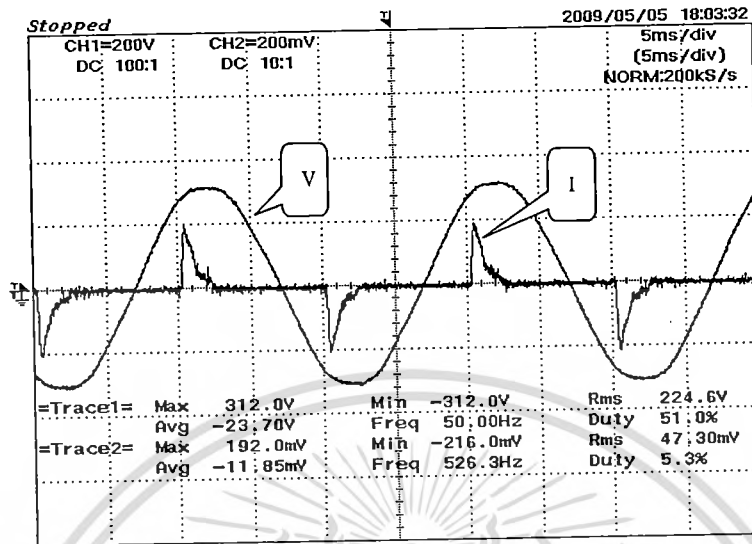
ในงานวิจัยนี้นอกจากจะได้ออกแบบให้แอลอีดีสามารถทำงานภายใต้กระแสที่มันต้องการแล้ว ยังได้ให้ความสำคัญกับสัญญาณฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นทางด้านอินพุตของวงจรด้วย ผลการทดลองในรูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรแบบสวิตช์ซึ่งเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้รวมอยู่ด้วย จ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์ และ 18 วัตต์ ซึ่งจะเห็นว่าในกรณีของแหล่งจ่ายแบบสวิตช์ซึ่งที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะทำให้สัญญาณกระแสมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์พร้อมทั้งมีตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 ซึ่งสามารถแสดงผลของสเปกตรัมทั้งแรงดันและกระแสได้ในรูปที่ 4.6 โดยได้แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) ทั้งสัญญาณแรงดันและกระแสไว้แล้วด้วย



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตซิ่งซึ่งจ่ายให้กับหลอดแอลอีดีกำลังสูง (2 รูปบน) พิกัด 18 วัตต์ มีค่า  $THD_v=1.54\%$ ,  $THD_i=169.05\%$  และ  $\eta=61.94\%$  (2 รูปล่าง) พิกัด 36 วัตต์ มีค่า  $THD_v=1.95\%$ ,  $THD_i=155.54\%$  และ  $\eta=62.37\%$

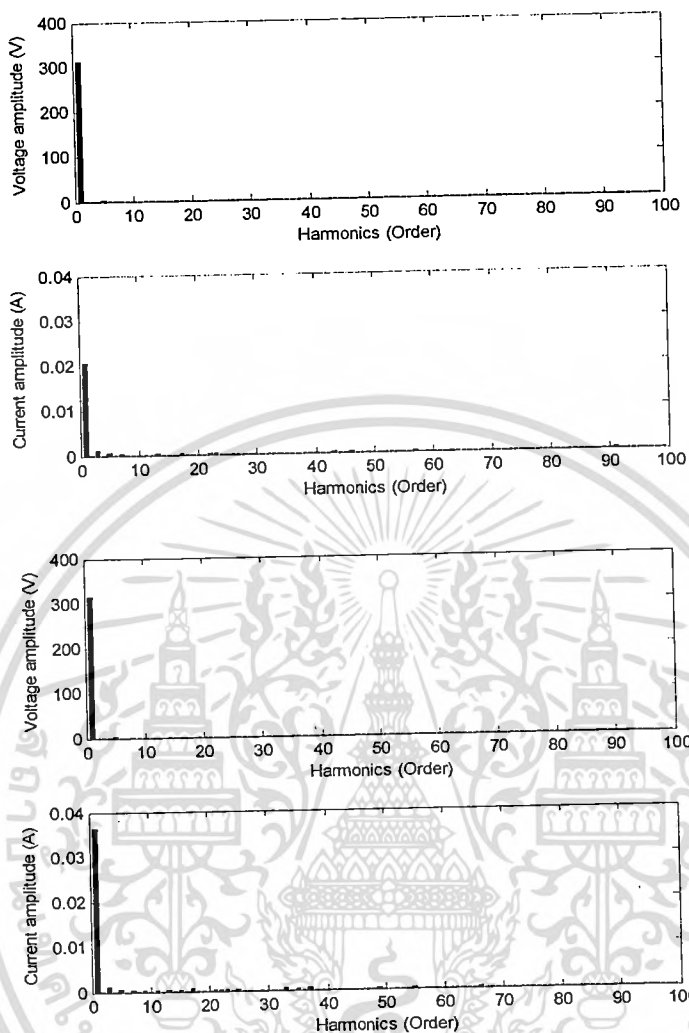
นอกจากนี้ยังได้แสดงประสิทธิภาพ ( $\eta$ ) ของวงจรชุดขับ ซึ่งผลที่ได้ถึงแม้ว่าวงจรชุดขับแบบสวิตซิ่งที่มีการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังจะให้ค่าประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกันมากนักกับวงจรชุดขับแบบสวิตซิ่งที่ไม่มีการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลัง อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพที่ได้ของวงจรขับแบบสวิตซิ่งที่มีการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังยังน่าจะสามารถทำให้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่านี้ได้ ซึ่งประการหนึ่งที่คณะผู้วิจัยคิดว่าเป็นปัญหาทำให้ประสิทธิภาพมีค่าต่ำคือ การเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม เช่น การเลือกใช้อุปกรณ์การสวิตซ์ที่ไม่เหมาะสมกับกระแสที่ไหลในวงจรเช่น ค่าความต้านทานในการไบแอส ค่าตัวต้านทานในการป้อนกลับ ค่าความเหนี่ยวนำ เป็นต้น รูปที่ 4.7 แสดงวงจรขับพร้อมด้วยวงจรปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกแบบขึ้น

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



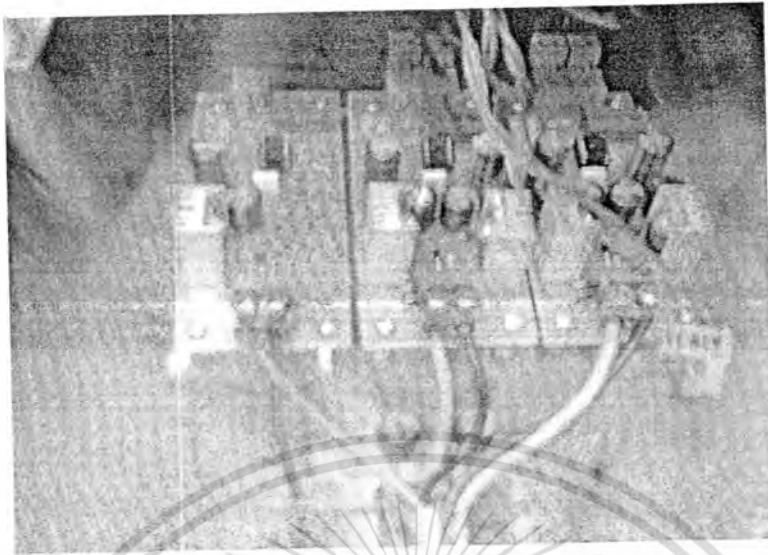
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของแหล่งจ่ายไฟเมื่อจ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์ (บน) เมื่อแหล่งจ่ายเป็นแบบสวิตชิ่งและ (ล่าง) มีวงจรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตซิ่งที่มีการปรับรูปร่างตัวประกอบกำลังซึ่งง่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง . (2 รูปบน) พิกัด 18 วัตต์มีค่า THD<sub>v</sub>=1.97%, THD<sub>i</sub>=11.89% และ  $\eta$  = 63.14% และ (2 รูปล่าง) พิกัด 36 วัตต์ มีค่า THD<sub>v</sub>=1.89%, THD<sub>i</sub>=8.48% และ  $\eta$  = 63.65%

รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 แสดงรูปจริงของการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้มีการปรับแก้ไขหลายครั้งเพื่อให้ได้ควมโคมที่ประดิษฐ์จากชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่มีวงจรขับที่มีประสิทธิภาพ ก่อนนำไปทดสอบการส่องสว่างต่อไป

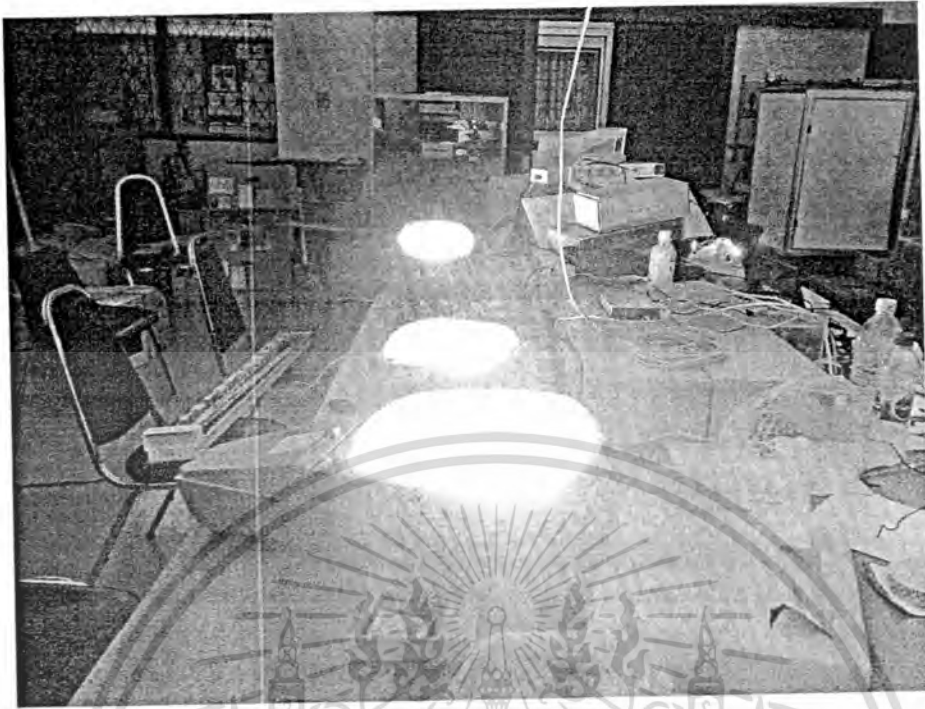


รูปที่ 4.7 วงจรขับพร้อมด้วยวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกแบบขึ้น



รูปที่ 4.8 การทดลองวงจรขับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงในห้องปฏิบัติการ

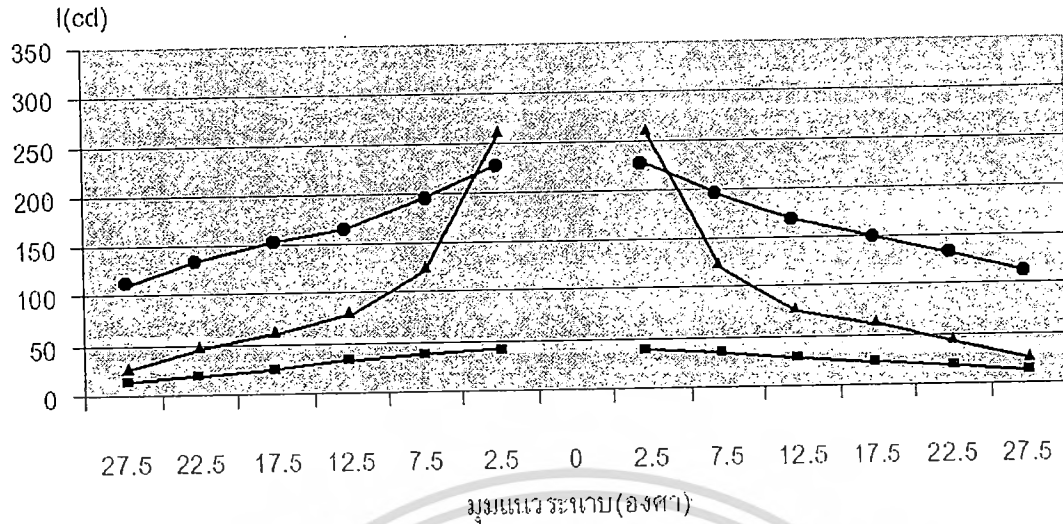
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การทดลองการส่องสว่างก่อนนำไปติดตั้งกับเสาสำหรับการทดสอบต่อไป

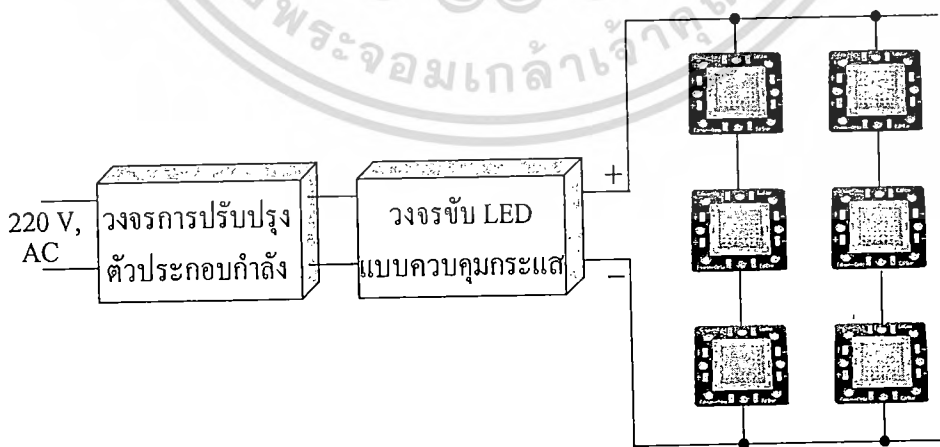
สำหรับการทดสอบด้านคุณลักษณะของการส่องสว่างเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยได้นำค่าที่ได้จากการทดสอบนี้มาทำการพล็อตกราฟโพลาร์ (Plot polar curve) ผลการทดลองในเบื้องต้นแสดงลักษณะของเส้นกราฟโพลาร์ในรูปที่ 4.10 ซึ่งจากการทดลองพบว่าชุดโคมไฟที่ใช้แอลอีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็นมีลักษณะของการกระจายแสงค่อนข้างสม่ำเสมอ (ด้วยมุมเอียงของแผ่นแอลอีดีกำลังสูงที่ได้เลือกแล้ว) แอลอีดี Luxeon แด่มากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ อย่างไรก็ตามการทดลองการกระจายนี้ถึงแม้ว่าจะได้มีการทดสอบอย่างระมัดระวังของผลกระทบจากสาเหตุอื่นแล้วก็ตาม แต่ก็ยังคงมีแสงจากภายนอกสามารถส่องเข้ามาได้ ทั้งนี้ชุดหลอดไฟส่องสว่างด้วยแอลอีดีกำลังสูงที่ได้มีการปรับปรุงแล้วจะถูกนำไปทดลองในห้องปฏิบัติการของศูนย์ทดสอบสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



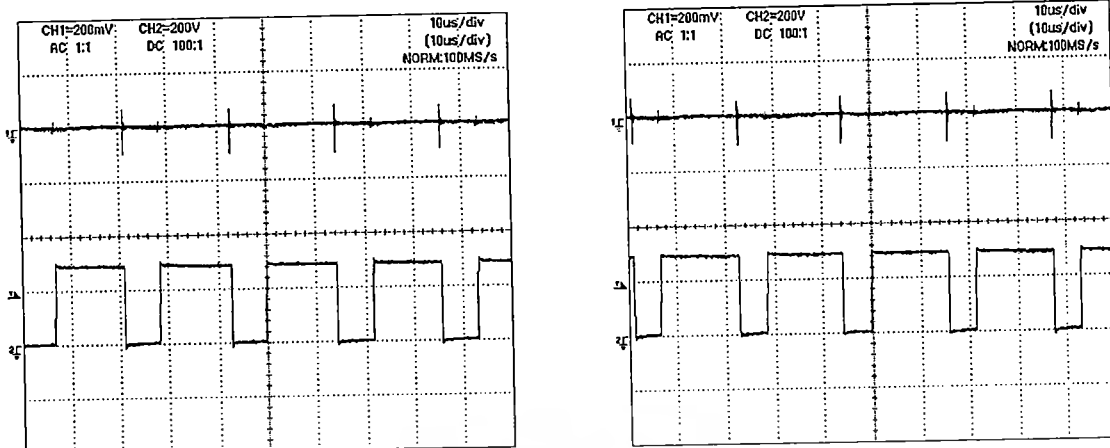
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการกระจายแสงของหลอด (■) ฟลูออเรสเซนต์ (▲) ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง Luxeon และ (●) ชุดดวงโคมหลอดแอลอีดีกำลังสูงชนิดขาวเย็น

ทั้งนี้โดยสรุปแล้วการออกแบบชุดส่องสว่างที่ประดิษฐ์ขึ้นจากหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงสามารถแสดงในลักษณะของบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.11 ผลการทดลองในรูปที่ 4.12 ได้ยืนยันถึงความสามารถของวงจรชุดขับที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้แสดงสัญญาณกระแสเอาต์พุตและแรงดันคดคร่อม MOSFET ที่ได้จากการทดลองที่พิกัดโหลด 18 วัตต์ และได้เพิ่มโหลดเป็น 24 วัตต์ จากรูปการทดลองจะพบว่ารอบการทำงาน (Duty cycle) ได้เพิ่มขึ้นเพื่อรักษาค่ากระแสให้คงที่



รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรมการต่อใช้งานของโคมไฟส่องสว่างที่ประดิษฐ์จากหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

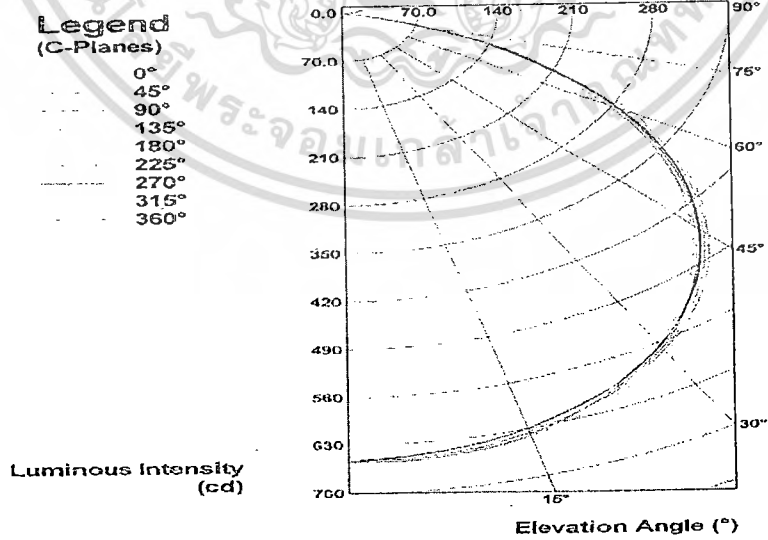
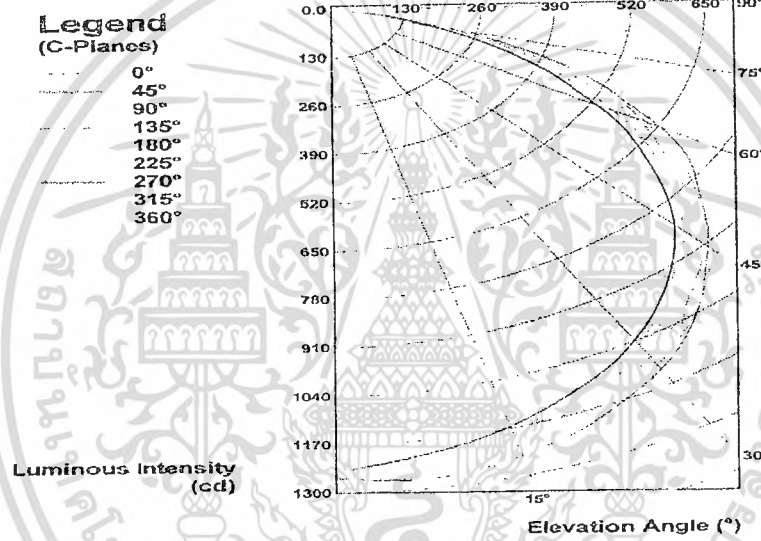
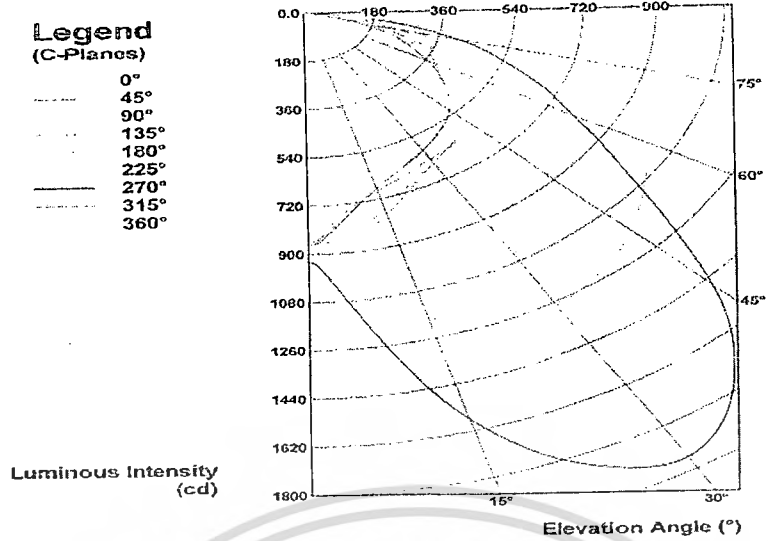


รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแสเอาต์พุตและแรงดันตกคร่อม MOSFET (ซ้าย) ที่พิกัดโหลด 18 วัตต์ และ (ขวา) เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นเป็น 24 วัตต์

#### 4.2 การทดสอบปริมาณการส่องสว่าง

ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ถูกนำมาใช้ในการออกแบบชุดส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูงได้แก่ ชุดโคมเต่าพิกัด 80 วัตต์ และในลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์พิกัด 36 วัตต์ และ 18 วัตต์ อย่างไรก็ตามในการทดสอบลักษณะของการส่องสว่างภายในอาคารระหว่างชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่พิกัดเดียวกันพบว่า ลักษณะของการส่องสว่างที่จ้าในบางตำแหน่งของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง ขาดความสม่ำเสมอของแสงซึ่งต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในลักษณะของการส่องสว่างภายนอกอาคารนั้น เช่นการใช้สำหรับส่องถนนภายในหมู่บ้าน หรือถนนในซอยต่างๆ และถ้าหากเป็นถนนใหญ่ที่มีใช้งานโคมเต่าเป็นจำนวนมากนั้น ซึ่งมีลักษณะของการส่องสว่างที่แตกต่างไปจากการส่องสว่างภายในอาคาร ก็จะสามารถนำชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงมาใช้ทดแทนได้

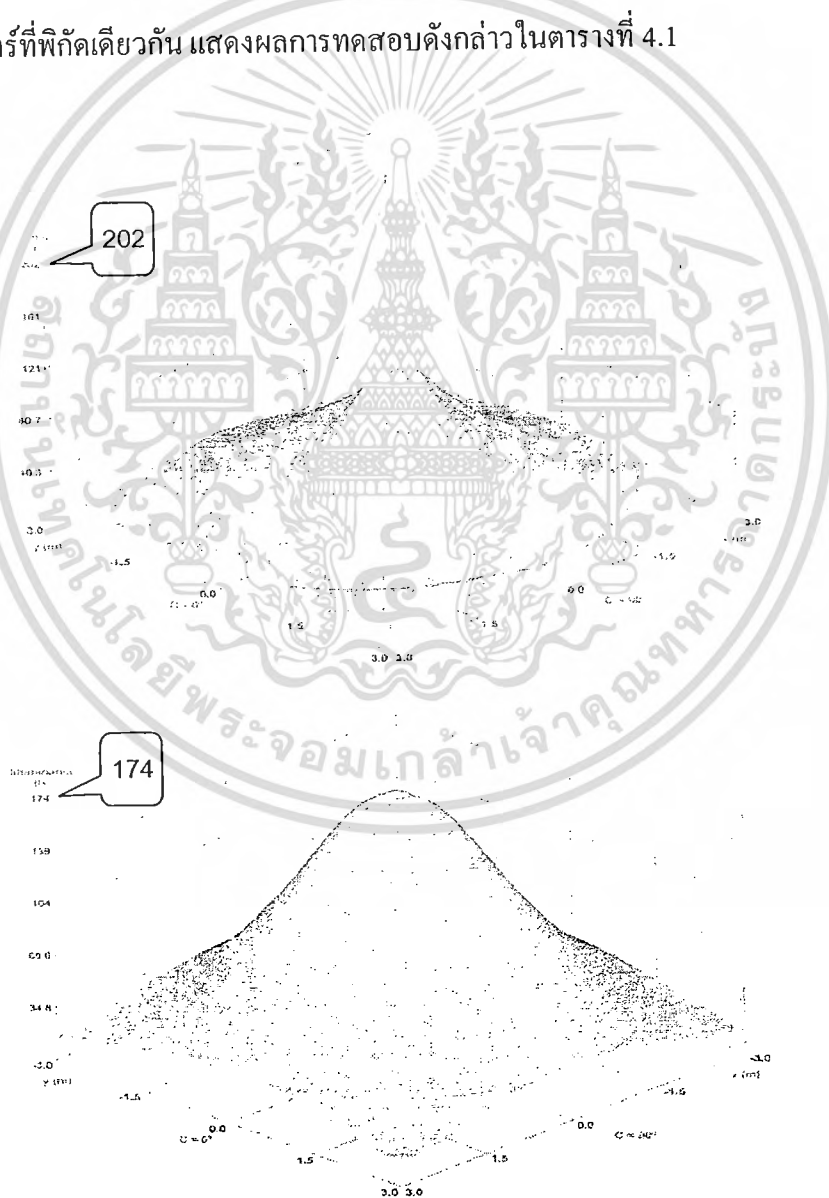
ทั้งนี้จากการทดสอบลักษณะของการกระจายแสงที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการทางแสงของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าลักษณะการกระจายแสงของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงทั้งโคมเต่า และโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ในรูปที่ 4.13 (กลาง) และ 4.13 (ล่าง) มีลักษณะของการกระจายแสงที่คล้ายกัน คือมีลักษณะของการกระจายแสงที่เท่ากันในทุกระนาบ ต่างจากโคมหลอดแสงจันทร์ในรูปที่ 4.13 (บน) ที่มีลักษณะของแสงพุ่งไปเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง ที่กล่าวมาจะเป็นคุณลักษณะของรูปทรงของหลอดและการจัดวางมุมองศาของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง และโคมฉายเป็นสำคัญ ซึ่งจะทำให้ปริมาณความเข้มของการส่องสว่างในหน่วยแคนเดลา (CD) สามารถมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละระนาบหรือใกล้เคียงกันได้ พิจารณาได้จากแกน Y ในรูปที่ 4.13 ซึ่งความแตกต่างของการส่องสว่างนี้จะถูกเลือกสำหรับการนำไปใช้งานด้วยเช่น ติดตั้งอยู่ริมถนนสำหรับไฟส่องถนนหรือติดตั้งอยู่กลางลานจอดรถ เป็นต้น (ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 18 วัตต์ ไม่ได้ถูกนำมาทดสอบโดยสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีพิกัดที่ต่ำเกินไปไม่คุ้มค่าต่อการนำมาใช้งานในปัจจุบัน) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ลักษณะการกระจายแสงของ (บน) หลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์ (กลาง) ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง 80 วัตต์ และ (ล่าง) ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง 36 วัตต์

คำอธิบาย : ทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันอินพุต 220 โวลต์ โดยสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงกราฟในลักษณะ 3 มิติของการส่องสว่างในหน่วยลักซ์ (Lux) ซึ่งพบว่าปริมาณการส่องสว่างสูงสุดที่ได้จากหลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์ มีค่าประมาณ 80 ลักซ์ ซึ่งน้อยกว่าชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 80 วัตต์ ที่มีค่าประมาณ 140 ลักซ์ แต่จะมีค่าปริมาณการส่องสว่างใกล้เคียงกับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์ ที่มีค่าประมาณ 72 ลักซ์ แต่ถ้าหากเปรียบเทียบในด้านของความสม่ำเสมอของแสงที่ได้แล้ว หลอดแสงจันทร์จะได้เปรียบกว่า อย่างไรก็ตามก็สามารถปรับมุมมองของหลอดแอลอีดีกำลังสูงให้มีความเหมาะสม และการนำไปประยุกต์ใช้งานตามที่ได้กล่าวมาอีกด้วย ดังเช่นชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง ในลักษณะของโคมเต่าแบบที่ 2 ในรูปที่ 4.15 ทั้งนี้ในกรณีของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง ข้อที่ได้เปรียบกว่าหลอดแสงจันทร์ที่พิกัดเดียวกัน คือสามารถลดจำนวนของเสาซึ่งมีราคาที่สูงลงได้ นอกจากนี้แล้วในการพิจารณาด้านการใช้กำลังไฟฟ้า ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงก็ยังได้เปรียบกว่าหลอดแสงจันทร์ที่พิกัดเดียวกัน แสดงผลการทดสอบดังกล่าวในตารางที่ 4.1



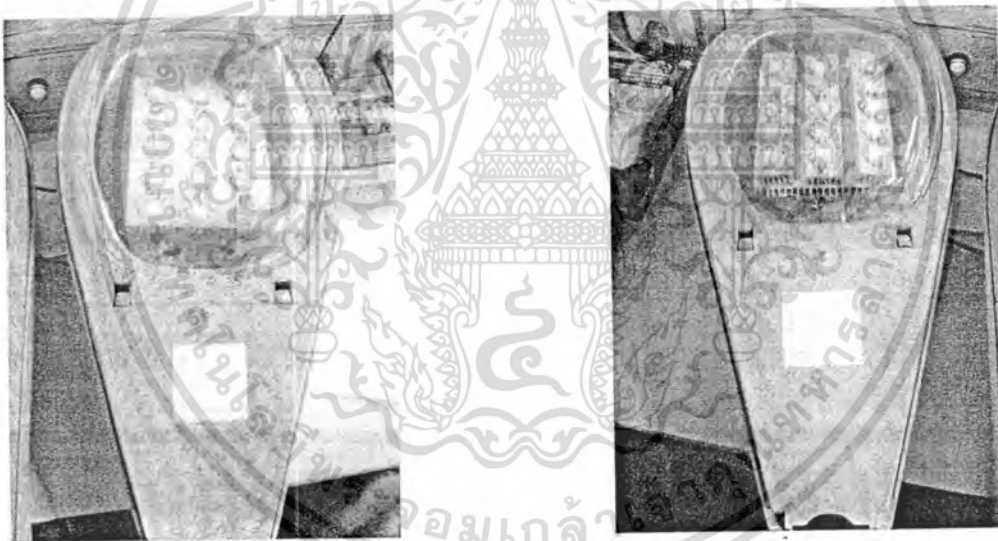
รูปที่ 4.14 ลักษณะการกระจายแสงของ (บน) หลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์ (ล่าง) ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง

80 วัตต์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 (ต่อ) ลักษณะการกระจายแสงของชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง 36 วัตต์

คำอธิบาย : ทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันอินพุต 220 โวลต์ โดยสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.15 ชุดหลอดไฟส่องสว่างที่ประดิษฐ์ขึ้น

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของดวงโคมแต่ละประเภท

ประเภทของหลอดไฟ	หลอดฟลูออเรสเซนต์		หลอดแสงจันทร์ (80 วัตต์)	ชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูง		
	18 วัตต์	36 วัตต์		18 วัตต์	36 วัตต์	80 วัตต์
กำลังไฟฟ้า	27.36 วัตต์	52.19 วัตต์	120.3 วัตต์	24.51 วัตต์	46.06 วัตต์	104.1 วัตต์

ทั้งนี้รายละเอียดของการทดสอบโดยสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แสดงไว้ในภาคผนวก ก. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### อภิปรายและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาโดยการทดลองในโครงการวิจัยนี้ โดยภาพรวมแล้วพบว่า การดำเนินโครงการวิจัยนี้ จะสามารถนำไปสู่การอนุรักษ์รักษาสิ่งแวดล้อม และการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าในการส่องสว่าง โดยแนวทางที่ผ่านมา หน่วยงานผู้รับผิดชอบด้านการอนุรักษ์พลังงาน ได้แนะนำให้ใช้หลอดตะเกียบซึ่งกินไฟ น้อยแทนการใช้หลอดไส้ การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ผอมแทนหลอดอ้วน และในปัจจุบันที่หลอดผอม จะถูกทดแทนด้วยหลอดที่ผอมกว่า เรียกเป็นหลอดแบบ T5 ทั้งนี้เทคโนโลยีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็ กำลังถูกท้าทายจากเทคโนโลยีของอุปกรณ์ให้แสงสว่างที่เรียกว่า ไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดไฟแอลอีดี และได้ถูกพัฒนามาเป็นหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามด้วยปัญหาของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่กำลังเป็นปัญหาอย่างหนักในด้านการทำลายสิ่งแวดล้อม ทำให้เทคโนโลยีของหลอดไฟแอลอีดี กำลังสูงเป็นที่จับตามองด้วยข้อดีคืออายุการใช้งานที่ยาวนาน ผลการทดลองรวมถึงข้อดีและข้อที่ ได้เปรียบของแอลอีดีกำลังสูงในเชิงเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดแสงจันทร์ (เป็น ประเภทหนึ่งของหลอดปล่อยประจุความเข้มสูง) มีดังต่อไปนี้

5.1 การทดลองในโครงการนี้ เริ่มแรกได้ใช้หลอดแอลอีดีที่มีลักษณะเป็นหลอดไฟเดี่ยวก่อนที่จะ มาเปลี่ยนเป็นแบบแผ่นบาง โดยสาเหตุที่สำคัญของการปรับเปลี่ยนคือลักษณะของการกระจายแสงที่ดีกว่าแบบหลอดเดี่ยว โดยสามารถทำการจัดวางแอลอีดีกำลังสูงแบบแผ่นเพื่อให้ได้ลักษณะของการ กระจายแสงที่แผ่กว้าง พร้อมทั้งการจัดวางส่วนประกอบอื่นที่สำคัญเช่นแผ่นระบายความร้อน จำนวน ของสายวงจร เป็นต้น

5.2 ในส่วนของชุดวงจรขับแบบควบคุมกระแสที่ซึ่งเป็นการควบคุมแบบรูปปิด ซึ่งจะช่วยให้ชุด หลอดแอลอีดีกำลังสูงสามารถทำงานได้เต็มสมรรถนะและดีกว่าการควบคุมแบบรูปเปิด ทั้งนี้การควบคุม แบบรูปปิดก็ได้มีการปรับเปลี่ยนวงจรไปจากเดิมที่ใช้ไอซีเบอร์ IRS2541 มาเป็นไอซีเบอร์ HV9910 และ LM2576HV เนื่องจากว่าไอซีเบอร์ใหม่ที่นำมาใช้นี้ มีอุปกรณ์ต่อรวมน้อยกว่าและสามารถทำการปรับให้ มีเสถียรภาพได้ง่ายกว่า รวมถึงอุปกรณ์ต่อรวมที่สามารถหาซื้อได้ง่ายกว่าอีกด้วย แต่การสั่งซื้อไอซีเบอร์นี้ ยังต้องสั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ

5.3 การศึกษาเชิงเปรียบเทียบเทคโนโลยีของหลอดไฟพบว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด ปล่อยประจุความเข้มสูงจะสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าหลอดแอลอีดี กล่าวคือสารปรอทที่อยู่ใน หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดประเภทปล่อยประจุความเข้มสูง ทั้งนี้สารปรอทจากหลอดไฟที่แตกหัก หรือขยะหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตมากซึ่งเป็นสารซึ่งก่อให้เกิด

โรคกระเร็ง ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีกระบวนการรีไซเคิลหลอดฟลูออเรสเซนต์กำลังได้รับเงินสนับสนุน นับเป็นเงินหลายร้อยล้านบาท

5.4 ในส่วนความคุ้มค่าของราคาโดยการพิจารณาจากอายุการใช้งานตามความมุ่งหมายของการทดลองนั้น จะเป็นการพิจารณาจากอายุการใช้งานเฉลี่ยเมื่อนำหลอดไฟจำนวนมากมาทำการทดลอง โดยการเปิดและปิดทุกๆ 5 ชั่วโมง อายุการใช้งานของหลอดก็คือจำนวนชั่วโมงที่หลอดจำนวนครึ่งหนึ่งยังคงทำงานอยู่ ซึ่งก็ได้มีการทดลองในหัวข้อนี้ด้วย แต่ด้วยการทดลองนี้ทำให้ใช้เวลานานมาก อย่างไรก็ตาม หากต้องการพิจารณาอายุการใช้งานของหลอดไฟก็สามารถพิจารณาจากอายุการใช้งานของแอลอีดีตามที่ระบุมาของแต่ละบริษัทได้เลย

นอกจากนี้แล้วจากการทบทวนในรายงานตามเอกสารอ้างอิงได้ข้อสรุปว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์จะกำหนดอายุการใช้งานด้วยวัฏจักรการเปิดปิดใช้งาน 3 ชั่วโมงต่อครั้ง ซึ่งเป็นการเปิดใช้งาน 2 ชั่วโมง 50 นาที และปิด 10 นาที เพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย เป็นต้น ถ้าวัฏจักรการเปิดปิดใช้งานมากกว่า 3 ชั่วโมงต่อครั้ง อายุการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้พบว่าถ้าเปิดใช้งานตลอดเวลา โดยไม่ปิดเลย อายุการใช้งานของหลอดจะเป็น 2.1 เท่าของอายุใช้งานที่ระบุไว้ สำหรับหลอดปล่อยประจุในก๊าซประเภทความเข้มแสงสูง ซึ่งได้แก่ หลอดไอปรอทความดันสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดโซเดียมความดันสูง ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับหลอดฟลูออเรสเซนต์กล่าวคือ ถ้าวัฏจักรการเปิดปิดใช้งานในหน่วยชั่วโมงต่อครั้งมีค่าที่สูงขึ้น อายุการใช้งานของหลอดไฟก็จะมีค่าที่สูงขึ้นด้วย

สำหรับหลอดอินแคนเดสเซสเซนต์และหลอดทั้งสแตนด์บายหลอด อายุใช้งานของหลอดจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของการเปิดปิดใช้งาน ดังจะเห็นได้จากการทำไฟกระพริบ แต่ถ้าเป็นหลอดประเภทปล่อยประจุในก๊าซทั้งหลายความถี่ของการเปิดปิดใช้งานจะมีผลกระทบอย่างมากต่ออายุใช้งานของหลอด ถ้าเปิดปิดบ่อยครั้งอายุใช้งานจะสั้นเพราะการเปิดปิดแต่ละครั้งจะทำให้สารที่เคลือบไว้ที่ไส้หลอดหรืออิเล็กโทรดเพื่อสร้างอิเล็กตรอนอิสระ หลุดกระเด็นออกมาจากไส้หลอด เมื่อหลุดออกมามากจะทำให้หลอดทำงานไม่ได้ ซึ่งถือว่าหลอดหมดอายุ

5.5 การพิจารณาในส่วนของวงจรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่รวมอยู่ในชุดวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบขึ้นนั้น คณะผู้วิจัยเห็นว่าจะเป็นส่วนหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างคุ้มค่า ซึ่งการปรับปรุงตัวประกอบกำลังนี้ก็มีหลายหน่วยงานได้ให้ความสำคัญ เช่น สำนักงานนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) ได้ร่วมกับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) สำหรับการใช้งบประมาณ 528 ล้านบาท ในการจัดโครงการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหวังลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและรวมอนุรักษ์พลังงานได้ 1773.192 ล้านบาท/ปี

5.6 การพิจารณาความคุ้มค่าด้านธุรกิจในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดประเภทปล่อยประจุความเข้มสูง ทั้งนี้การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าใหม่เป็นบางจุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Spot relamping) เป็นวิธีการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าที่ประหยัดค่าหลอดไฟฟ้า แต่หากตำแหน่งของโคมไฟอยู่สูง การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าอาจทำได้ไม่ถนัดนักแสดงในรูปที่ 5.1 ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้น การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นกลุ่ม (Group relamping) เมื่อใช้งานหลอดไฟฟ้าไปได้ประมาณ 70% ของอายุใช้งาน ซึ่งถึงแม้ว่าจะทำให้เสีค่าหลอดไฟเพิ่มขึ้น แต่ก็อาจลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยรวมลงได้ โดยถ้าเป็นหลอดแอลอีดีที่มีอายุการใช้งานนาน จะสามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้

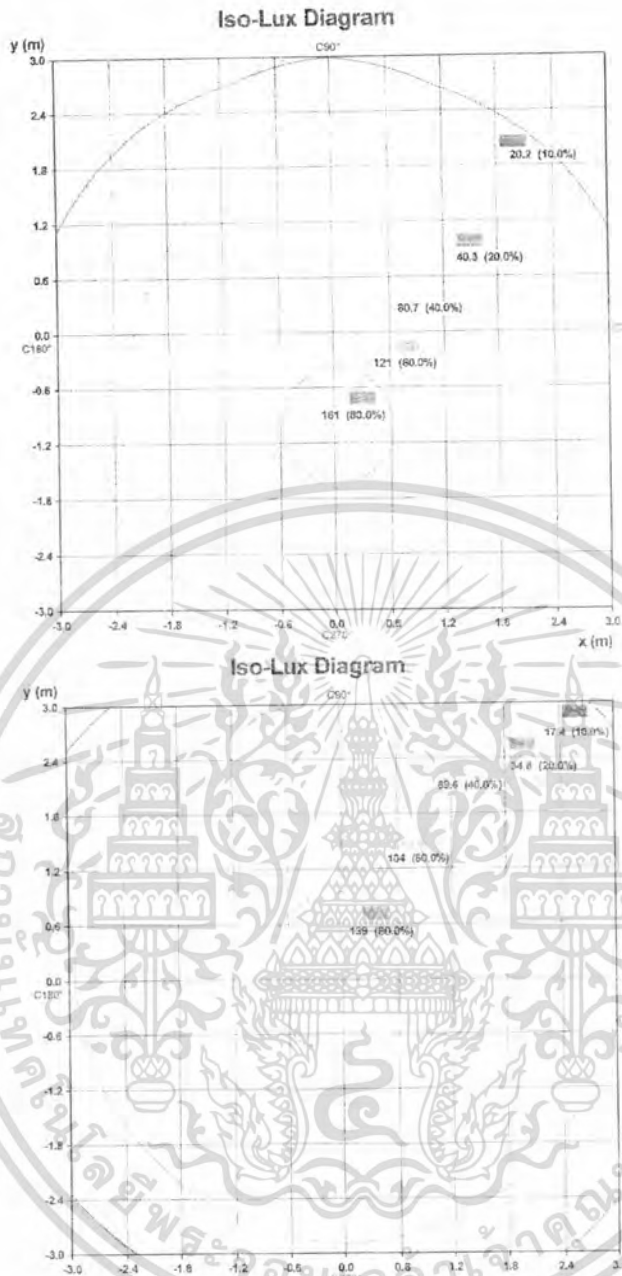


รูปที่ 5.1 การเปลี่ยนหลอดไฟในอาคารสูงซึ่งต้องใช้นั่งร้านตามกฎระเบียบความปลอดภัย

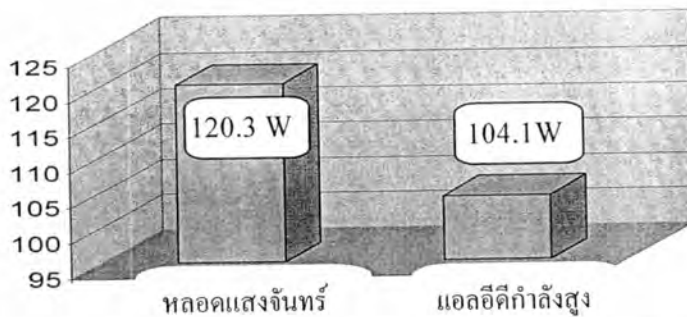
5.7 การทดลองในโครงการวิจัยนี้ พบว่าที่กำลังวัตต์เดียวกันของหลอดแสงจันทร์เปรียบเทียบกับหลอดแอลอีดีกำลังสูง (80 วัตต์) นั้นหลอดแอลอีดีกำลังสูงได้ให้ค่าการส่องสว่างที่สูงกว่าแสดงผลการทดลองนี้ในรูปที่ 5.2 กล่าวคือที่ตำแหน่งใดดวงโคม (แกน  $X = 0$  และแกน  $Y = 0$ ) หลอดแสงจันทร์ให้ปริมาณการส่องสว่าง 161 ลักซ์ ในขณะที่โคมแอลอีดีกำลังสูงให้ปริมาณการส่องสว่าง 139 ลักซ์ นอกจากนี้แล้วการพิจารณาที่ตำแหน่งอื่น ๆ ก็ยังพบว่าชุดโคมแอลอีดีกำลังสูงก็ยังให้ปริมาณการส่องสว่างที่มากกว่าด้วย ซึ่งสามารถกล่าวสรุปได้ว่า ถ้ามีการนำโคมแอลอีดีกำลังสูงนี้ไปใช้งานแทนหลอดแสงจันทร์ ก็จะสามารถทำให้ประหยัดดวงโคมหรือถ้าเป็นไฟถนนก็จะสามารถทำให้ประหยัดคั้นเสาซึ่งมีราคานับแสนบาทลงได้ (สามารถปักเสาให้มีระยะห่างที่มากขึ้นได้)

สำหรับการพิจารณาด้านการใช้กำลังไฟฟ้าพบว่าชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงมีข้อได้เปรียบกว่าหลอดแสงจันทร์ที่พิกัดเดียวกัน ดังผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.3 กล่าวคือหลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์ ใช้กำลังไฟฟ้า 120.3 วัตต์ ในขณะที่ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง 80 วัตต์ใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 104.1 วัตต์

เท่านั้น เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 (บน) ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมหลอดแสงจันทร์ 80 W และ (ล่าง) ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมแอลอีดีกำลังสูง 80 W



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบการใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดแสงจันทร์และหลอดแอลอีดีกำลังสูง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบขึ้นนี้สำหรับนำไปใช้ทดแทนหลอดไฟแบบเดิมที่มีใช้อยู่เป็นจำนวนมาก โดยมุ่งเน้นสำหรับการส่องสว่างนอกรอาคารด้วยข้อจำกัดด้านการส่องสว่างของแอลอีดี ทั้งนี้อายุการใช้งานที่ยาวนานจะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม กล่าวคือสามารถลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากหลอดไฟลงได้ นอกจากนี้แล้วการใช้พลังงานที่น้อยกว่าหลอดไฟแบบเดิมภายใต้การออกแบบและพัฒนาให้ชุดส่องสว่างด้วยหลอดแอลอีดีกำลังสูงในโครงการวิจัยนี้เป็นมิตรกับระบบไฟฟ้าด้วย กล่าวคือวงจรขับที่ได้ออกแบบไว้ได้มีวงจรสำหรับลดทอนสัญญาณฮาร์มอนิกที่ไหลออกไปสู่ภายนอก รวมทั้งมีวงจรสำหรับการปรับปรุงตัวประกอบกำลังอีกด้วย สำหรับการทดสอบด้านสมรรถนะการส่องสว่างให้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบขึ้น ได้ให้ค่าการส่องสว่างที่สูงกว่าทั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแสงจันทร์ที่พิกัดเดียวกัน นั้นหมายความว่าด้านเศรษฐศาสตร์แล้วจะสามารถลดจำนวนของดวงโคมต่อพื้นที่ส่องสว่างลงได้ อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบคือการส่องสว่างภายในอาคารยังไม่สามารถทำให้ลักษณะของแสงที่นวลตาได้เหมือนกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแอลอีดีในปัจจุบัน ถึงแม้ว่าในช่วงหลังของการวิจัยจะได้เปลี่ยนมาใช้แอลอีดีแบบแผ่นบางแล้วก็ตาม ปัจจุบันนี้หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงได้ถูกพัฒนาสำหรับหลายการประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ในประเทศไทยของเราได้เริ่มมีการสั่งนำเข้าภายใต้ราคาที่ค่อนข้างแพง โครงการวิจัยนี้จึงช่วยให้เป็นการประดิษฐ์เพื่อใช้เองภายในประเทศภายใต้คุณภาพไฟฟ้าที่ได้รับการปรับปรุง ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบของหลอดไฟทั้ง 3 ประเภทที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยนี้ พบว่าข้อเสียเปรียบเพียงข้อเดียวของแอลอีดีกำลังสูงคือมีราคาแพง (ณ ราคาในปัจจุบัน) แต่ข้อได้เปรียบของแอลอีดีเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้ามเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อมที่กำลังได้รับการใส่ใจเป็นพิเศษ ซึ่งถึงแม้ว่าการพัฒนาชุดส่องสว่างที่ประดิษฐ์ขึ้นจากแอลอีดีกำลังสูงในโครงการวิจัยนี้ จะสามารถพัฒนาได้อย่างครอบคลุมทั้งการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการเป็นมิตรต่อระบบไฟฟ้าแล้วก็ตาม แต่ด้วยเทคโนโลยีที่ไม่หยุดนิ่งซึ่งทำให้ทั้งการออกแบบวงจรควบคุมที่มีประสิทธิภาพและหลอดแอลอีดีที่มีการกระจายแสงที่ดีขึ้น ทั้งนี้การใช้วงจรขับหลอดแอลอีดีจะสามารถทำให้จ่ายกระแสให้กับหลอดแอลอีดีได้อย่างคงที่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้หลอดแอลอีดีกำลังสูงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แล้วการพัฒนาต่อไปเช่น เป็นไฟสปอร์ตไลท์ การประยุกต์ใช้เป็นสื่อโฆษณามลติวิชั่น เป็นต้น ก็ควรจะตั้งมีการออกแบบให้วงจรขับสามารถจ่ายพลังงานได้อย่างเพียงพอพร้อมทั้งมีการปรับแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้างั้นเช่นในโครงการวิจัยนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถเผยแพร่ได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบโดยรวมของหลอดไฟทั้ง 3 ชนิด

รายการที่เปรียบเทียบ	ชุดหลอดไฟ แอลอีดีกำลังสูง	ชุดหลอดแสง จันทร์ (HID)	ชุดหลอด ฟลูออเรสเซนต์
1. ขนาดวัตต์/จำนวนหลอดไฟ	80/100	80/100	40×2/100
2. ราคาหลอดไฟ (บาท)	7,000	180	110 (40 วัตต์×2)
3. ราคาบัลลาสต์หรือวงจร อิเล็กทรอนิกส์ (บาท)	2,000	150	100
4. อายุการใช้งาน (ปี)	10	2.5	2
5. ค่าการบำรุงรักษาและเปลี่ยน หลอดไฟ (40,000บาท/ครั้ง*)	40,000 / 10 ปี	160,000 / 10 ปี	200,000 / 10 ปี
6. รวมมูลค่าทั้งหมดใน 10 ปี (บาท)	49,000	161,320	201,050
7. พลังงานที่ใช้ (วัตต์)	104.1	120.3	104.38 (หลอด 36W×2)
8. มูลค่าความเสียหายต่อ สิ่งแวดล้อม	น้อย		สูงมาก

หมายเหตุ \* เป็นราคาที่ต้องรวมความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น การเปลี่ยนหลอดไฟในอาคารสูงที่ต้องใช้นั่งร้าน ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่มีมูลค่าสูงอยู่ภายในอาคารดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Brodrick, J. 2007. "Next-generation lighting initiative at the U.S. department of energy: catalyzing science into the marketplace." *Journal of display technology*, vol. 3, no. 2, pp. 91-97.
- [2] Broeckl, H. V. D., Sauerlander, G., and Wendt, M. 2007. "Power driver topologies and control schemes for LEDs." *Applied Power Electronics Conference, Twenty Second Annual IEEE*, pp. 1319-1325.
- [3] Buildings Energy Data Book. 2005. [Online]. Available: <http://buildingsdata-book.eren.doe.gov>.
- [4] ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. 2551. *เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง*. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [5] ฉัตรชัย วิเศษบัณฑิตกุล, ฉัตรชัย ศรีจันทร์ดี, ชนชิต มณีสุขเกษม, และชวิษฐ์ ชุมณี. 2550. "วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง." *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- [6] โบนัส ทรงวิจิตร และชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. 2551. *โปรแกรมออกแบบการติดตั้งหลอด LED บนดวงโคมไฟฟ้า*. EECON-31. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. หน้า 387-390.
- [7] พิบูลย์ ดิษฐอุดม. 2535. *การออกแบบระบบแสงสว่าง*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [8] วัชร มั่งวิฑิตกุล. 2544. *ไฟฟ้าแสงสว่าง*. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติกรุงเทพฯ.
- [9] ภูวดล เทศะศิลป์. 2549. "การศึกษาความคุ้มค่าในการนำ LED มาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอาคารพักอาศัย." *การค้นคว้าอิสระหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาลัยนวัตกรรมการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*.
- [10] ชาญชัย ชนศิลป์วิทยา, จักรายุทธ พูนบำเพ็ญ, และสมพร เทียงผดุง. 2547. "การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารและภายนอกอาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณ." *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น*.
- [11] Harbers, G., Bierhuizen, S. J., and Krames, M. R. 2007. "Performance of high power light emitting diodes in display illumination applications." *Journal of display technology*, vol. 3, no. 2, pp. 98-109.
- [12] ฉัฐพล สิริสิทธิโชติ และคณะ. *การกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/haz\\_lamp.htm](http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_lamp.htm). (วันที่ค้นข้อมูล : 20 มิถุนายน 2552).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการเรื่องการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.chemtrack.org/EnvForKids/Download/fluorescent-lamp.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล : 10 มิถุนายน 2552).
- [14] เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่องปรอท. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://infofile.pcd.go.th/haz/haz\\_mercury.pdf](http://infofile.pcd.go.th/haz/haz_mercury.pdf) (วันที่ค้นข้อมูล : 20 มิถุนายน 2552).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ส่วน ค. ส่วนประกอบตอนท้าย

### ประวัตินักวิจัย

1. นายชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในปี พ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ตั้ง 1518 ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ที่ทำงาน 0-2913-2500 ต่อ 6322 โทรศัพท์มือถือ 08-9104-8499 โทรสาร 0-2587-4356 อีเมลล์ cwtk@kmutnb.ac.th
2. นายเฉลิมชาติ มานพ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในปี พ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ตั้ง 3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ที่ทำงาน 0-2326-4550 โทรศัพท์มือถือ 08-4160-1572 โทรสาร 0-2326-4550 อีเมลล์ kmchaler@kmitl.ac.th

## ภาคผนวก

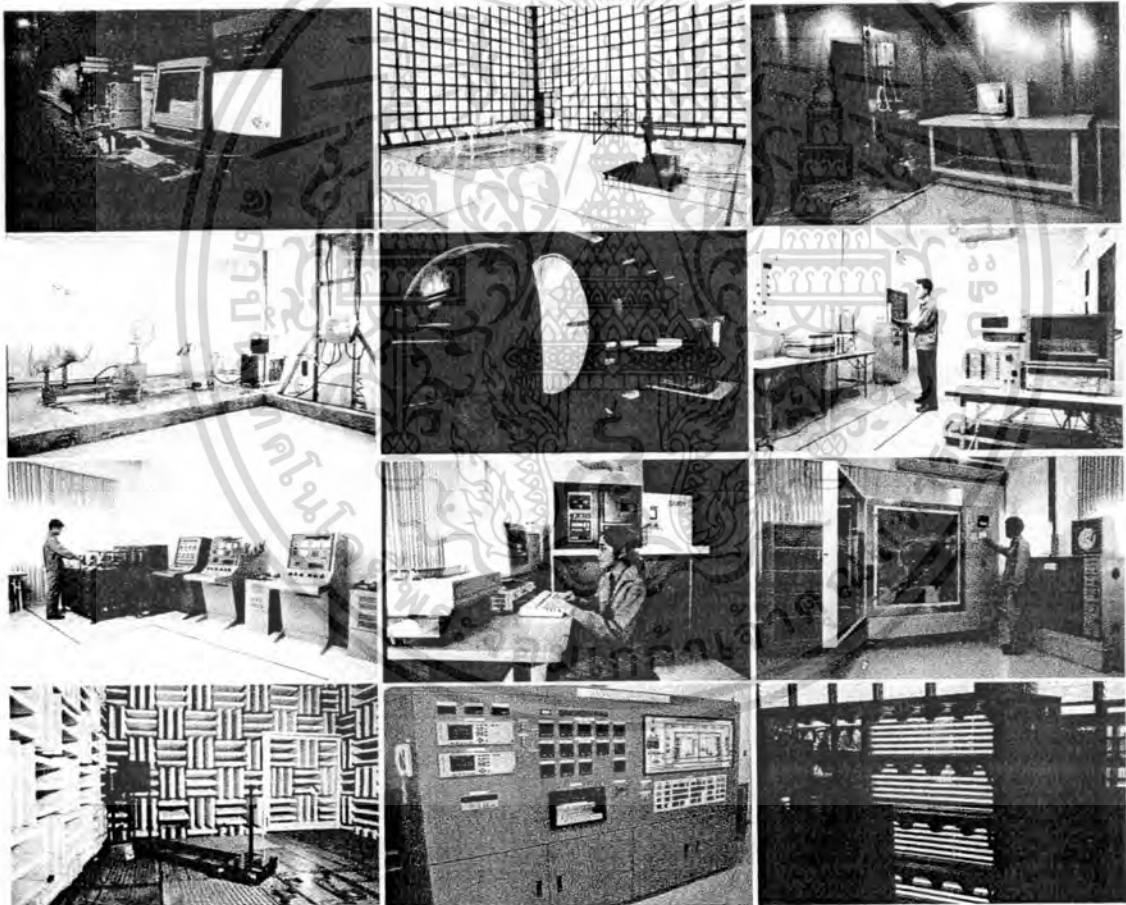
ก. ผลการทดสอบดวงโคมโดยสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# TEST



## OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT



LABORATORY ACCREDITATION

TESTING No. 0063



IB 001

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทเอกชนที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ภายในเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนเงื่อนไขการรับประกันการดำเนินงานของบริษัทฯ และไม่รับประกันความถูกต้องของข้อมูล หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า โทร. 02-2525252



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Bangpoo Industrial Estate Soi 8, Sukhumvit Road Km.37,  
975 Moo 4, Praeksa, Muang, Samutprakarn 10280  
Tel. +66 2709 4860-8 Fax. +66 2324 0917-8

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์  
ELECTRICAL AND ELECTRONICS INSTITUTE

## TEST CERTIFICATE [ Streetlight Luminaire ]

Page 1 / 12

Report No. E1013(E)/52  
Operation No. 5209BE1086  
Name and address of customer King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
1518 Pibulsongkram Road, Bangsue, Bangkok 10800  
Tel : 0-2913-2500 Fax : 0-2587-4350  
Sample description Streetlight Luminaire, 1 Unit  
(Details did not specified on product)  
Sample No. BE1086  
Sample characteristic and condition Normal  
Sample received date September 9, 2009  
Test date September 10-11, 2009  
Test standard CIE 121:1996  
Test report Details of the test report as shown on the following pages.  
Test conditions: Voltage = 220.0 V/50.0 Hz, Current = 0.965 A, Power = 104.1 W  
Test distance: 16 m

Certified by

*Pongpat Phanpean*  
(Mr. Pongpat Phanpean)

Group Manager

Lighting Test Group

16 SEP 2009

*Witee Srimongkol*

(Mr. Witee Srimongkol)

Manager, Section (Act.)

Operation Section

16 SEP 2009  
สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์  
ELECTRICAL AND ELECTRONICS INSTITUTE

Test personnel : S.J.(MJ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

This document is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

FT 002(E)-4/08-50



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

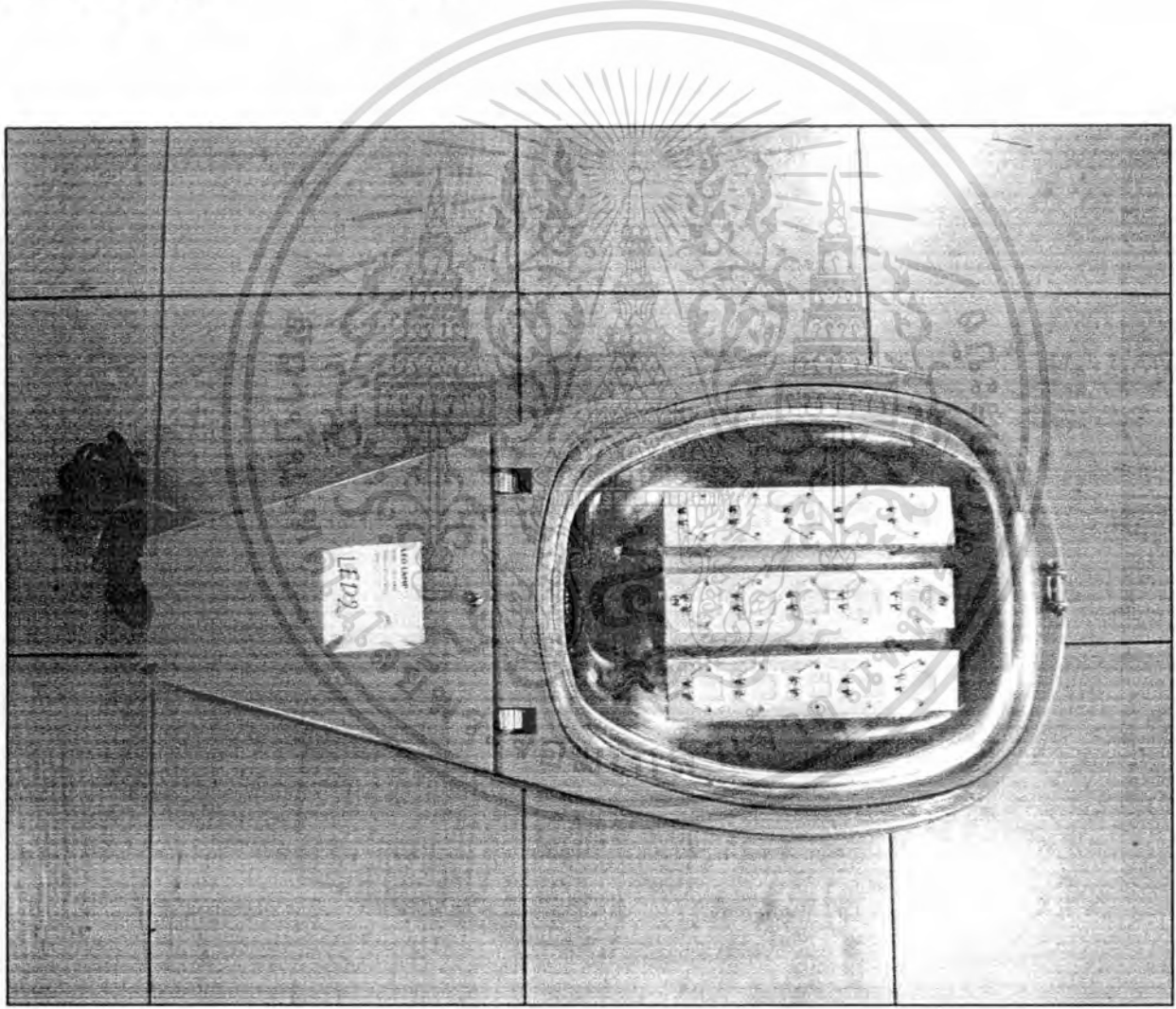
## TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

### Luminaire Test Details:

Photometry Type: Type C  
Number of Lamps: 1  
Ballast Factor: 1.000

### Luminous Dimensions:

Base Area: 0.340 m X 0.270 m  
Side Area: 0.340 m X 0.045 m  
End Area: 0.270 m X 0.045 m  
Luminous Shape: Ellipsoid



Tested by: Suntiarp

Certified by: Pongpat



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

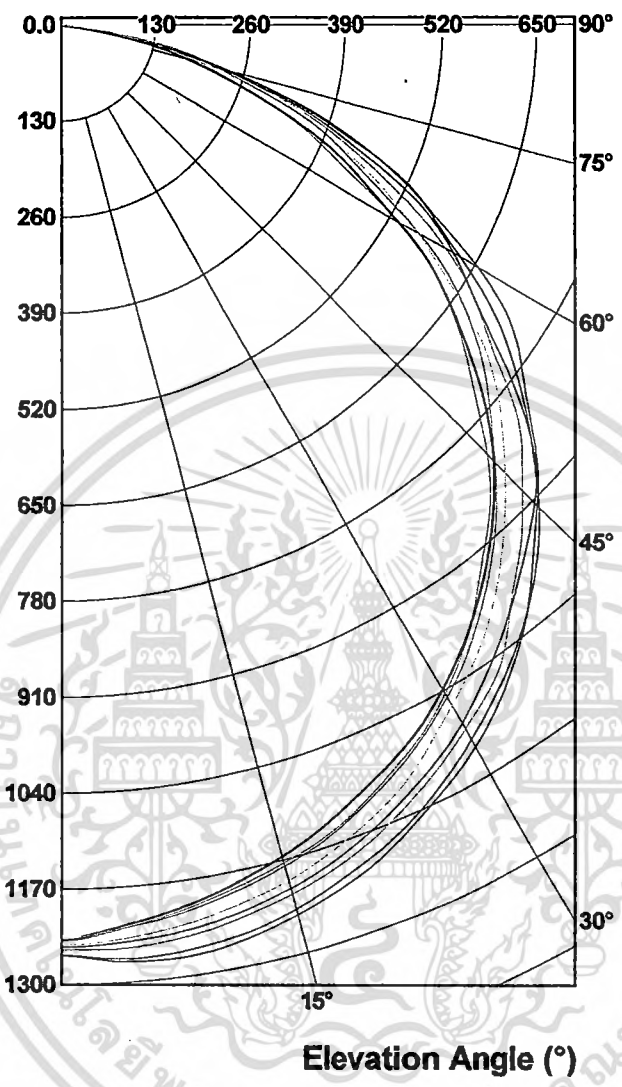
Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

## Luminous Intensity Distribution

### Legend (C-Planes)

- 0°
- 45°
- 90°
- 135°
- 180°
- 225°
- 270°
- 315°
- 360°



Luminous Intensity (cd)

Elevation Angle (°)

Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004  
 Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

Prepared by: Sunthipap. Certified by: Pongpat  
 FT 003(E)-1/05-47



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 4 of 12

## Luminous Intensity Table (cd)

γ \ C	0.0	22.5	45.0	67.5	90.0	112.5	135.0	157.5	180.0	202.5	225.0	247.5	270.0	292.5
0.0	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
2.5	1250	1270	1270	1270	1270	1260	1250	1250	1240	1240	1230	1230	1230	1230
5.0	1240	1260	1270	1270	1270	1260	1250	1250	1240	1230	1220	1220	1220	1220
7.5	1240	1260	1280	1270	1270	1260	1250	1240	1230	1220	1210	1210	1210	1210
10.0	1230	1260	1270	1270	1260	1250	1240	1230	1220	1210	1200	1200	1200	1200
12.5	1220	1250	1260	1260	1250	1240	1230	1220	1210	1200	1190	1180	1180	1190
15.0	1210	1240	1250	1250	1240	1230	1220	1210	1200	1190	1170	1170	1170	1180
17.5	1200	1220	1230	1230	1220	1210	1200	1200	1180	1170	1160	1150	1150	1160
20.0	1180	1210	1220	1220	1210	1200	1190	1180	1170	1150	1150	1130	1130	1140
22.5	1160	1190	1200	1200	1190	1180	1170	1160	1150	1130	1120	1110	1110	1120
25.0	1140	1170	1170	1180	1170	1160	1150	1130	1130	1100	1100	1090	1090	1100
27.5	1120	1140	1150	1150	1140	1130	1120	1120	1090	1080	1080	1060	1070	1080
30.0	1090	1110	1130	1130	1120	1110	1100	1080	1060	1060	1040	1040	1040	1040
32.5	1060	1090	1100	1110	1090	1080	1070	1050	1030	1020	1010	1010	1010	1020
35.0	1030	1060	1070	1070	1060	1060	1060	1020	1010	989	981	970	978	983
37.5	1000	1030	1040	1030	1030	1020	998	990	973	956	931	934	943	946
40.0	972	986	998	1000	999	978	964	954	933	915	901	907	910	906
42.5	942	957	951	953	965	938	936	907	896	869	870	860	873	869
45.0	914	924	918	918	925	905	886	868	856	830	823	815	836	828
47.5	887	885	888	876	875	867	853	828	815	794	766	772	790	782
50.0	828	851	834	846	832	845	823	795	778	752	724	727	740	738
52.5	772	792	792	776	787	759	739	745	738	712	683	675	686	692
55.0	699	725	766	719	740	712	699	697	672	649	641	624	638	633
57.5	655	669	725	688	693	681	668	629	605	574	595	560	599	577
60.0	620	620	661	614	622	603	601	568	569	526	547	524	535	532
62.5	570	577	573	602	567	554	555	522	507	481	459	451	462	476
65.0	530	526	538	508	548	486	482	477	470	432	395	417	440	444
67.5	432	463	473	524	482	481	434	410	396	365	363	334	347	367
70.0	390	367	409	394	386	378	361	345	345	318	292	278	297	304
72.5	300	308	318	337	325	313	302	285	277	267	242	212	237	247
75.0	244	222	244	240	236	225	235	212	207	206	196	171	173	186
77.5	155	148	170	186	181	176	163	128	149	151	142	122	132	143
80.0	83.4	61.9	95.8	100	97.5	94.6	67.5	74.5	94.4	92.9	104	78.9	73.3	94.3
82.5	21.3	6.5	16.4	22.1	33.8	18.5	20.2	25.0	35.9	38.1	52.9	35.7	37.5	51.6
85.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	4.0	2.5	14.7
87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

©PRReport TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004

Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

Prepared by: Sunhpop. Certified by: Pongpat

FT 003(E)-1/05-47





# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 6 of 12

## Luminous Intensity Table (cd) (Continued)

θ \ C	315.0	337.5	360.0
0.0	1250	1250	1250
2.5	1230	1230	1250
5.0	1220	1220	1240
7.5	1210	1220	1240
10.0	1200	1210	1230
12.5	1190	1200	1220
15.0	1180	1190	1210
17.5	1160	1170	1200
20.0	1150	1160	1180
22.5	1120	1140	1160
25.0	1110	1110	1140
27.5	1080	1090	1120
30.0	1050	1060	1090
32.5	1020	1030	1060
35.0	986	997	1030
37.5	952	963	1000
40.0	919	930	972
42.5	878	896	942
45.0	838	865	914
47.5	792	836	887
50.0	758	806	828
52.5	720	740	772
55.0	669	672	699
57.5	627	607	655
60.0	570	566	620
62.5	499	521	570
65.0	444	482	530
67.5	404	410	432
70.0	348	351	390
72.5	269	294	300
75.0	226	236	244
77.5	190	164	155
80.0	130	108	83.4
82.5	66.6	31.0	21.3
85.0	4.7	0.0	0.0
87.5	0.0	0.0	0.0
90.0	0.0	0.0	0.0



© Report TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004  
Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

ไม่ว่ากล่าวถึงลิขสิทธิ์อื่น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดต่อเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
Certified by: *Pengpat* FT 003(E)-1/05-47



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 7 of 12

## Luminous Intensity Table (cd) (Continued)

θ \ C	315.0	337.5	360.0
2.5	0.0	0.0	0.0
5.0	0.0	0.0	0.0
7.5	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	0.0	0.0
12.5	0.0	0.0	0.0
15.0	0.0	0.0	0.0
17.5	0.0	0.0	0.0
20.0	0.0	0.0	0.0
22.5	0.0	0.0	0.0
25.0	0.0	0.0	0.0
27.5	0.0	0.0	0.0
30.0	0.0	0.0	0.0
32.5	0.0	0.0	0.0
35.0	0.0	0.0	0.0
37.5	0.0	0.0	0.0
40.0	0.0	0.0	0.0
42.5	0.0	0.0	0.0
45.0	0.0	0.0	0.0
47.5	0.0	0.0	0.0
50.0	0.0	0.0	0.0
52.5	0.0	0.0	0.0
55.0	0.0	0.0	0.0
57.5	0.0	0.0	0.0
60.0	0.0	0.0	0.0
62.5	0.0	0.0	0.0
65.0	0.0	0.0	0.0
67.5	0.0	0.0	0.0
70.0	0.0	0.0	0.0
72.5	0.0	0.0	0.0
75.0	0.0	0.0	0.0
77.5	0.0	0.0	0.0
80.0	0.0	0.0	0.0
82.5	0.0	0.0	0.0
85.0	0.0	0.0	0.0
87.5	0.0	0.0	0.0
90.0	0.0	0.0	0.0



Report TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004  
Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

Prepared by: Sunthorn Certified by: Pongpat FT 003(E)-1/05-47



Photometric Solutions International  
LUMINOUS AND ELECTRONICS INSTITUTION

# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

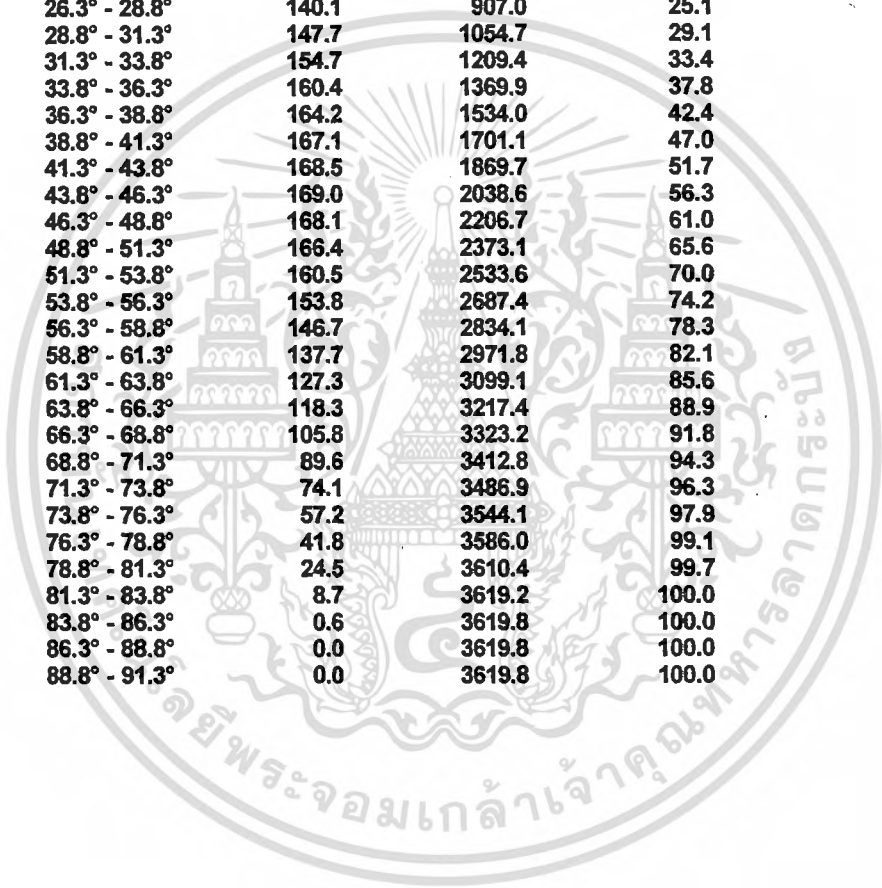
Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 8 of 12

## Luminous Flux Table

Elevation	Cone	Lumens	Cumulative	Luminaire %
0°	0.0° - 1.3°	1.9	1.9	0.1
2.5°	1.3° - 3.8°	14.9	16.8	0.5
5°	3.8° - 6.3°	29.7	46.5	1.3
7.5°	6.3° - 8.8°	44.2	90.7	2.5
10°	8.8° - 11.3°	58.5	149.2	4.1
12.5°	11.3° - 13.8°	72.2	221.4	6.1
15°	13.8° - 16.3°	85.5	306.9	8.5
17.5°	16.3° - 18.8°	98.0	404.9	11.2
20°	18.8° - 21.3°	110.0	514.9	14.2
22.5°	21.3° - 23.8°	121.0	635.9	17.6
25°	23.8° - 26.3°	131.0	766.9	21.2
27.5°	26.3° - 28.8°	140.1	907.0	25.1
30°	28.8° - 31.3°	147.7	1054.7	29.1
32.5°	31.3° - 33.8°	154.7	1209.4	33.4
35°	33.8° - 36.3°	160.4	1369.9	37.8
37.5°	36.3° - 38.8°	164.2	1534.0	42.4
40°	38.8° - 41.3°	167.1	1701.1	47.0
42.5°	41.3° - 43.8°	168.5	1869.7	51.7
45°	43.8° - 46.3°	169.0	2038.6	56.3
47.5°	46.3° - 48.8°	168.1	2206.7	61.0
50°	48.8° - 51.3°	166.4	2373.1	65.6
52.5°	51.3° - 53.8°	160.5	2533.6	70.0
55°	53.8° - 56.3°	153.8	2687.4	74.2
57.5°	56.3° - 58.8°	146.7	2834.1	78.3
60°	58.8° - 61.3°	137.7	2971.8	82.1
62.5°	61.3° - 63.8°	127.3	3099.1	85.6
65°	63.8° - 66.3°	118.3	3217.4	88.9
67.5°	66.3° - 68.8°	105.8	3323.2	91.8
70°	68.8° - 71.3°	89.6	3412.8	94.3
72.5°	71.3° - 73.8°	74.1	3486.9	96.3
75°	73.8° - 76.3°	57.2	3544.1	97.9
77.5°	76.3° - 78.8°	41.8	3586.0	99.1
80°	78.8° - 81.3°	24.5	3610.4	99.7
82.5°	81.3° - 83.8°	8.7	3619.2	100.0
85°	83.8° - 86.3°	0.6	3619.8	100.0
87.5°	86.3° - 88.8°	0.0	3619.8	100.0
90°	88.8° - 91.3°	0.0	3619.8	100.0



Report TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004  
Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

Issued by: Sunti pop. Certified by: Pengpat FT 003(E)-1/05-47



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

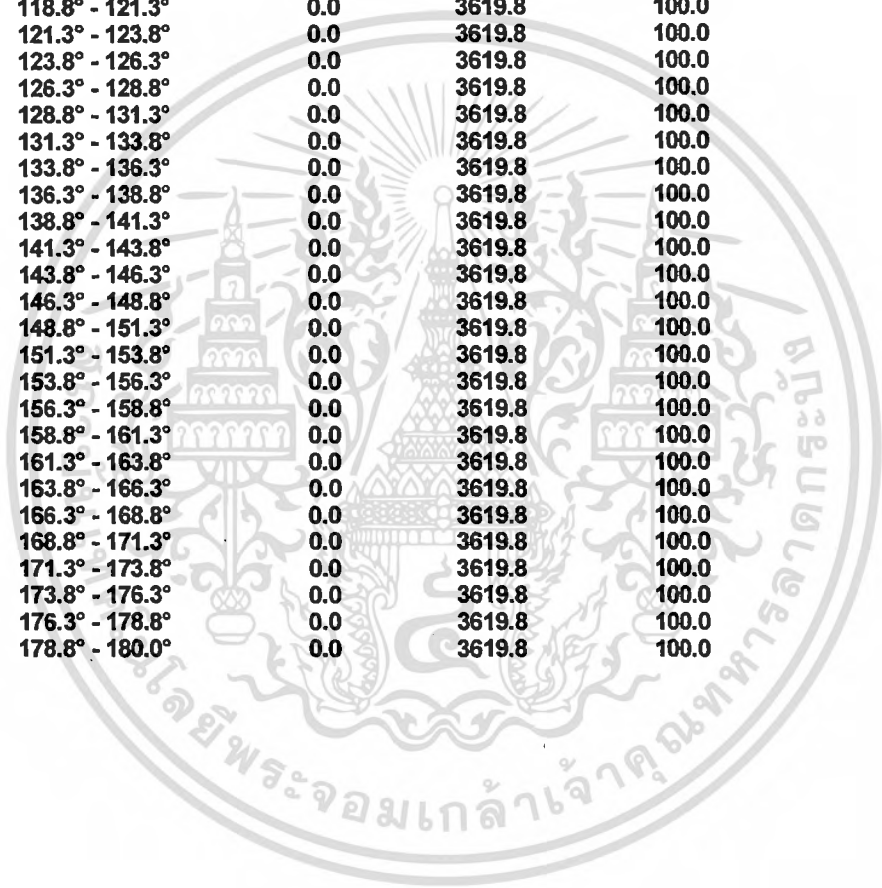
Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 9 of 12

## Luminous Flux Table (Continued)

Elevation	Cone	Lumens	Cumulative	Luminaire %
92.5°	91.3° - 93.8°	0.0	3619.8	100.0
95°	93.8° - 96.3°	0.0	3619.8	100.0
97.5°	96.3° - 98.8°	0.0	3619.8	100.0
100°	98.8° - 101.3°	0.0	3619.8	100.0
102.5°	101.3° - 103.8°	0.0	3619.8	100.0
105°	103.8° - 106.3°	0.0	3619.8	100.0
107.5°	106.3° - 108.8°	0.0	3619.8	100.0
110°	108.8° - 111.3°	0.0	3619.8	100.0
112.5°	111.3° - 113.8°	0.0	3619.8	100.0
115°	113.8° - 116.3°	0.0	3619.8	100.0
117.5°	116.3° - 118.8°	0.0	3619.8	100.0
120°	118.8° - 121.3°	0.0	3619.8	100.0
122.5°	121.3° - 123.8°	0.0	3619.8	100.0
125°	123.8° - 126.3°	0.0	3619.8	100.0
127.5°	126.3° - 128.8°	0.0	3619.8	100.0
130°	128.8° - 131.3°	0.0	3619.8	100.0
132.5°	131.3° - 133.8°	0.0	3619.8	100.0
135°	133.8° - 136.3°	0.0	3619.8	100.0
137.5°	136.3° - 138.8°	0.0	3619.8	100.0
140°	138.8° - 141.3°	0.0	3619.8	100.0
142.5°	141.3° - 143.8°	0.0	3619.8	100.0
145°	143.8° - 146.3°	0.0	3619.8	100.0
147.5°	146.3° - 148.8°	0.0	3619.8	100.0
150°	148.8° - 151.3°	0.0	3619.8	100.0
152.5°	151.3° - 153.8°	0.0	3619.8	100.0
155°	153.8° - 156.3°	0.0	3619.8	100.0
157.5°	156.3° - 158.8°	0.0	3619.8	100.0
160°	158.8° - 161.3°	0.0	3619.8	100.0
162.5°	161.3° - 163.8°	0.0	3619.8	100.0
165°	163.8° - 166.3°	0.0	3619.8	100.0
167.5°	166.3° - 168.8°	0.0	3619.8	100.0
170°	168.8° - 171.3°	0.0	3619.8	100.0
172.5°	171.3° - 173.8°	0.0	3619.8	100.0
175°	173.8° - 176.3°	0.0	3619.8	100.0
177.5°	176.3° - 178.8°	0.0	3619.8	100.0
180°	178.8° - 180.0°	0.0	3619.8	100.0



Report TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004  
Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

Prepared by: Suntipop Certified by: Pongpat FT 003(E)-1/05-47



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1013(E)/52  
Operation Number: 5209BE1086

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 10/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 10 of 12

## Iso-Candela Diagram

### Legend

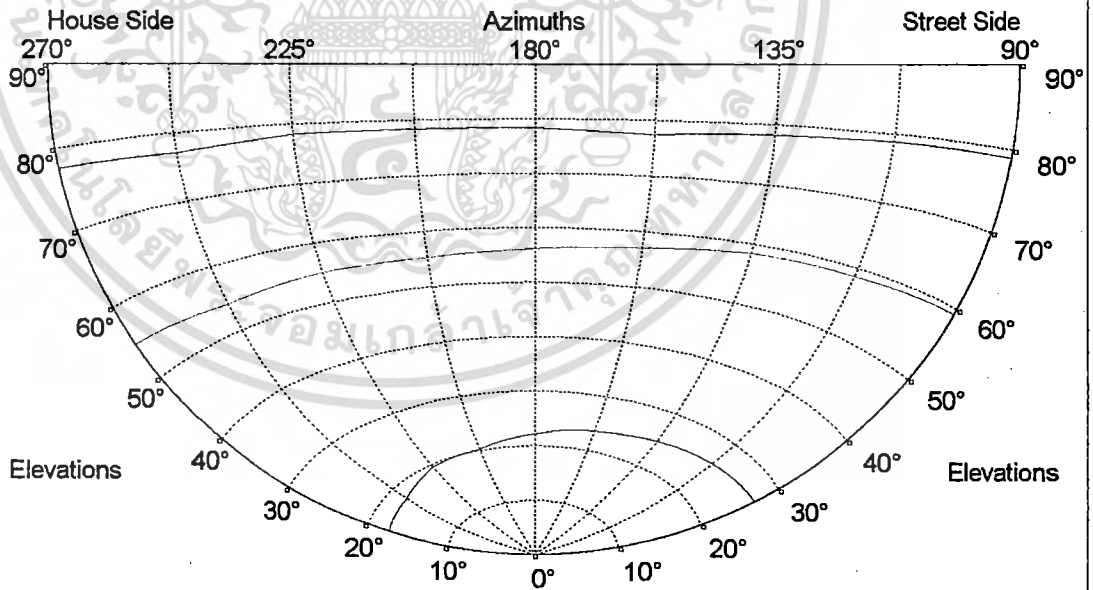
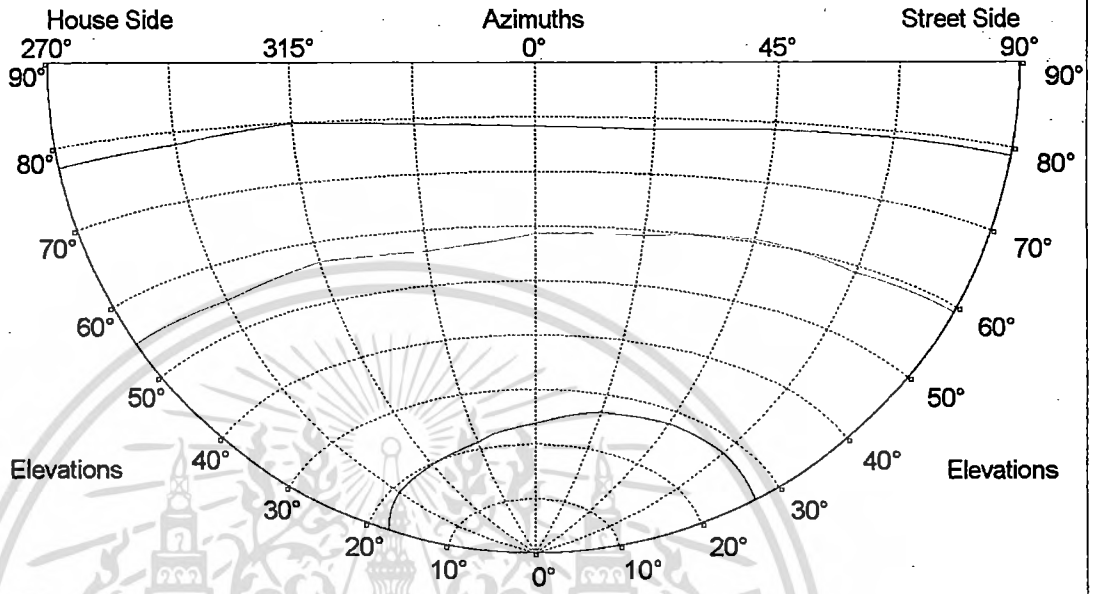
(cd)

Max = 1275.1

1147.6 (90.0%)

637.6 (50.0%)

127.5 (10.0%)



Report TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004

Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

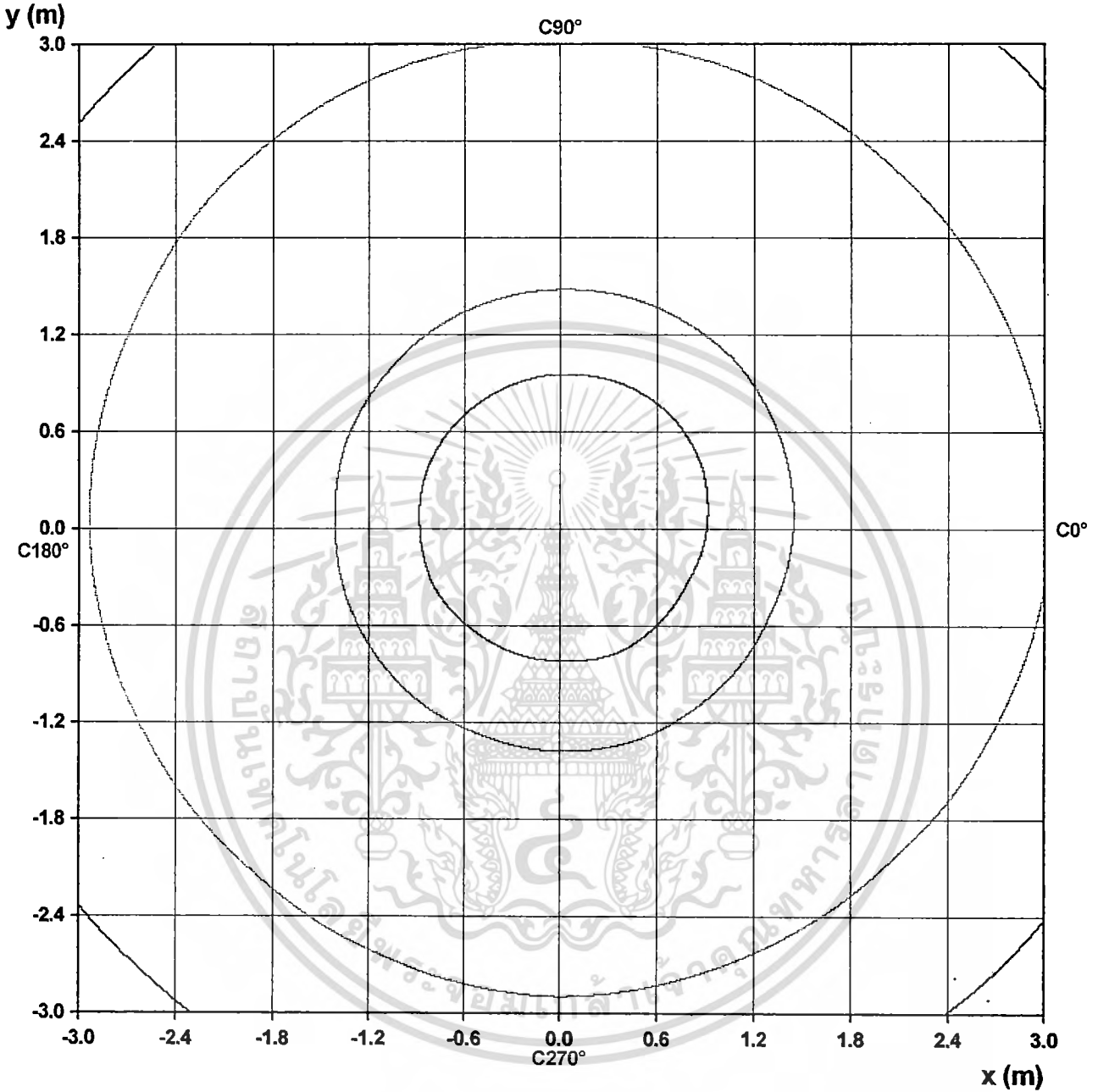
Prepared by: Sunthorn P.

Certified by: Pengpat

FT 003(E)-1/05-47



## Iso-Lux Diagram



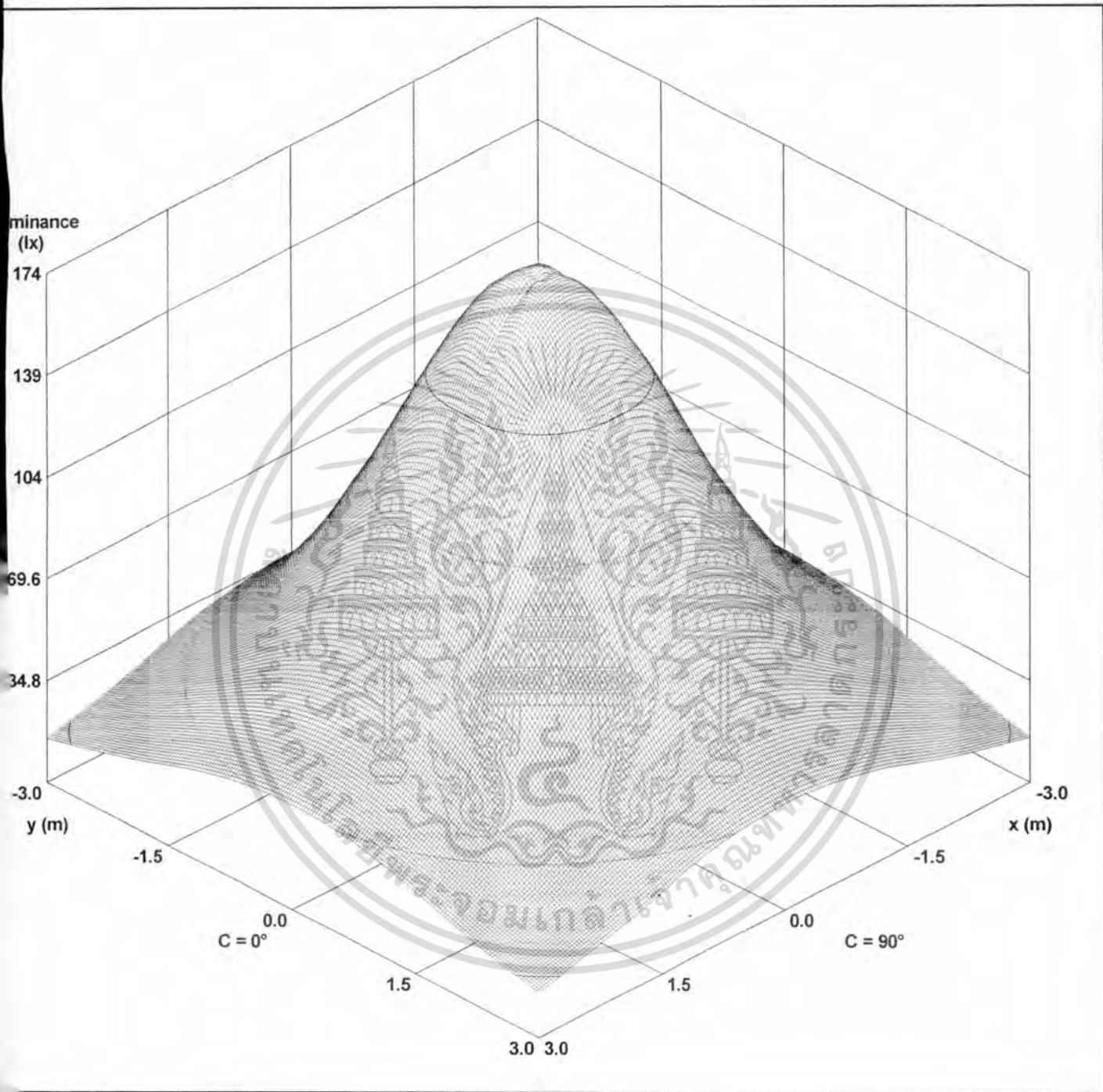
### Legend

Horizontal Illuminance  
All values in lux  
Maximum Illuminance = 174  
Mounting Height = 2.7 m

	139 (80.0%)		104 (60.0%)
	69.6 (40.0%)		34.8 (20.0%)
	17.4 (10.0%)		



## 3D Lux Web



Horizontal Illuminance  
 Maximum Illuminance = 174 lux  
 Mounting Height = 2.7 m



สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์  
ELECTRICAL AND ELECTRONICS INSTITUTE

# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Bangpoo Industrial Estate Soi 8, Sukhumvit Road Km.37,  
975 Moo 4, Praeksa, Muang, Samutprakarn 10280  
Tel. +66 2709 4860-8 Fax. +66 2324 0917-8

## TEST CERTIFICATE [ Streetlight Luminaire ]

Page 1 /12

Report No. E1014(E)/52  
 Operation No. 5209BE1087  
 Name and address of customer King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
 1518 Pibulsongkram Road, Bangsue, Bangkok 10800  
 Tel : 0-2913-2500 Fax : 0-2587-4350  
 Sample description Streetlight Luminaire, 1 Unit  
 (Details did not specified on product)  
 Sample No. BE1087  
 Sample characteristic and condition Normal  
 Sample received date September 9, 2009  
 Test date September 15, 2009  
 Test standard CIE 121:1996  
 Test report Details of the test report as shown on the following pages.  
 Test conditions: Voltage = 220.0 V/50.0 Hz, Current = 1.051 A, Power = 120.3 W  
 Test distance: 16 m  
 Auxiliary equipment:  
 Mercury Lamp: OSRAM MODEL: HQL (MBF-U) 80W  
 Ballast: SP ELECTRIC MODEL: Q125 For High pressure mercury lamp  
 1.15A 50Hz Cos $\phi$  0.54 tw130 230V

Certified by *Pongpat Phanpean*  
 (Mr. Pongpat Phanpean)  
 Group Manager  
 Lighting Test Group  
 16 SEP 2009

*Witee Srimongkol*  
 (Mr. Witee Srimongkol)  
 Manager, Section (Act)  
 Operation Section  
 สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์  
 ELECTRICAL AND ELECTRONICS INSTITUTE  
 16 SEP 2009

Test personnel : SJ.(MJ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

This document is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

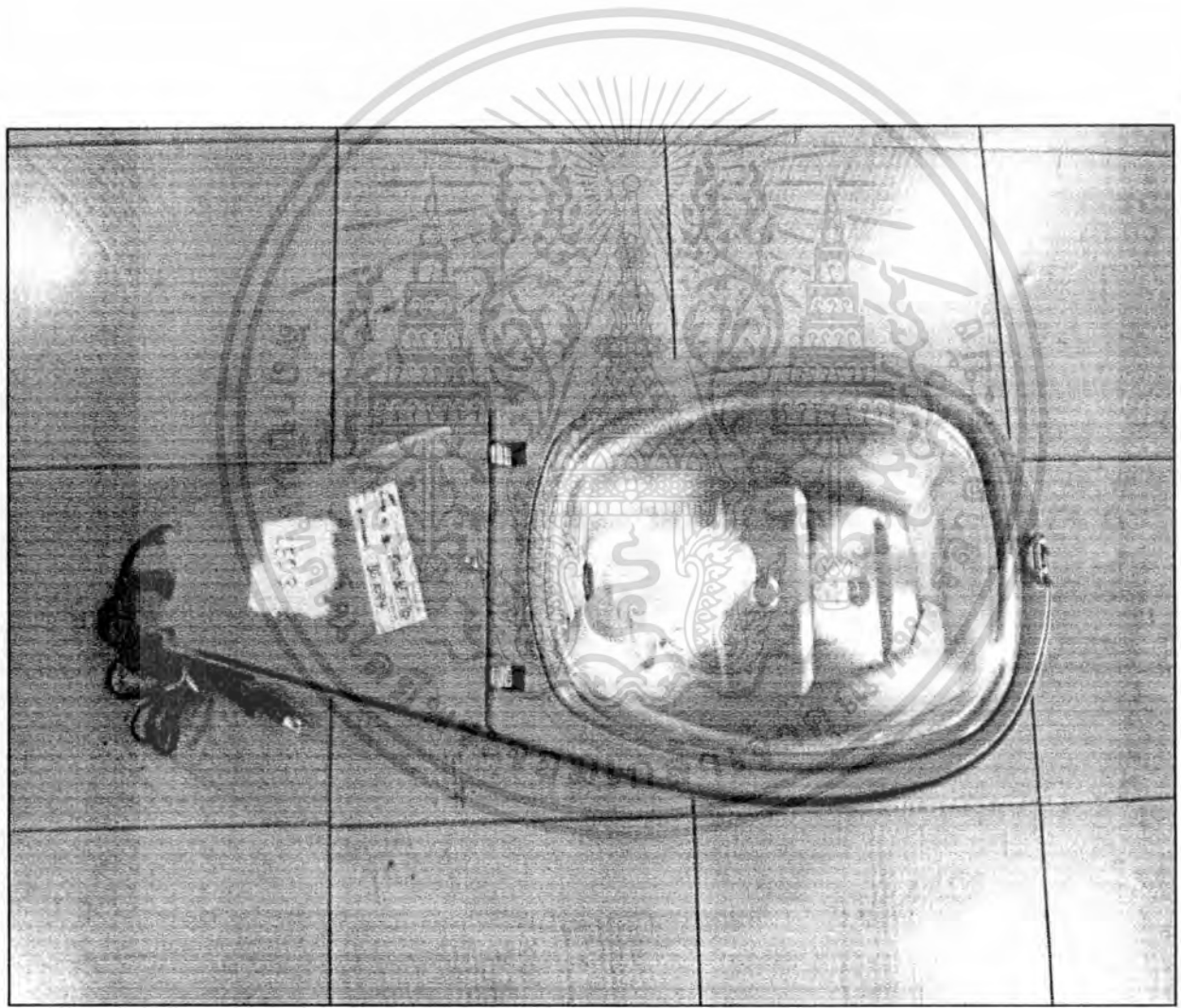
FT 002(E)-4/08-50

**Luminaire Test Details:**

Photometry Type: **Type C**  
 Number of Lamps: **1**  
 Ballast Factor: **1.000**

**Luminaire Dimensions:**

Base Area: **0.340 m X 0.270 m**  
 Side Area: **0.340 m X 0.045 m**  
 End Area: **0.270 m X 0.045 m**  
 Luminous Shape: **Ellipsoid**





# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1014(E)/52  
Operation Number: 5209BE1087

Report Date: 15/09/2009  
Test Date: 15/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

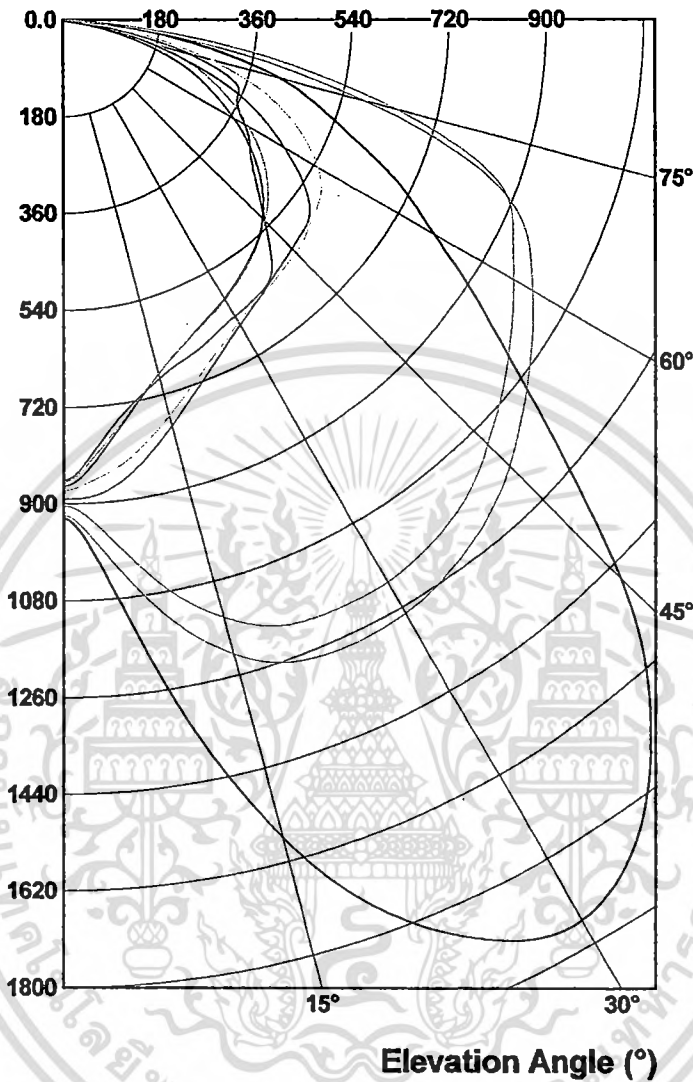
Page 3 of 12

## Luminous Intensity Distribution

### Legend (C-Planes)

- 0°
- 45°
- 90°
- 135°
- 180°
- 225°
- 270°
- 315°
- 360°

Luminous Intensity  
(cd)





# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1014(E)/52  
Operation Number: 5209BE1087

Report Date: 15/09/2009  
Test Date: 15/09/2009

**TEST REPORT** [ Streetlight Luminaire ]

Page 4 of 12

## Luminous Intensity Table (cd)

α \ C	0.0	22.5	45.0	67.5	90.0	112.5	135.0	157.5	180.0	202.5	225.0	247.5	270.0	292.5
0.0	885	885	885	885	885	885	885	885	885	885	885	885	885	885
2.5	894	864	847	830	824	822	830	842	860	885	914	982	962	967
5.0	879	829	801	781	779	777	793	810	847	900	963	1070	1060	1060
7.5	860	793	763	748	746	745	759	782	831	911	1020	1170	1180	1170
10.0	835	761	731	720	720	718	728	750	808	914	1070	1270	1320	1280
12.5	806	727	702	699	704	698	701	721	784	914	1110	1370	1450	1390
15.0	780	698	678	686	688	685	677	693	760	907	1150	1470	1580	1490
17.5	752	673	659	671	674	675	660	670	736	899	1180	1550	1690	1580
20.0	728	654	645	659	668	662	645	650	715	892	1200	1610	1770	1640
22.5	706	634	631	650	662	652	632	633	695	882	1200	1650	1840	1690
25.0	686	619	618	644	652	646	619	618	676	872	1210	1670	1890	1720
27.5	668	603	608	633	640	635	611	602	665	864	1210	1690	1930	1730
30.0	653	592	598	621	634	628	600	595	645	863	1210	1690	1940	1740
32.5	642	583	586	613	632	612	590	585	637	856	1200	1670	1910	1710
35.0	629	574	574	602	624	607	577	576	631	852	1190	1630	1870	1670
37.5	621	566	563	586	622	584	565	570	626	851	1180	1570	1790	1600
40.0	613	564	552	562	613	577	555	564	619	850	1160	1500	1700	1520
42.5	605	557	540	526	562	533	541	558	614	845	1140	1430	1610	1430
45.0	602	547	522	493	527	502	528	556	612	843	1110	1340	1480	1330
47.5	593	544	503	456	494	466	514	543	607	841	1090	1230	1310	1210
50.0	594	542	482	421	464	434	497	542	597	838	1060	1130	1170	1110
52.5	586	517	455	388	440	400	476	534	588	837	1040	1060	1040	1010
55.0	556	486	430	364	420	376	452	518	586	835	1010	988	956	943
57.5	517	443	398	338	413	352	427	492	574	841	991	916	883	888
60.0	476	402	369	313	388	327	398	460	550	854	966	786	785	773
62.5	436	358	333	286	367	304	370	421	524	856	942	704	737	692
65.0	393	315	301	260	352	279	337	384	487	845	920	647	674	632
67.5	352	277	272	241	351	259	307	346	450	826	909	572	585	548
70.0	294	227	237	218	358	242	276	305	404	782	867	524	535	508
72.5	232	174	185	172	304	201	237	252	349	693	780	480	478	453
75.0	175	123	133	130	253	153	183	202	290	590	645	410	431	372
77.5	114	72.2	79.5	81.4	191	104	130	145	221	489	515	323	328	274
80.0	51.3	22.6	26.6	28.2	94.0	46.4	69.0	82.0	150	372	386	234	250	186
82.5	0.8	0.0	0.0	0.0	10.1	0.4	12.6	23.0	68.0	229	242	135	156	93.0
85.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	93.7	107	48.0	60.4	18.9
87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	7.4	0.0	2.5	0.0
90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1014(E)/52  
Operation Number: 5209BE1087

Report Date: 15/09/2009  
Test Date: 15/09/2009

## TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

### Luminous Intensity Table (cd) (Continued)

α \ C	0.0	22.5	45.0	67.5	90.0	112.5	135.0	157.5	180.0	202.5	225.0	247.5	270.0	292.5
2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
42.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
52.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
57.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
62.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
65.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
67.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
72.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
75.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
77.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
82.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
85.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1014(E)/52  
Operation Number: 5209BE1087

Report Date: 15/09/2009  
Test Date: 15/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 6 of 12

## Luminous Intensity Table (cd) (Continued)

α / C	315.0	337.5	360.0
0.0	885	885	885
0.5	950	923	894
1.0	1010	942	879
1.5	1070	956	860
2.0	1130	963	835
2.5	1180	960	806
3.0	1220	955	780
3.5	1250	945	752
4.0	1270	932	728
4.5	1280	919	706
5.0	1280	909	686
5.5	1280	903	668
6.0	1270	891	653
6.5	1270	889	642
7.0	1250	883	629
7.5	1240	875	621
8.0	1220	870	613
8.5	1200	864	605
9.0	1180	858	602
9.5	1140	854	593
10.0	1120	850	594
10.5	1090	846	586
11.0	1060	854	556
11.5	1040	851	517
12.0	1010	834	476
12.5	979	805	436
13.0	957	782	393
13.5	915	753	352
14.0	853	682	294
14.5	736	576	232
15.0	585	464	175
15.5	442	367	114
16.0	301	230	51.3
16.5	156	86.4	0.8
17.0	34.0	0.0	0.0
17.5	0.0	0.0	0.0
18.0	0.0	0.0	0.0



## Luminous Intensity Table (cd) (Continued)

$\gamma \backslash C$	315.0	337.5	360.0
2.5	0.0	0.0	0.0
5.0	0.0	0.0	0.0
7.5	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	0.0	0.0
12.5	0.0	0.0	0.0
15.0	0.0	0.0	0.0
17.5	0.0	0.0	0.0
20.0	0.0	0.0	0.0
22.5	0.0	0.0	0.0
25.0	0.0	0.0	0.0
27.5	0.0	0.0	0.0
30.0	0.0	0.0	0.0
32.5	0.0	0.0	0.0
35.0	0.0	0.0	0.0
37.5	0.0	0.0	0.0
40.0	0.0	0.0	0.0
42.5	0.0	0.0	0.0
45.0	0.0	0.0	0.0
47.5	0.0	0.0	0.0
50.0	0.0	0.0	0.0
52.5	0.0	0.0	0.0
55.0	0.0	0.0	0.0
57.5	0.0	0.0	0.0
60.0	0.0	0.0	0.0
62.5	0.0	0.0	0.0
65.0	0.0	0.0	0.0
67.5	0.0	0.0	0.0
70.0	0.0	0.0	0.0
72.5	0.0	0.0	0.0
75.0	0.0	0.0	0.0
77.5	0.0	0.0	0.0
80.0	0.0	0.0	0.0
82.5	0.0	0.0	0.0
85.0	0.0	0.0	0.0
87.5	0.0	0.0	0.0
90.0	0.0	0.0	0.0
92.5	0.0	0.0	0.0
95.0	0.0	0.0	0.0
97.5	0.0	0.0	0.0
100.0	0.0	0.0	0.0





# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1014(E)/52  
Operation Number: 5209BE1087

Report Date: 15/09/2009  
Test Date: 15/09/2009

EST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 8 of 12

## Luminous Flux Table

Elevation	Cone	Lumens	Cumulative	Luminaire %
0°	0.0° - 1.3°	1.3	1.3	0.0
2.5°	1.3° - 3.8°	10.6	11.9	0.3
5°	3.8° - 6.3°	21.4	33.3	0.9
7.5°	6.3° - 8.8°	32.4	65.7	1.9
10°	8.8° - 11.3°	43.8	109.5	3.1
12.5°	11.3° - 13.8°	55.4	164.8	4.7
15°	13.8° - 16.3°	67.0	231.9	6.6
17.5°	16.3° - 18.8°	78.6	310.5	8.8
20°	18.8° - 21.3°	89.9	400.4	11.4
22.5°	21.3° - 23.8°	100.6	501.0	14.3
25°	23.8° - 26.3°	111.0	612.0	17.4
27.5°	26.3° - 28.8°	120.8	732.8	20.9
30°	28.8° - 31.3°	129.9	862.7	24.5
32.5°	31.3° - 33.8°	138.0	1000.7	28.5
35°	33.8° - 36.3°	144.8	1145.5	32.6
37.5°	36.3° - 38.8°	150.3	1295.7	36.9
40°	38.8° - 41.3°	154.6	1450.3	41.3
42.5°	41.3° - 43.8°	156.7	1607.1	45.7
45°	43.8° - 46.3°	157.8	1764.9	50.2
47.5°	46.3° - 48.8°	156.5	1921.5	54.7
50°	48.8° - 51.3°	155.5	2077.0	59.1
52.5°	51.3° - 53.8°	153.8	2230.7	63.5
55°	53.8° - 56.3°	152.2	2382.9	67.8
57.5°	56.3° - 58.8°	149.7	2532.6	72.1
60°	58.8° - 61.3°	143.7	2676.3	76.2
62.5°	61.3° - 63.8°	138.5	2814.8	80.1
65°	63.8° - 66.3°	133.0	2947.8	83.9
67.5°	66.3° - 68.8°	126.0	3073.9	87.5
70°	68.8° - 71.3°	117.7	3191.6	90.8
72.5°	71.3° - 73.8°	103.0	3294.6	93.8
75°	73.8° - 76.3°	85.0	3379.6	96.2
77.5°	76.3° - 78.8°	64.9	3444.5	98.0
80°	78.8° - 81.3°	42.7	3487.2	99.2
82.5°	81.3° - 83.8°	20.6	3507.7	99.8
85°	83.8° - 86.3°	6.3	3514.0	100.0
87.5°	86.3° - 88.8°	0.2	3514.2	100.0
90°	88.8° - 91.3°	0.0	3514.2	100.0



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: **E1014(E)/52**  
Operation Number: **5209BE1087**

Report Date: **15/09/2009**  
Test Date: **15/09/2009**

**TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]**

Page 9 of 12

## Luminous Flux Table (Continued)

Elevation	Cone	Lumens	Cumulative	Luminaire %
92.5°	91.3° - 93.8°	0.0	3514.2	100.0
95°	93.8° - 96.3°	0.0	3514.2	100.0
97.5°	96.3° - 98.8°	0.0	3514.2	100.0
100°	98.8° - 101.3°	0.0	3514.2	100.0
102.5°	101.3° - 103.8°	0.0	3514.2	100.0
105°	103.8° - 106.3°	0.0	3514.2	100.0
107.5°	106.3° - 108.8°	0.0	3514.2	100.0
110°	108.8° - 111.3°	0.0	3514.2	100.0
112.5°	111.3° - 113.8°	0.0	3514.2	100.0
115°	113.8° - 116.3°	0.0	3514.2	100.0
117.5°	116.3° - 118.8°	0.0	3514.2	100.0
120°	118.8° - 121.3°	0.0	3514.2	100.0
122.5°	121.3° - 123.8°	0.0	3514.2	100.0
125°	123.8° - 126.3°	0.0	3514.2	100.0
127.5°	126.3° - 128.8°	0.0	3514.2	100.0
130°	128.8° - 131.3°	0.0	3514.2	100.0
132.5°	131.3° - 133.8°	0.0	3514.2	100.0
135°	133.8° - 136.3°	0.0	3514.2	100.0
137.5°	136.3° - 138.8°	0.0	3514.2	100.0
140°	138.8° - 141.3°	0.0	3514.2	100.0
142.5°	141.3° - 143.8°	0.0	3514.2	100.0
145°	143.8° - 146.3°	0.0	3514.2	100.0
147.5°	146.3° - 148.8°	0.0	3514.2	100.0
150°	148.8° - 151.3°	0.0	3514.2	100.0
152.5°	151.3° - 153.8°	0.0	3514.2	100.0
155°	153.8° - 156.3°	0.0	3514.2	100.0
157.5°	156.3° - 158.8°	0.0	3514.2	100.0
160°	158.8° - 161.3°	0.0	3514.2	100.0
162.5°	161.3° - 163.8°	0.0	3514.2	100.0
165°	163.8° - 166.3°	0.0	3514.2	100.0
167.5°	166.3° - 168.8°	0.0	3514.2	100.0
170°	168.8° - 171.3°	0.0	3514.2	100.0
172.5°	171.3° - 173.8°	0.0	3514.2	100.0
175°	173.8° - 176.3°	0.0	3514.2	100.0
177.5°	176.3° - 178.8°	0.0	3514.2	100.0
180°	178.8° - 180.0°	0.0	3514.2	100.0



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1014(E)/52  
Operation Number: 5209BE1087

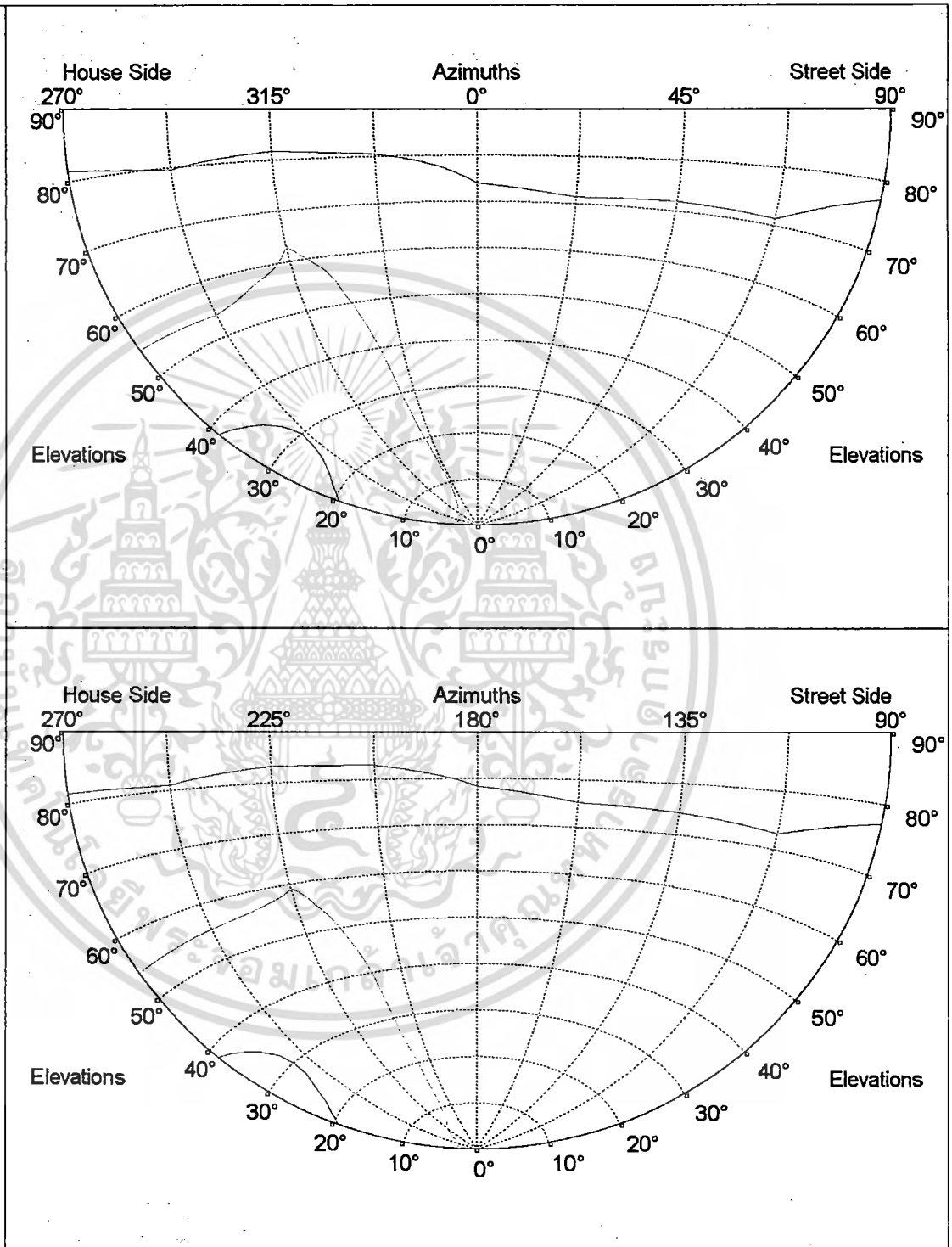
Report Date: 15/09/2009  
Test Date: 15/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 10 of 12

## Iso-Candela Diagram

**Legend**  
(cd)  
Max = 1944.0  
1749.6 (90.0%)  
972.0 (50.0%)  
194.4 (10.0%)



Report TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004

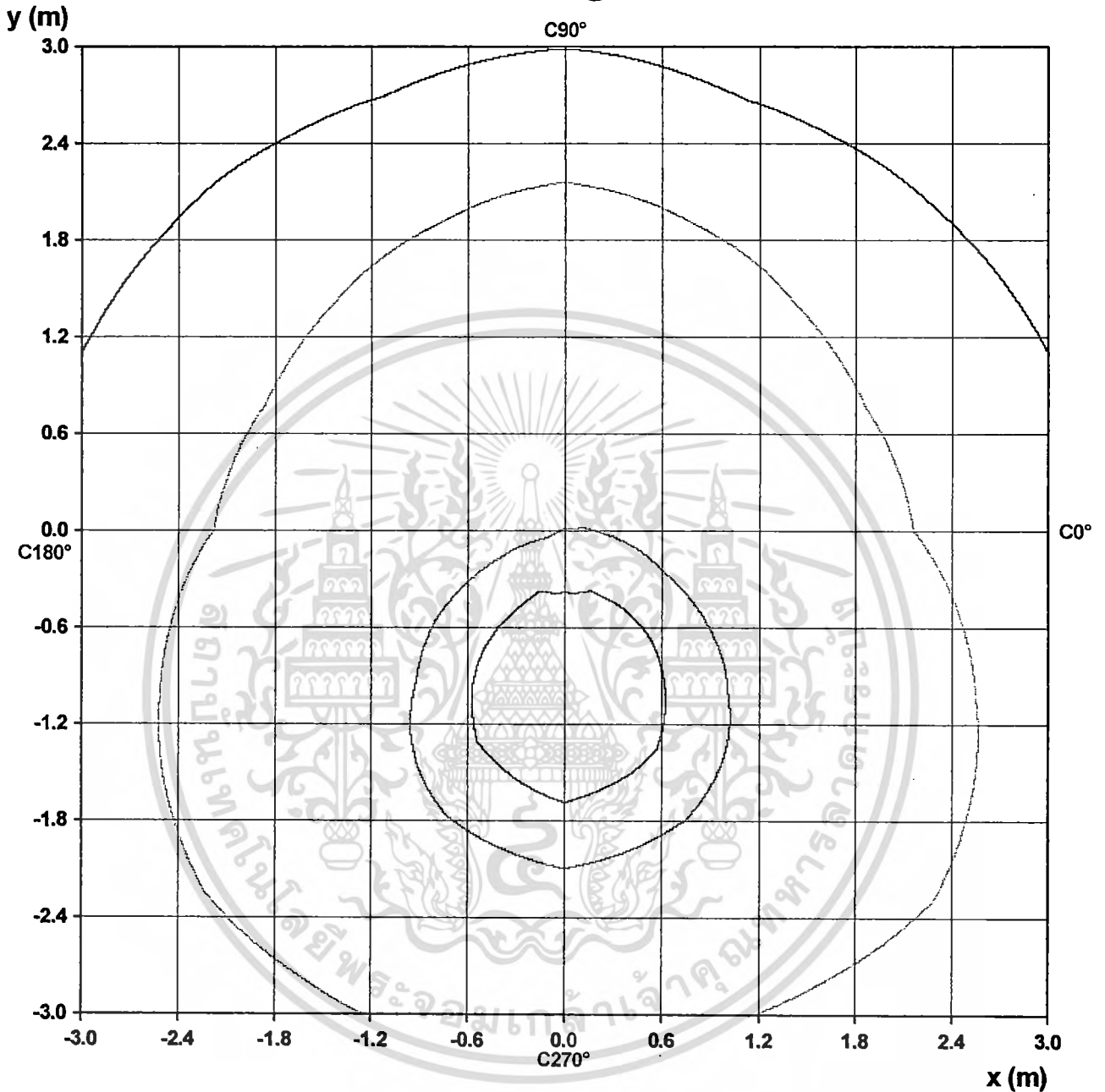
Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

ed by: Suntirop

Certified by: Pengpat



FT 003(E)-1/05-47

## Iso-Lux Diagram

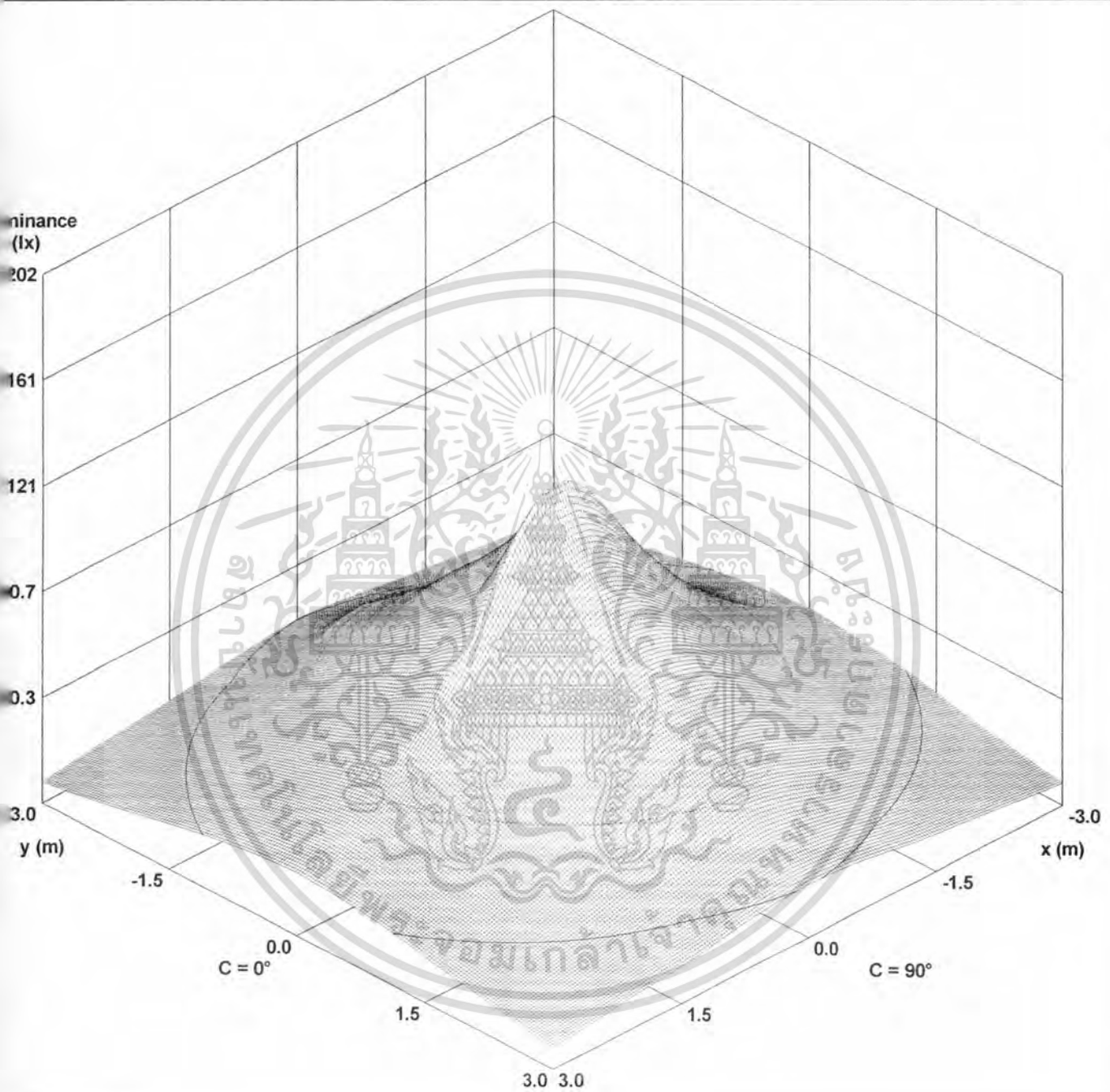


### Legend

Horizontal Illuminance  
 All values in lux  
 Maximum Illuminance = 202  
 Mounting Height = 2.7 m

	161 (80.0%)		121 (60.0%)
	80.7 (40.0%)		40.3 (20.0%)
	20.2 (10.0%)		

## 3D Lux Web



Horizontal Illuminance  
Maximum Illuminance = 202 lux  
Mounting Height = 2.7 m



สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์  
ELECTRICAL AND ELECTRONICS INSTITUTE

# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Bangpoo Industrial Estate Soi 8, Sukhumvit Road Km.37,  
975 Moo 4, Praeksa, Muang, Samutprakarn 10280  
Tel. +66 2709 4860-8 Fax. +66 2324 0917-8

## TEST CERTIFICATE [ Streetlight Luminaire ]

Page 1 / 10

Report No.	E1015(E)/52
Operation No.	5209BE1088
Name and address of customer	King Mongkut's University of Technology North Bangkok 1518 Pibulsongkram Road, Bangsue, Bangkok 10800 Tel : 0-2913-2500 Fax : 0-2587-4350
Sample description	Streetlight Luminaire, 1 Unit (Details did not specified on product)
Sample No.	BE1088
Sample characteristic and condition	Normal
Sample received date	September 9, 2009
Test date	September 11, 2009
Test standard	CIE 121:1996
Test report	Details of the test report as shown on the following pages.
Test conditions: Voltage = 220.0 V/50.0 Hz, Current = 0.459 A, Power = 46.06 W	
Test distance: 16 m	

Certified by

*Pongpat Phampean*

(Mr. Pongpat Phanpean)

Group Manager

Lighting Test Group

16 SEP 2009

*Witee Srimongkol*

(Mr. Witee Srimongkol)

Manager, Section (Act)

Operation Section

16 SEP 2009

Test personnel : SJ.(MJ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

This document is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

FT 002(E)-4/08-50

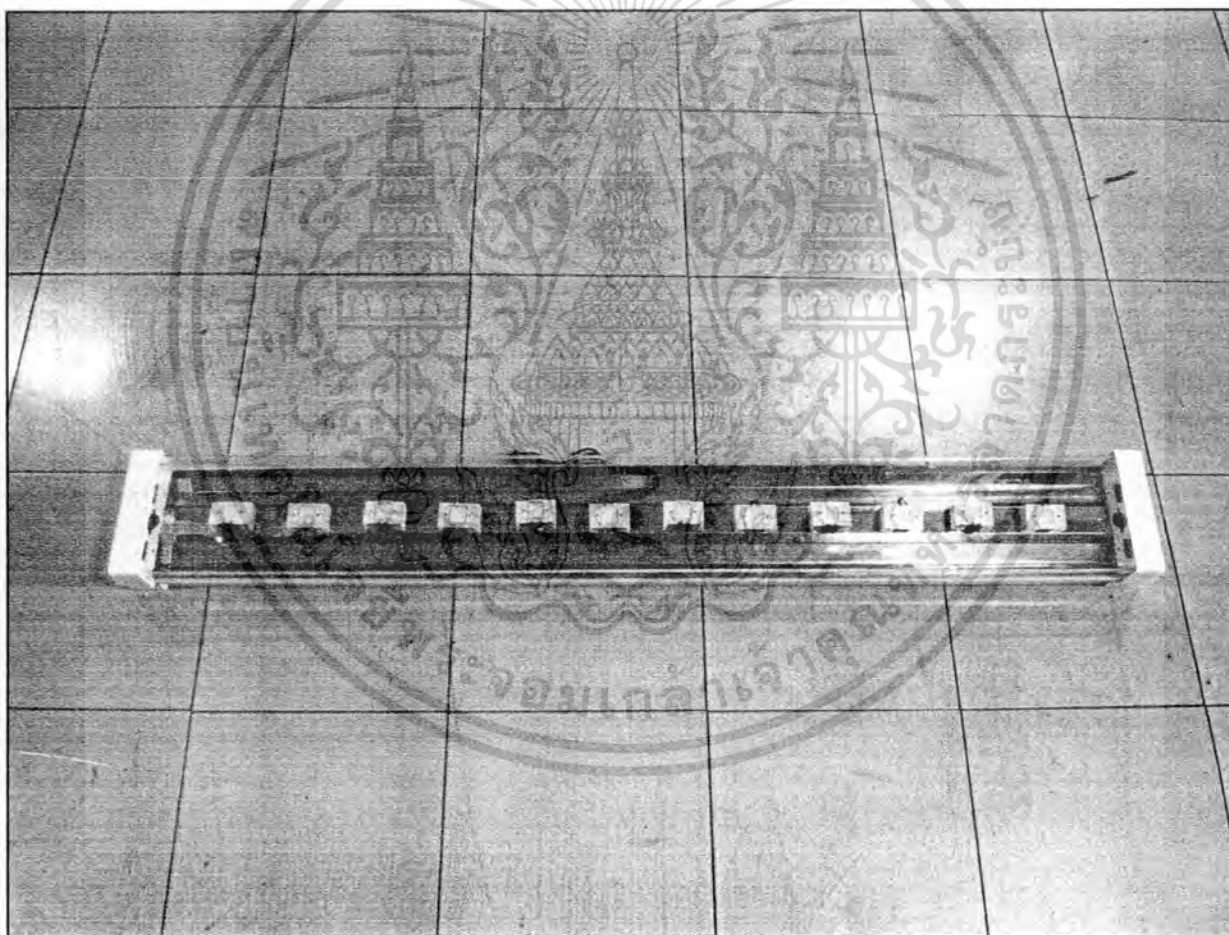
## TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

### Luminaire Test Details:

Photometry Type: Type C  
Number of Lamps: 1  
Ballast Factor: 1.000

### Luminous Dimensions:

Base Area: 1.170 m X 0.160 m  
Side Area: 1.170 m X 0.040 m  
End Area: 0.160 m X 0.040 m  
Luminous Shape: 3D Rectangle



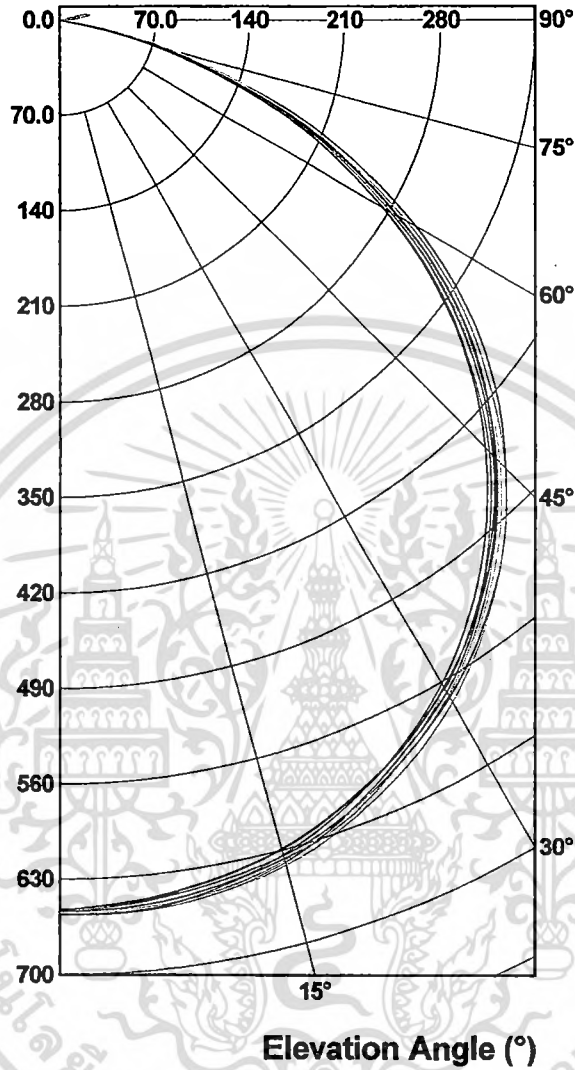
## Luminous Intensity Distribution

### Legend

(C-Planes)

- \_\_\_\_\_ 0°
- \_\_\_\_\_ 45°
- \_\_\_\_\_ 90°
- \_\_\_\_\_ 135°
- \_\_\_\_\_ 180°
- \_\_\_\_\_ 225°
- \_\_\_\_\_ 270°
- \_\_\_\_\_ 315°
- \_\_\_\_\_ 360°

Luminous Intensity  
(cd)



Elevation Angle (°)



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1015(E)/52  
Operation Number: 5209BE1088

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 11/09/2009

## TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

### Luminous Intensity Table (cd)

°C	0.0	22.5	45.0	67.5	90.0	112.5	135.0	157.5	180.0	202.5	225.0	247.5	270.0	292.5	315.0	337.5	360.0
654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654	654
656	654	652	652	652	652	654	654	656	656	653	652	651	649	655	657	658	656
656	653	652	650	649	652	655	654	654	653	653	650	648	653	655	656	656	656
653	651	649	648	646	650	653	655	653	652	653	648	645	650	654	654	653	653
648	648	646	645	643	647	651	652	650	649	649	644	641	645	651	650	648	648
642	641	642	644	639	642	647	646	645	644	645	638	636	641	646	643	642	642
633	635	635	636	634	637	641	640	637	637	637	632	629	636	639	635	633	633
624	625	632	630	628	631	635	632	630	629	630	627	621	627	627	630	625	624
614	616	619	621	619	624	625	624	619	619	624	624	612	619	619	615	614	614
603	605	608	610	610	617	615	614	610	608	611	608	603	610	607	605	603	603
591	593	594	598	597	605	604	602	598	597	597	597	591	598	595	592	591	591
576	580	582	587	585	592	591	590	585	584	585	584	578	582	580	578	576	576
561	564	569	572	573	578	577	576	572	572	571	569	564	569	566	564	561	561
545	547	553	556	558	565	562	562	556	554	554	554	550	552	549	549	545	545
526	529	534	538	543	549	544	544	540	537	538	535	532	536	532	530	526	526
508	509	513	518	526	529	527	526	521	517	518	516	516	517	514	509	508	508
488	489	494	497	508	508	507	504	503	498	498	495	498	497	492	489	488	488
466	468	475	478	487	488	487	483	482	476	479	474	475	475	470	467	466	466
443	444	451	455	464	465	464	461	458	453	454	452	453	449	448	445	443	443
418	419	427	434	443	443	439	437	433	429	431	429	430	428	422	419	418	418
393	394	402	405	419	418	411	409	408	404	404	400	406	401	393	392	393	393
365	367	373	379	393	389	387	382	381	377	376	372	379	373	368	364	365	365
336	338	344	346	365	358	358	354	350	347	347	341	351	342	338	334	336	336
307	308	315	318	334	328	327	322	320	316	316	313	320	310	308	304	307	307
276	279	281	286	302	294	295	288	287	284	284	279	287	276	276	274	276	276
243	246	250	253	271	260	262	256	255	251	249	244	256	244	244	243	243	243
209	213	216	217	236	224	225	224	221	218	214	209	222	207	209	210	209	209
174	180	183	180	199	190	190	191	187	185	177	172	184	172	178	176	174	174
141	145	150	143	160	152	157	158	152	151	144	135	143	134	144	142	141	141
107	110	114	108	119	114	124	122	120	116	112	98.6	104	99.0	109	107	107	107
73.6	74.8	77.0	76.2	80.5	77.5	88.8	87.3	87.2	81.8	77.2	66.0	68.4	67.0	74.2	73.5	73.6	73.6
45.1	44.4	45.6	47.8	43.4	48.1	56.3	57.5	57.6	50.7	44.4	37.2	35.2	41.8	42.8	43.0	45.1	45.1
21.0	19.9	17.5	16.8	14.7	24.6	27.2	30.6	31.7	25.8	17.9	14.4	9.1	13.0	16.4	18.6	21.0	21.0
0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	8.8	9.5	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0





# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1015(E)/52  
Operation Number: 5209BE1088

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 11/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 6 of 10

## Luminous Flux Table

Elevation	Cone	Lumens	Cumulative	Luminaire %
0°	0.0° - 1.3°	1.0	1.0	0.1
2.5°	1.3° - 3.8°	7.8	8.8	0.5
5°	3.8° - 6.3°	15.6	24.4	1.3
7.5°	6.3° - 8.8°	23.3	47.7	2.6
10°	8.8° - 11.3°	30.8	78.5	4.3
12.5°	11.3° - 13.8°	38.1	116.6	6.4
15°	13.8° - 16.3°	45.1	161.7	8.9
17.5°	16.3° - 18.8°	51.8	213.5	11.7
20°	18.8° - 21.3°	58.1	271.6	14.9
22.5°	21.3° - 23.8°	63.9	335.5	18.4
25°	23.8° - 26.3°	69.1	404.7	22.2
27.5°	26.3° - 28.8°	73.9	478.5	26.3
30°	28.8° - 31.3°	78.1	556.7	30.6
32.5°	31.3° - 33.8°	81.6	638.3	35.1
35°	33.8° - 36.3°	84.4	722.6	39.7
37.5°	36.3° - 38.8°	86.4	809.1	44.5
40°	38.8° - 41.3°	87.7	896.8	49.3
42.5°	41.3° - 43.8°	88.3	985.1	54.1
45°	43.8° - 46.3°	87.9	1073.0	59.0
47.5°	46.3° - 48.8°	86.9	1160.0	63.7
50°	48.8° - 51.3°	84.8	1244.7	68.4
52.5°	51.3° - 53.8°	81.9	1326.7	72.9
55°	53.8° - 56.3°	77.9	1404.5	77.2
57.5°	56.3° - 58.8°	73.2	1477.7	81.2
60°	58.8° - 61.3°	67.5	1545.2	84.9
62.5°	61.3° - 63.8°	61.2	1606.4	88.3
65°	63.8° - 66.3°	53.9	1660.3	91.2
67.5°	66.3° - 68.8°	46.2	1706.5	93.8
70°	68.8° - 71.3°	37.9	1744.4	95.8
72.5°	71.3° - 73.8°	29.1	1773.5	97.4
75°	73.8° - 76.3°	20.4	1793.9	98.6
77.5°	76.3° - 78.8°	12.4	1806.3	99.2
80°	78.8° - 81.3°	5.4	1811.6	99.5
82.5°	81.3° - 83.8°	0.5	1812.1	99.6
85°	83.8° - 86.3°	0.0	1812.1	99.6
87.5°	86.3° - 88.8°	0.0	1812.1	99.6
90°	88.8° - 91.3°	0.0	1812.1	99.6

## Luminous Flux Table (Continued)

Elevation	Cone	Lumens	Cumulative	Luminaire %
92.5°	91.3° - 93.8°	0.0	1812.2	99.6
95°	93.8° - 96.3°	0.2	1812.4	99.6
97.5°	96.3° - 98.8°	1.0	1813.4	99.6
100°	98.8° - 101.3°	1.7	1815.1	99.7
102.5°	101.3° - 103.8°	2.2	1817.3	99.9
105°	103.8° - 106.3°	1.6	1819.0	99.9
107.5°	106.3° - 108.8°	0.8	1819.8	100.0
110°	108.8° - 111.3°	0.2	1819.9	100.0
112.5°	111.3° - 113.8°	0.0	1819.9	100.0
115°	113.8° - 116.3°	0.0	1819.9	100.0
117.5°	116.3° - 118.8°	0.0	1819.9	100.0
120°	118.8° - 121.3°	0.0	1819.9	100.0
122.5°	121.3° - 123.8°	0.0	1819.9	100.0
125°	123.8° - 126.3°	0.0	1819.9	100.0
127.5°	126.3° - 128.8°	0.0	1819.9	100.0
130°	128.8° - 131.3°	0.0	1819.9	100.0
132.5°	131.3° - 133.8°	0.0	1819.9	100.0
135°	133.8° - 136.3°	0.0	1819.9	100.0
137.5°	136.3° - 138.8°	0.0	1819.9	100.0
140°	138.8° - 141.3°	0.0	1819.9	100.0
142.5°	141.3° - 143.8°	0.0	1819.9	100.0
145°	143.8° - 146.3°	0.0	1819.9	100.0
147.5°	146.3° - 148.8°	0.0	1819.9	100.0
150°	148.8° - 151.3°	0.0	1819.9	100.0
152.5°	151.3° - 153.8°	0.0	1819.9	100.0
155°	153.8° - 156.3°	0.0	1819.9	100.0
157.5°	156.3° - 158.8°	0.0	1819.9	100.0
160°	158.8° - 161.3°	0.0	1819.9	100.0
162.5°	161.3° - 163.8°	0.0	1819.9	100.0
165°	163.8° - 166.3°	0.0	1819.9	100.0
167.5°	166.3° - 168.8°	0.0	1819.9	100.0
170°	168.8° - 171.3°	0.0	1819.9	100.0
172.5°	171.3° - 173.8°	0.0	1819.9	100.0
175°	173.8° - 176.3°	0.0	1819.9	100.0
177.5°	176.3° - 178.8°	0.0	1819.9	100.0
180°	178.8° - 180.0°	0.0	1819.9	100.0



# OPERATION AND STANDARDS DEPARTMENT

Report Number: E1015(E)/52  
Operation Number: 5209BE1088

Report Date: 11/09/2009  
Test Date: 11/09/2009

TEST REPORT [ Streetlight Luminaire ]

Page 8 of 10

## Iso-Candela Diagram

### Legend

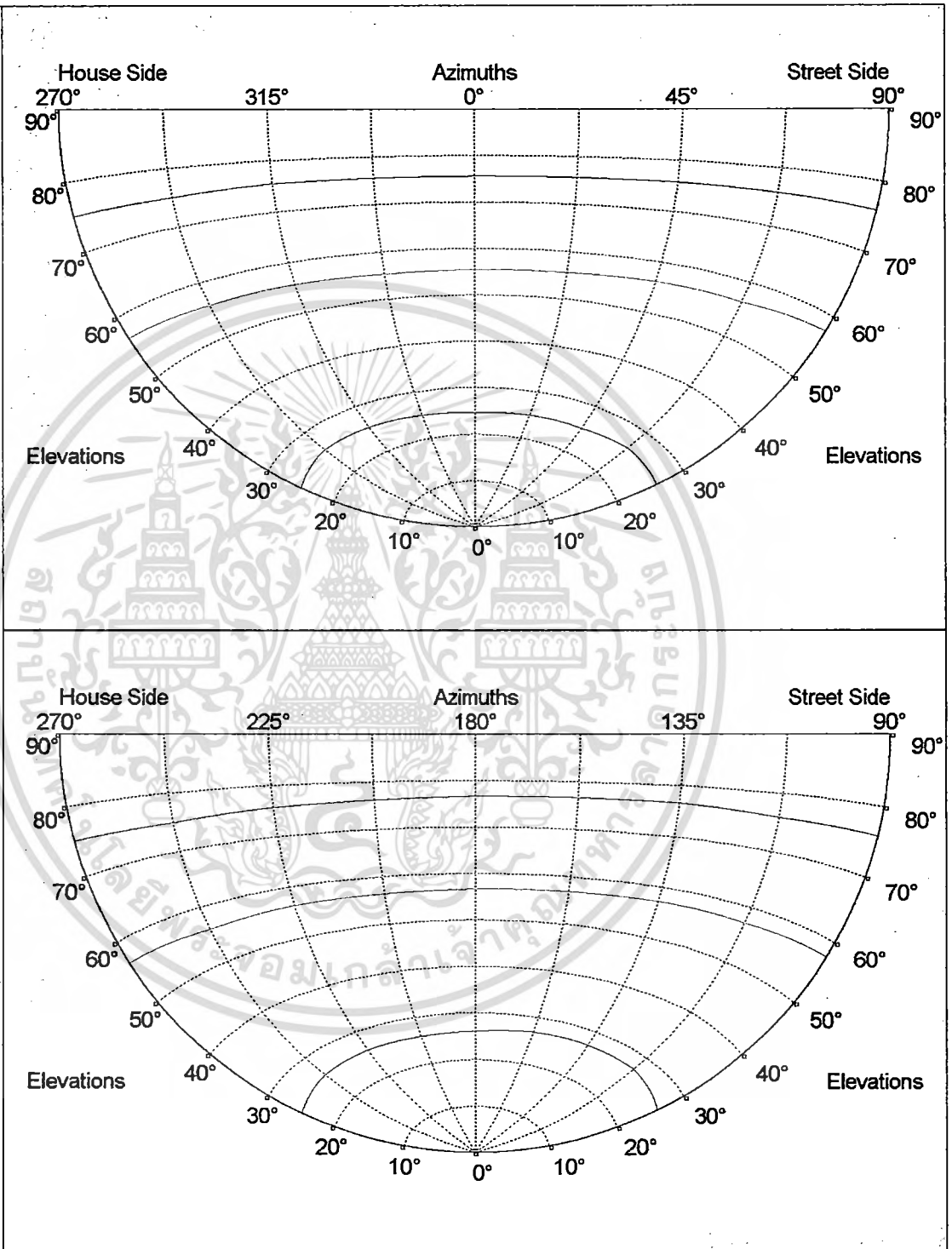
(cd)

Max = 657.7

591.9 (90.0%)

328.9 (50.0%)

65.8 (10.0%)



\*Report TISI v2.58 Copyright (C) Photometric Solutions International 1994-2004

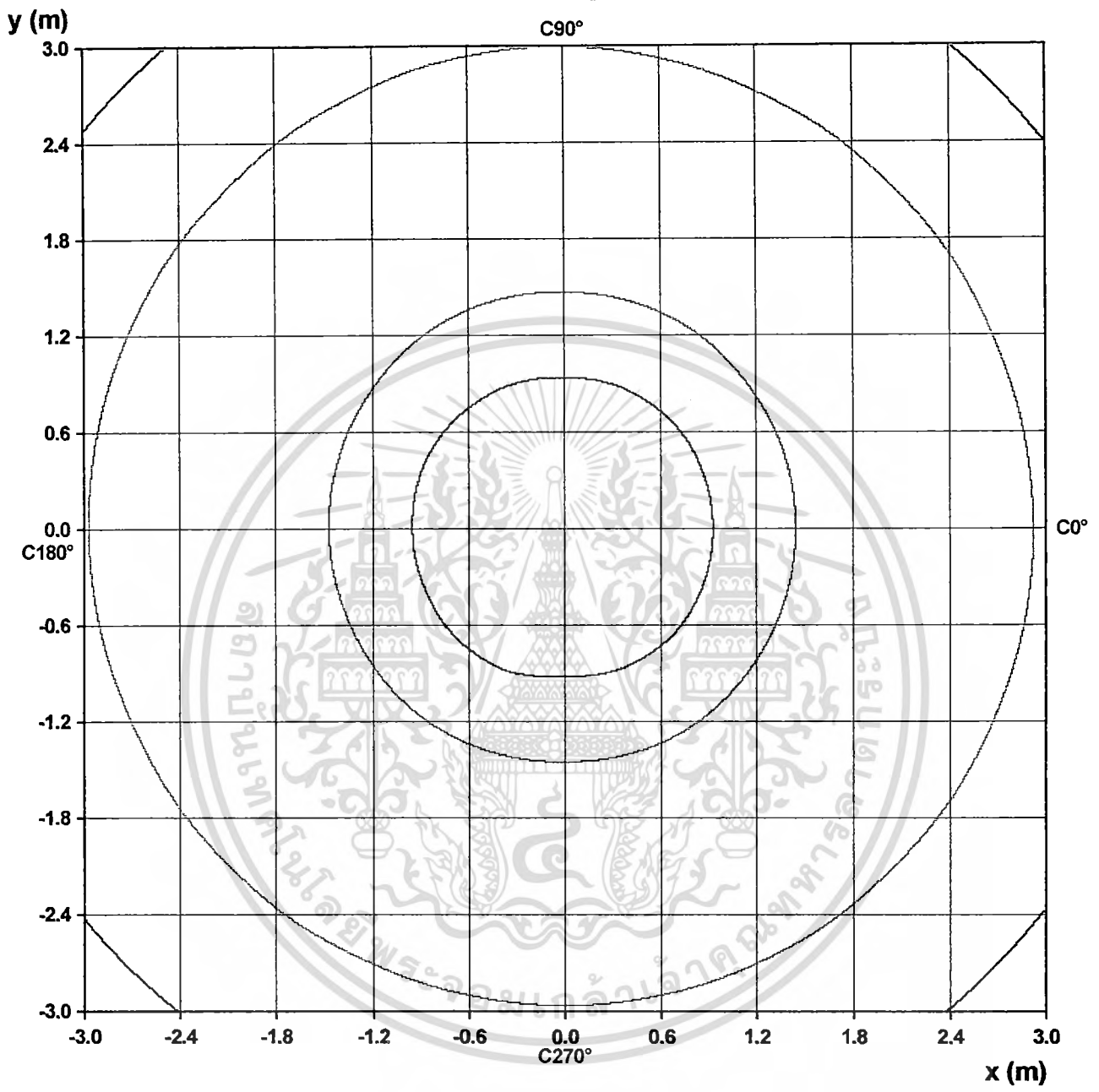
Report is certified only on the tested sample. Prohibit to reproduce some part of them without permission from the Operation and Standards Department.

Drawn by:.....Sunti.p.p.p.....

Certified by:.....Ponapat.....

FT 003(E)-1/05-47

## Iso-Lux Diagram

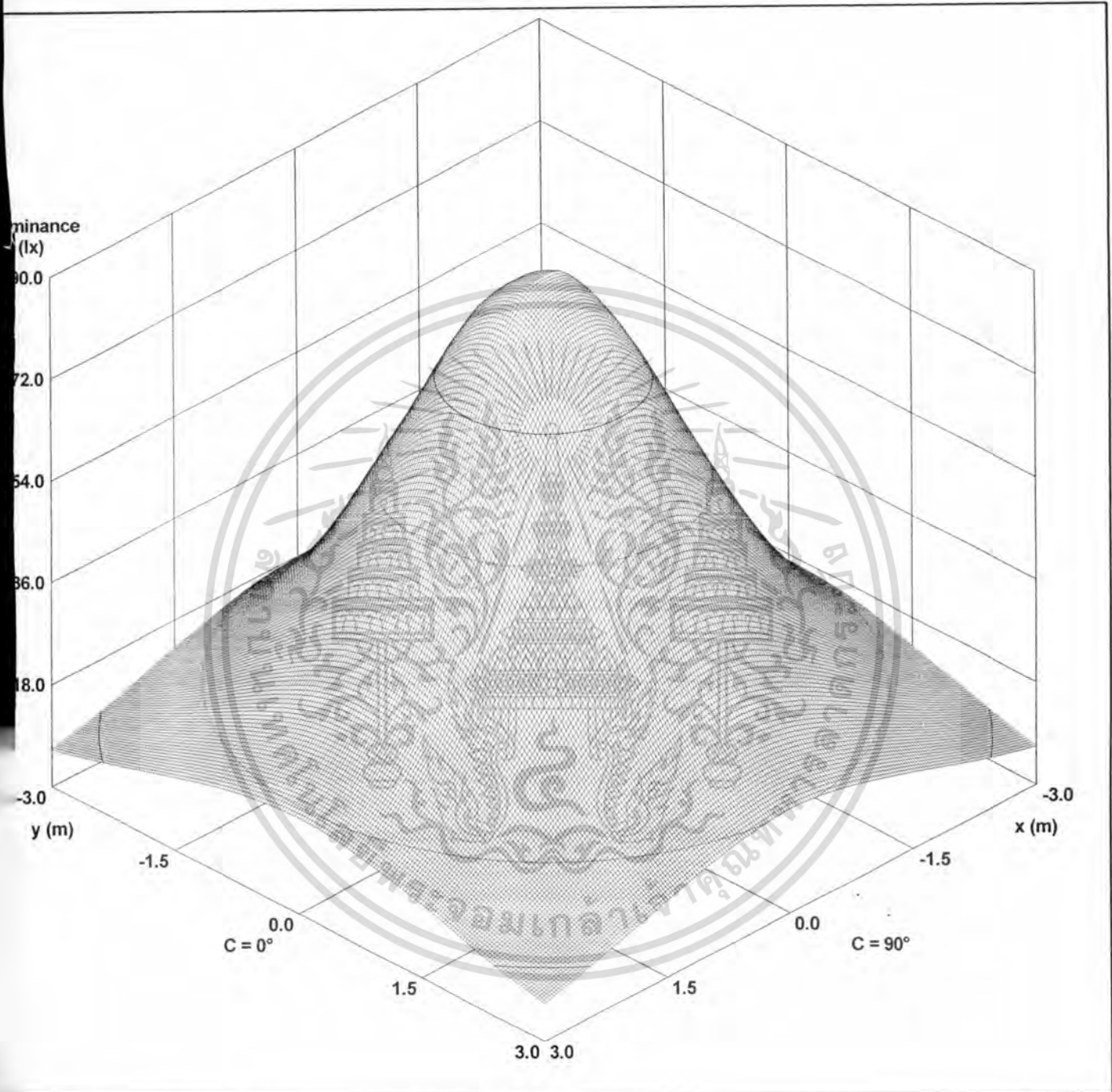


### Legend

Horizontal Illuminance  
 All values in lux  
 Maximum Illuminance = 90.0  
 Mounting Height = 2.7 m

	72.0 (80.0%)		54.0 (60.0%)
	36.0 (40.0%)		18.0 (20.0%)
	9.0 (10.0%)		

## 3D Lux Web



Horizontal Illuminance  
Maximum Illuminance = 90.0 lux  
Mounting Height = 2.7 m

## ภาคผนวก

ข. เอกสารแสดงรายละเอียดของ IC ที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LED BUCK REGULATOR CONTROL IC**

**Description**

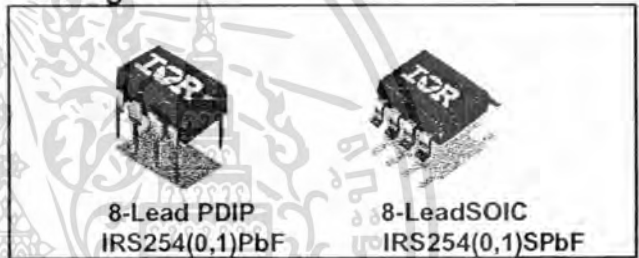
The IRS254(0,1) are high voltage, high frequency buck control ICs for constant LED current regulation. They incorporate a continuous mode time-delayed hysteretic buck regulator to directly control the average load current, using an accurate on-chip bandgap voltage reference.

The application is inherently protected against short circuit conditions, with the ability to easily add open-circuit protection. An external high-side bootstrap circuit drives the buck switching element at high frequencies. A low-side driver is also provided for synchronous rectifier designs. All functions are realized within a simple 8 pin DIP or SOIC package.

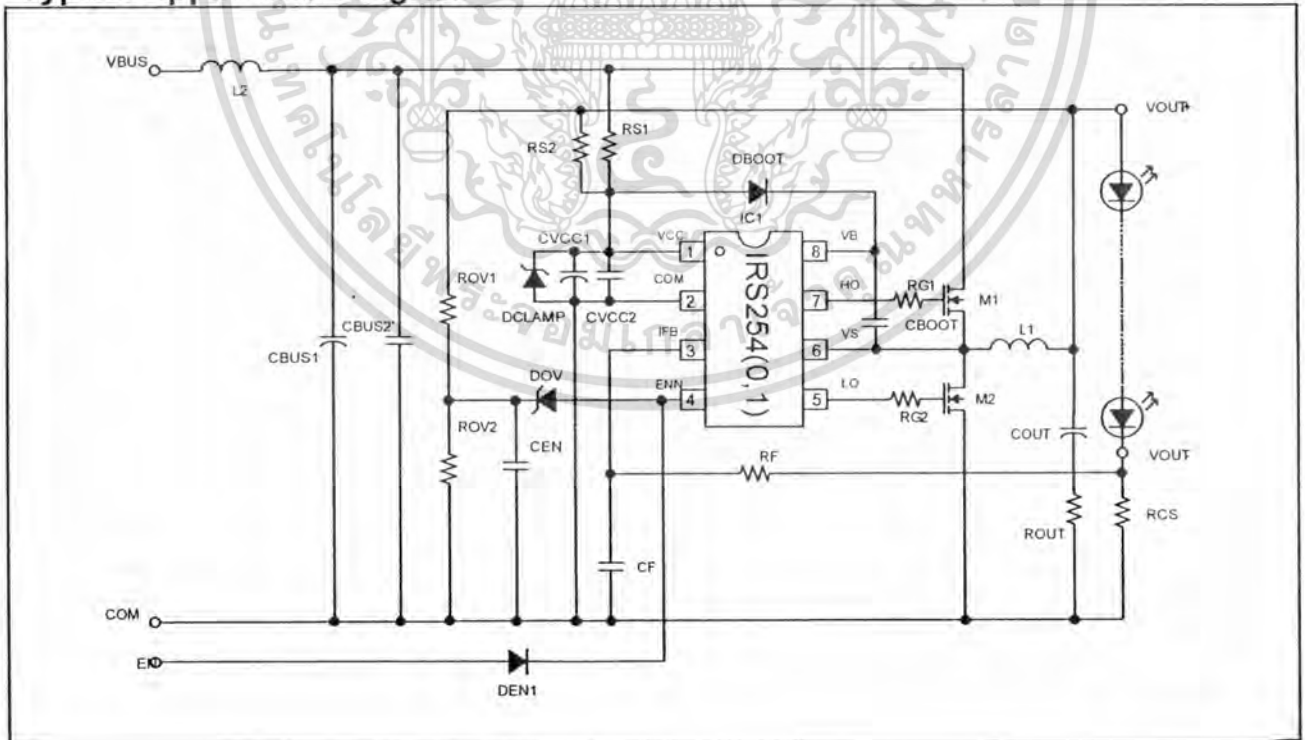
**Features**

- 200 V (IRS2540) and 600 V (IRS2541) half bridge driver
- Micropower startup (<500  $\mu$ A)
- $\pm 2\%$  voltage reference
- 140 ns deadtime
- 15.6 V zener clamp on  $V_{CC}$
- Frequency up to 500 kHz
- Auto restart, non-latched shutdown
- PWM dimmable
- Small 8-Lead DIP/8-Lead SOIC packages

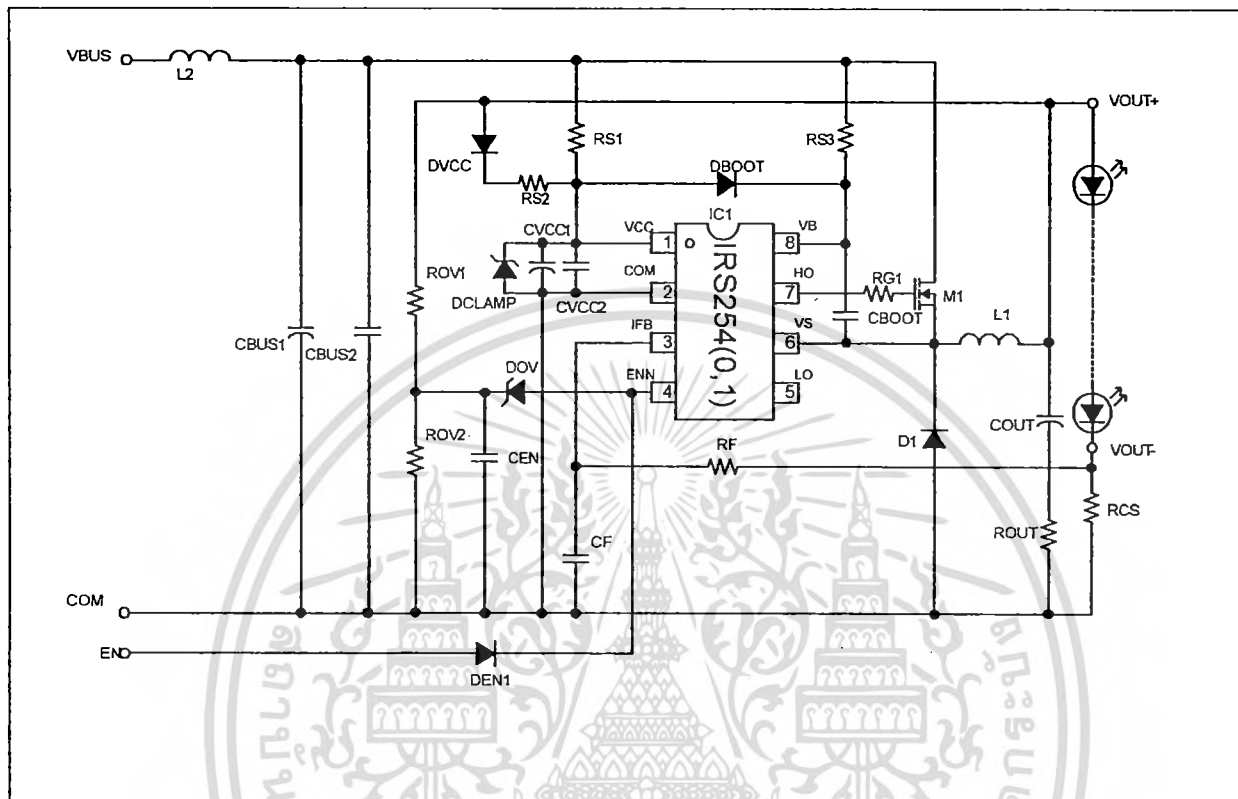
**Packages**



**Typical Application Diagram**



Alternate application circuit using a single MOSFET



## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM, all currents are defined positive into any lead. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>B</sub>	High-side floating supply voltage	IRS2540	-0.3	225	V
		IRS2541	-0.3	625	
V <sub>S</sub>	High-side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>HO</sub>	High-side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>LO</sub>	Low-side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>IFB</sub>	Feedback voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>ENN</sub>	Enable voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
I <sub>CC</sub>	Supply current (Note 1)	-20	20	mA	
dV/dt	Allowable offset voltage slew rate	-50	50	V/ns	
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25 °C P <sub>D</sub> = (T <sub>JMAX</sub> - T <sub>A</sub> ) / R <sub>THJA</sub>	(8-Pin DIP)	---	1	W
		(8-Pin SOIC)	---	0.625	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient	(8-Pin DIP)	---	125	°C/W
		(8-Pin SOIC)	---	200	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	-55	150	°C	
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150		
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	---	300		

Note 1: This IC contains a zener clamp structure between the chip V<sub>CC</sub> and COM, with a nominal breakdown voltage of 15.6 V. Please note that this supply pin should not be driven by a low impedance DC power source greater than V<sub>CLAMP</sub> specified in the electrical characteristics section.

## Recommended Operating Conditions

For proper operation the device should be used within recommended conditions.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>BS</sub>	High side floating supply voltage	V <sub>CC</sub> - 0.7	V <sub>CLAMP</sub>	V	
V <sub>S</sub>	Steady state high-side floating supply offset voltage	IRS2540	-1		200
		IRS2541	-1		600
V <sub>CC</sub>	Supply voltage	V <sub>CCUV+</sub>	V <sub>CLAMP</sub>		
I <sub>CC</sub>	Supply current	Note 2	10	mA	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	-25	125	°C	

Note 2: Sufficient current should be supplied to V<sub>CC</sub> to keep the internal 15.6 V zener regulating at V<sub>CLAMP</sub>.

**Electrical Characteristics**

$V_{CC} = V_{BS} = V_{BIAS} = 14\text{ V} \pm 0.25\text{ V}$ ,  $C_{LO} = C_{HO} = 1000\text{ pF}$ ,  $C_{VCC} = C_{VBS} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ ,  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

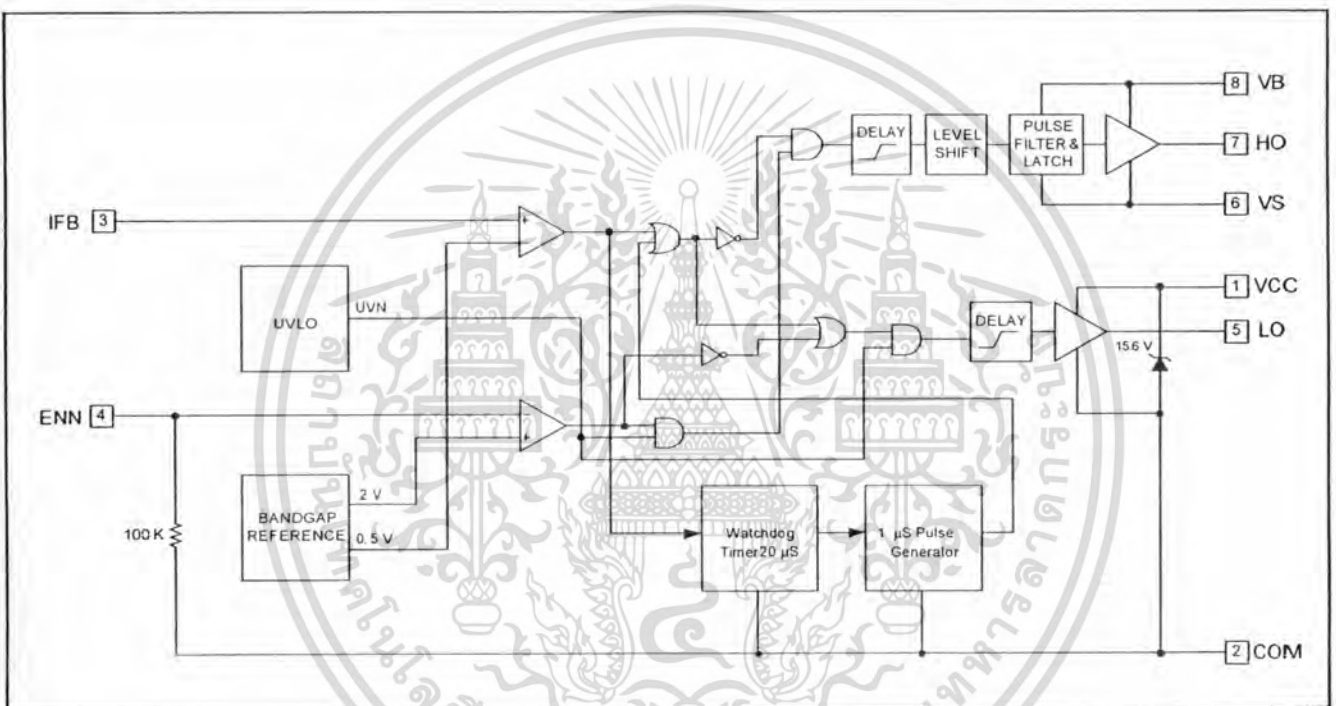
Symbol	Definition	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
<b>Supply Characteristics</b>						
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold	8.0	9.0	10.0	V	$V_{CC}$ rising from 0 V
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold	6.5	7.5	8.5		$V_{CC}$ falling from 14 V
$V_{UVHYS}$	$V_{CC}$ supply undervoltage lockout hysteresis	1.0	1.2	2.0		
$I_{OCCUV}$	UVLO mode quiescent current	---	50	150	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = 6\text{ V}$
$I_{OCCENN}$	Disabled mode quiescent current	---	1.0	2.0	mA	$EN > V_{ENTH+}$
$I_{OCC}$	Quiescent $V_{CC}$ supply current	---	1.0	2.0		$I_{FB} = 1\text{ V}$
$I_{CC50k}$	$V_{CC}$ supply current, $f = 50\text{ kHz}$	---	2.0	3.0		Duty Cycle = 50% $f = 50\text{ kHz}$
$V_{CLAMP}$	$V_{CC}$ zener clamp voltage	14.6	15.6	16.6	V	$I_{CC} = 10\text{ mA}$
<b>Floating Supply Characteristics</b>						
$I_{OBS0}$	Quiescent $V_{BS}$ supply current	---	1.0	2.0	mA	$V_{HO} = V_S$
$I_{OBS1}$	Quiescent $V_{BS}$ supply current	---	2.0	3.0		$I_{FB} = 0\text{ V}$
$V_{BSUV+}$	$V_{BS}$ supply undervoltage positive going threshold	6.5	7.5	8.5	V	
$V_{BSUV-}$	$V_{BS}$ supply undervoltage negative going threshold	6.0	7.0	8.0		
$I_{LK}$	Offset supply leakage current	---	1	50	$\mu\text{A}$	IRS2540: $V_B = V_S = 200\text{ V}$ IRS2541: $V_B = V_S = 600\text{ V}$
<b>Current Control Operation</b>						
$V_{ENNT+}$	ENN pin positive threshold	2.5	2.7	3.0	V	
$V_{ENNT-}$	ENN pin negative threshold	1.7	2.0	2.3		
$V_{0.5}$	0.5 V voltage reference (die level test)	490	500	510	mV	
$V_{IFBTH}$	IFB pin threshold	455	500	540		
f	Maximum frequency	---	500	---	kHz	
<b>Gate Driver Output Characteristics</b>						
$V_{OL}$	Low level output voltage (HO or LO)	---	COM	---	V	
$V_{HL}$	High level output voltage (HO or LO)	---	$V_{CC}$	---		
$t_r$	Turn-on rise time	---	50	120	ns	
$t_f$	Turn-off fall time	---	30	50		
$I_{O+L}$	Output source/sink short circuit pulsed current	---	0.5/0.7	---	A	
DT	Deadtime	---	140	---	ns	$I_{FB} = 50\text{ kHz}$ square wave, 200 mV pk-pk DC offset = 400 mV Duty Cycle = 50%
$t_{LO,ON}$	Delay between $V_{IFB} > V_{IFBTH}$ and LO turn-on	---	320	---		
$t_{LO,OFF}$	Delay between $V_{IFB} < V_{IFBTH}$ and LO turn-off	---	180	---		
$t_{HO,ON}$	Delay between $V_{IFB} < V_{IFBTH}$ and HO turn-on	---	320	---		
$t_{HO,OFF}$	Delay between $V_{IFB} > V_{IFBTH}$ and HO turn-off	---	180	---		

**Electrical Characteristics**

$V_{CC} = V_{BS} = V_{BIAS} = 14\text{ V} \pm 0.25\text{ V}$ ,  $C_{LO} = C_{HO} = 1000\text{ pF}$ ,  $C_{VCC} = C_{VBS} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ ,  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

Symbol	Definition	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
<b>Watchdog timer</b>						
$t_{WD}$	Watchdog timer period	---	20	---	$\mu\text{s}$	$I_{FB} = 1\text{ V}$
$P_{WWD}$	LO pulse width	---	1.0	---		

**Functional Block Diagram**

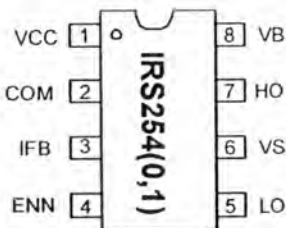


Values in block diagram are typical values

**Lead Assignment**

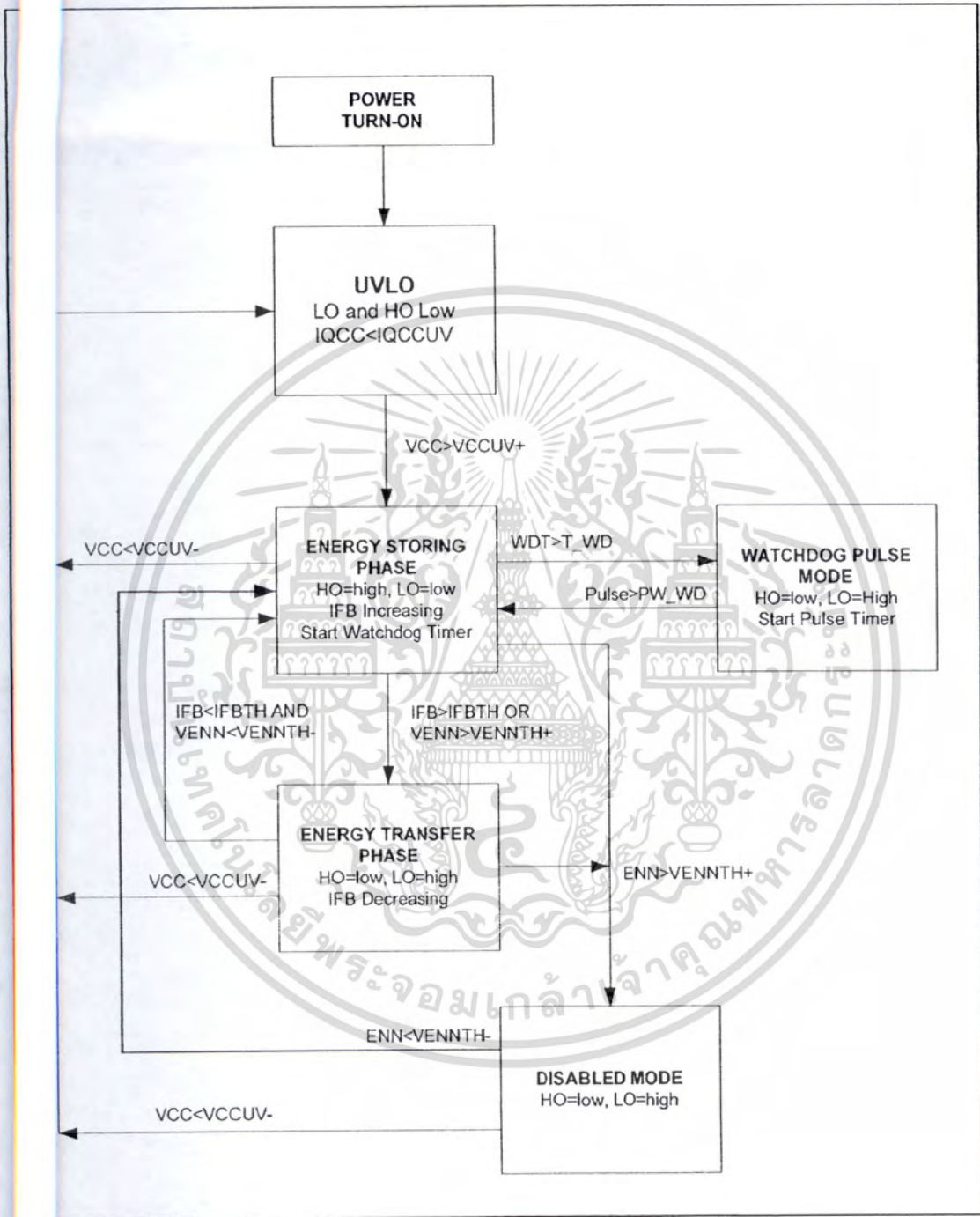
Pin #	Symbol	Description
1	VCC	Supply voltage
2	COM	IC power & signal ground
3	IFB	Current feedback
4	ENN	Disable outputs (LO=High, HO=Low)
5	LO	Low-side gate driver output
6	VS	High-side floating return
7	HO	High-side gate driver output
8	VB	High-side gate driver floating supply

Pin Assignments



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATE DIAGRAM



# IRS254(0,1)(S)PbF

## Function Description

is large enough to maintain a low ripple on  $I_{FB}$ ,  $I_{out,avg}$  can be calculated:

### Operating Mode

The IRS254(0,1) operates as a time-delayed hysteretic buck controller. During normal operating conditions the output current is regulated via the I<sub>FB</sub> pin voltage (nominal value of 500 mV). This feedback signal is compared to an internal high precision voltage reference. An on-board dV/dt filter has been used to ignore erroneous transients.

Once the supply to the IC reaches  $V_{CCUV+}$ , the LO output is held high and the HO output low for a predetermined period of time. This initiates charging of the bootstrap capacitor, establishing the  $V_{BS}$  for the high-side output. The IC then begins switching HO and LO outputs as needed to regulate the current.

$$I_{out(avg)} = \frac{V_{IFBTH}}{RCS}$$

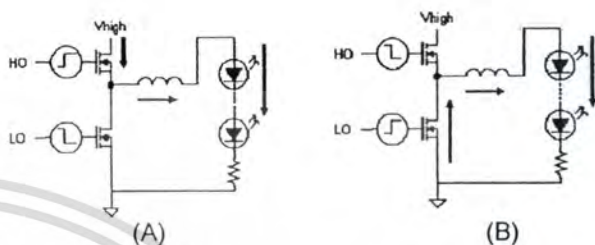
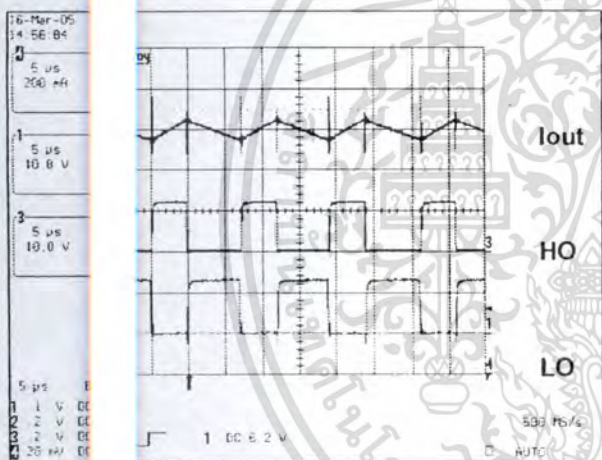


Fig.2 (A) Storing Energy in Inductor  
(B) Releasing Inductor Stored Energy



IRS254(0,1) Control Signals,  $I_{avg}=1.2 A$

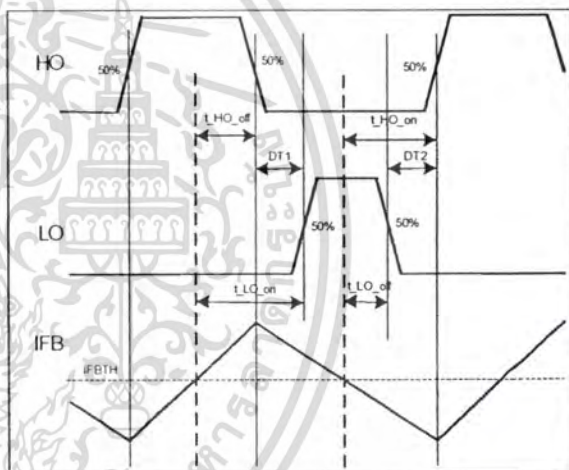


Fig.3 IRS254(0,1) Time Delayed Hysteresis

As long as  $V_{IFB}$  is below  $V_{IFBTH}$ , HO is on, modulated by the hysteresis and a deadtime timer described below, the load is supplied with current from  $V_{BUS}$ , which simultaneously stores energy in the inductor, as  $V_{IFB}$  increases, unless the load is open. Once  $V_{IFB}$  crosses  $V_{IFBTH}$ , the control loop switches HO off after the delay  $t_{HO,OFF}$ . Once HO is off, LO will turn on after the deadtime  $DT$ , the inductor releases the stored energy to the load and  $V_{IFB}$  starts decreasing. When  $V_{IFB}$  crosses  $V_{IFBTH}$  again, the control loop switches LO on after the delay  $t_{LO,ON}$  and LO off after the delay  $t_{LO,ON} + DT$ . The switching continues to regulate the current at an average value determined as follows. When the inductance value

The control method is based upon a free running frequency, in contrast to a more widely used fixed frequency regulation. This reduces the part count since there is no need for frequency setting components and also provides an inherently stable system, which acts as a current source.

A deadtime of approximately 140 ns between the two gate drive signals is necessary to prevent a "shoot-through" condition. At higher frequencies, the switching losses become very large in the absence of this deadtime. The deadtime has been adjusted to maintain precise current regulation, while still preventing shoot-through.

## Watchdog Timer

During an open circuit condition, without the watchdog timer, the HO output would remain high at all times and the charge stored in the bootstrap capacitor would gradually discharge the bootstrap capacitor supply for the high-side driver, which would then be unable to fully switch on the upper MOSFET, causing high losses. To maintain sufficient charge on the bootstrap capacitor, a watchdog timer has been implemented. In the condition where  $V_{IFB}$  remains below  $V_{IFBTH}$ , the HO output will be forced low after 20  $\mu$ s and the LO output will be forced high. This toggling of the outputs will last for approximately 1  $\mu$ s to maintain and replenish sufficient charge on  $C_{BOOT}$ .

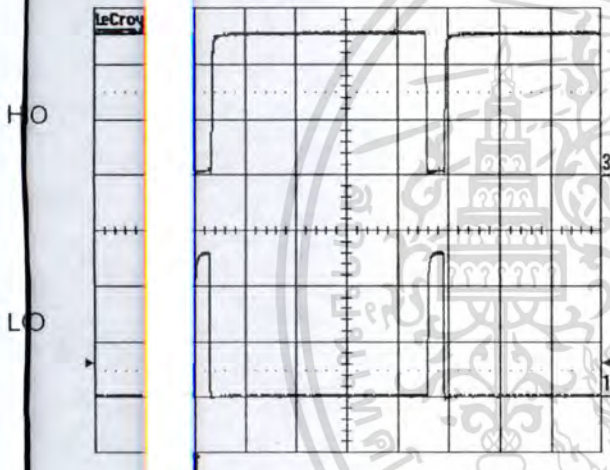


Fig.4 Illustration of Watchdog Timer

## Bootstrap Capacitor and Diode

The bootstrap capacitor value needs to be chosen so that it maintains sufficient charge for at least the approximately 20  $\mu$ s interval until the watchdog timer allows the capacitor to recharge. If the capacitor value is too small, the charge will dissipate in less than 20  $\mu$ s. The typical bootstrap capacitor is approximately 100 nF.

The bootstrap diode should be a fast recovery or ultrafast recovery component to maintain good efficiency. Since the cathode of the bootstrap diode will be switching between zero and to the high voltage, the reverse recovery time of this diode is of critical importance. For additional information concerning the bootstrap components, refer to the

Design Tip (DT 98-2), "Bootstrap Component Selection For Control ICs" at [www.irf.com](http://www.irf.com) under Design Support

## Disable (ENN) Pin

The disable pin can be used for dimming and open-circuit protection. When the ENN pin is held low, the chip remains in a fully functional state with no alterations to the operating environment. To disable the control feedback and regulation, a voltage greater than  $V_{ENTH}$  (approximately 2.5 V) needs to be applied to the ENN pin. With the chip in a disabled state, HO output will remain low, whereas the LO output will remain high to prevent  $V_S$  from floating, in addition to maintaining charge on the bootstrap capacitor. The threshold for disabling the IRS254(0,1) has been set to 2.5 V to enhance immunity to any externally generated noise, or application ground noise. This 2.5 V threshold also makes it ideal to receive a drive signal from a local microcontroller.

## Dimming Mode

To achieve dimming, a signal with constant frequency and set duty cycle can be fed into the ENN pin. There is a direct linear relationship between the average load current and duty cycle. If the ratio is 50%, 50% of the maximum set light output will be realized. Likewise if the ratio is 30%, 70% of the maximum set light output will be realized. A sufficiently high frequency of the dimming signal must be chosen to avoid flashing or "strobe light" effect. A signal on the order of a few kHz should be sufficient.

The minimum amount of dimming achievable (light output approaches 0%) will be determined by the "on" time of the HO output, when in a fully functional regulating state. To maintain reliable dimming, it is recommended to keep the "off" time of the enable signal at least 10 times that of the HO "on" time. For example, if the application is running at 75 kHz with an input voltage of 100 V and an output voltage of 20 V, the HO "on" time will be 3.3  $\mu$ s (one-fourth of the period - see calculations below) according to standard buck topology theory. This will set the minimum "off" time of the enable signal to 33  $\mu$ s.

$$Duty\ Cycle = \frac{V_{out}}{V_{in}} * 100 = \frac{20V}{100V} * 100 = 20\%$$

$$HO_{on\ time} = 20\% * \frac{1}{75kHz} = 3.3\mu s$$

Enable Duty Cycle Relationship to Light Output

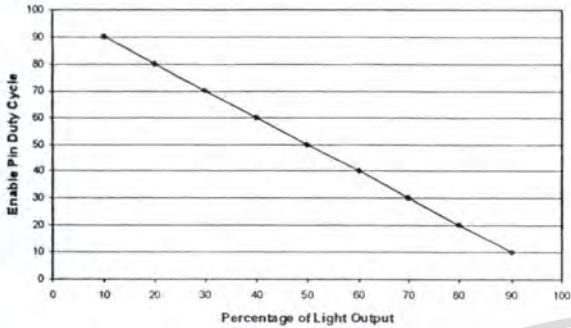


Fig.5 Light Output vs Enable Pin Duty Cycle

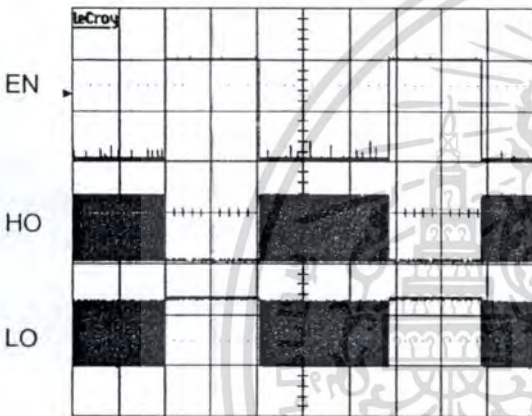


Fig.6 IRS254(0,1) Dimming Signals

**Open Circuit Protection Mode**

By using the suggested voltage divider, capacitor, and zener diode, the output voltage can be clamped at any desired value. In open-circuit condition without output clamp, the positive output terminal will float at the high-side input voltage. Switching will still occur between the HO and LO outputs, whether due to the output voltage clamp or the watchdog timer. Transients and switching will be observed at the positive output terminal as seen in Fig. 8. The difference in signal shape, between the output voltage and the  $I_{FB}$ , is due to the capacitor used to

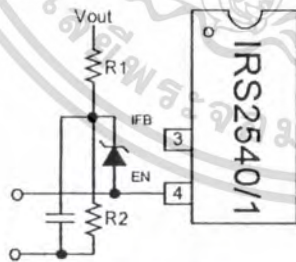


Fig.7 Open Circuit Protection Scheme

form the voltage clamp. The repetition of the spikes can be reduced by simply increasing the capacitor size.

The two resistors form a voltage divider for the output, which is then fed into the cathode of the zener diode. The diode will only conduct, flooding the enable pin, when its nominal voltage is exceeded. The chip will enter a disabled state once the divider network produces a voltage at least 2.5 V greater than the zener rating. The capacitor serves only to filter and slow the transients/switching at the positive output terminal. The clamped output voltage can be determined by the following analysis. The choice of capacitor is at the designer's discretion.

$$V_{out} = \frac{(2.5V + DZ)(R_1 + R_2)}{R_2}$$

$DZ =$  Zener Diode Nominal Rated Voltage

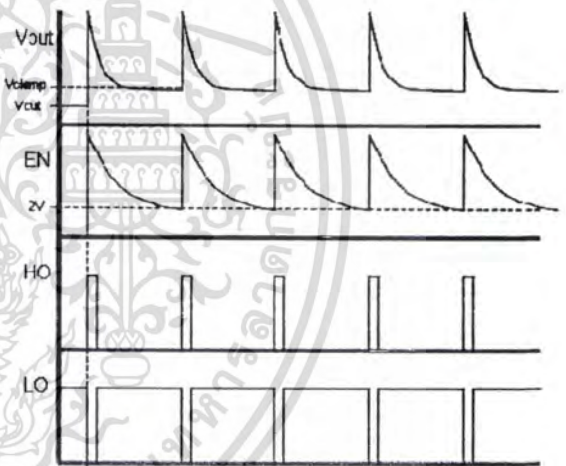


Fig.8 Open Circuit Fault Signals, with Clamp

**Under-voltage Lock-out Mode**

The under-voltage lock-out mode (UVLO) is defined as the state IRS254(0,1) is in when  $V_{CC}$  is below the turn-on threshold of the IC. During startup conditions, if the IC supply remains below  $V_{CCUV+}$ , the IRS254(0,1) will enter the UVLO mode. This state is very similar to when the IC has been disabled via control signals, except that LO is also held low. When the supply is increased to  $V_{CCUV+}$ , the IC enters the normal operation mode. If already in normal

operation, the IC does not enter UVLO unless the supply voltage falls below  $V_{CCUV--}$ .  
**Inductance Selection**

To maintain tight hysteretic current regulation the inductor and output capacitor  $C_{OUT}$  (in parallel with the LEDs) need to be large enough to maintain the supply to the load during  $t_{HO,ON}$  and avoid significant undershooting of the load current, which in turn causes the average current to fall below the desired value.

First, we are going to look at the effect of the inductor when there is no output capacitor to clearly demonstrate the impact of the inductor. In this case, the load current is identical to the inductor current. Fig. 9 shows how the inductor value impacts the frequency over a range of input voltages. As can be seen, the input voltage has a great impact on the frequency and the inductor value has the greatest impact at reducing the frequency for smaller input voltages.

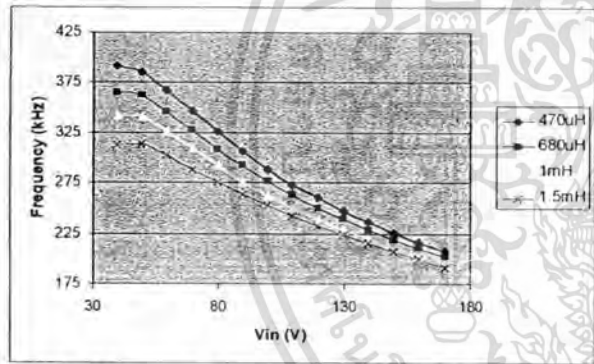


Fig.9 Frequency Response for Chosen Inductances  
 $I_{out} = 350 \text{ mA}$ ,  $V_{out} = 16.8 \text{ V}$

add capacitance no longer has a significant effect on the operating frequency or current regulation, as can be seen in Figs. 13 and 14.

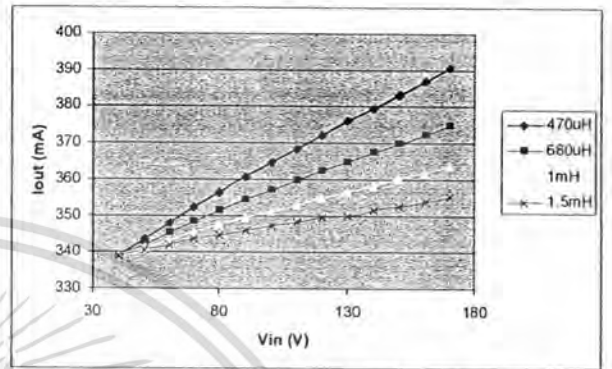


Fig.10 Current Regulation for Chosen Inductances  
 $I_{out} = 350 \text{ mA}$ ,  $V_{out} = 16.8 \text{ V}$

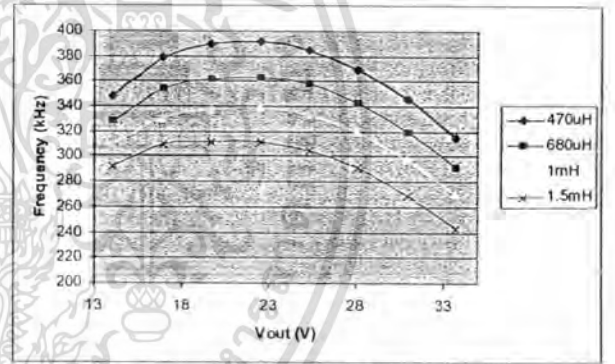


Fig.11 Frequency Response for Chosen Inductances  
 $I_{out} = 350 \text{ mA}$ ,  $V_{in} = 50 \text{ V}$

Fig. 10 shows how the variation in load current increases over a span of input voltages, as the inductance is decreased. Fig. 11 shows the variation of frequency over different output voltages and different inductance values. Finally Fig. 12 shows how the load current variation increases with lower inductance over a range of output voltages.

The output capacitor can be used simultaneously to achieve the target frequency and current control accuracy. Fig. 11 shows how the capacitance reduces the frequency over a range of input voltage. A small capacitance of  $4.7 \mu\text{F}$  has a large effect on reducing the frequency. Fig. 12 shows how the current regulation is also improved with the output capacitance. There is a point at which continuing to

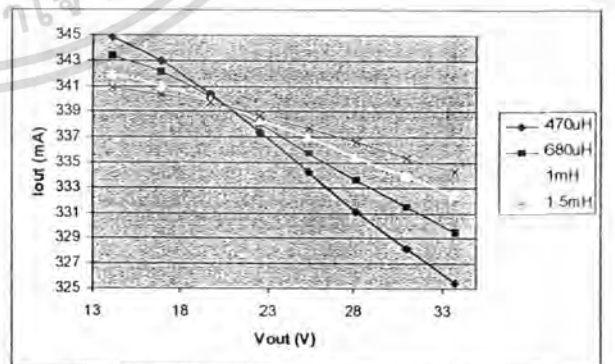


Fig.12 Current Regulation for Chosen Inductances  
 $I_{out} = 350 \text{ mA}$ ,  $V_{in} = 50 \text{ V}$

# IRS254(0,1)(S)PbF

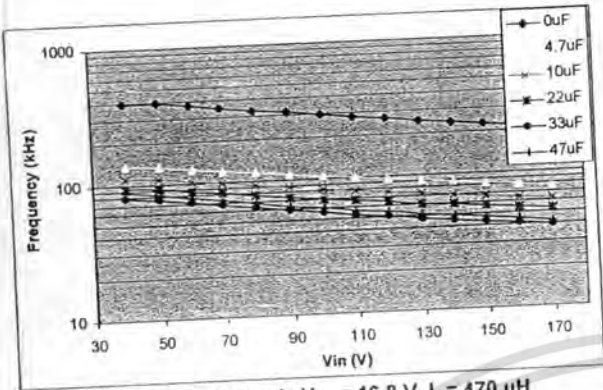


Fig. 13  $I_{out} = 350 \text{ mA}$ ,  $V_{out} = 16.8 \text{ V}$ ,  $L = 470 \mu\text{H}$

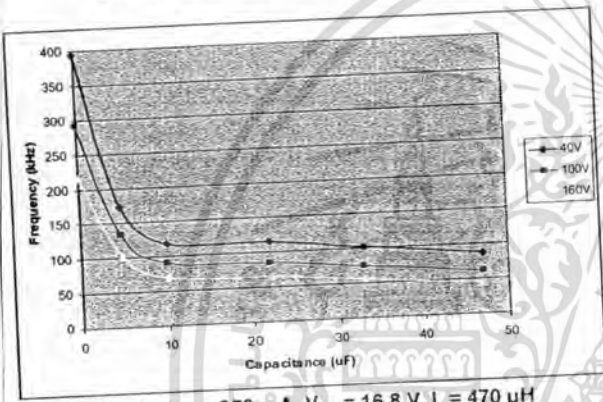


Fig. 14  $I_{out} = 350 \text{ mA}$ ,  $V_{out} = 16.8 \text{ V}$ ,  $L = 470 \mu\text{H}$

The addition of the  $C_{out}$  increases the amount of energy that can be stored in the output stage, which also means it can supply current for an increased period of time. Therefore by slowing down the di/dt transients in the load, the frequency is effectively decreased.

With the  $C_{out}$  capacitor, the inductor current is no longer identical to that seen in the load. The inductor current will still have a perfectly triangular shape, whereas the load will see the same basic trend in the current, but all sharp corners will be rounded with all peaks significantly reduced, as can be seen in Fig. 15

### VCC Supply

Since the IRS245(0,1) is rated for 200 V (or 600 V),  $V_{BUS}$  can reach values of this magnitude. If only a supply resistor to  $V_{BUS}$  is used, it will experience extremely high power losses. For higher voltage applications an alternate  $V_{CC}$  supply scheme utilizing the micro-power start-up and a resistor feed-back

from the output needs to be implemented, as seen in Fig. 16.

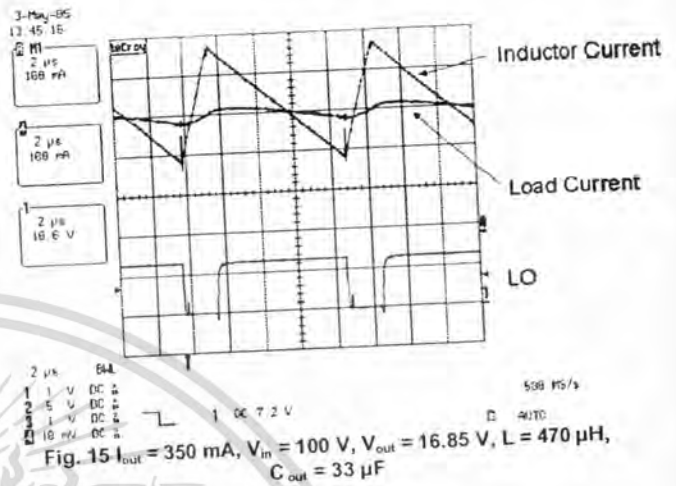


Fig. 15  $I_{out} = 350 \text{ mA}$ ,  $V_{in} = 100 \text{ V}$ ,  $V_{out} = 16.85 \text{ V}$ ,  $L = 470 \mu\text{H}$ ,  $C_{out} = 33 \mu\text{F}$

The resistance between  $V_{BUS}$  and  $V_{CC}$  supply should be large enough to minimize the current sourced directly from the input voltage line; value should be on the order of hundreds of kΩ. Through the supply resistor, a current will flow to charge the  $V_{CC}$  capacitor. Once the capacitor is charged up to the  $V_{CC}$  threshold, the IRS254(0,1) enters the micro start-up regime and begins to operate, activating the LO and HO outputs. After the first few cycles of switching, the resistor connected between the output and  $V_{CC}$  will take over and source all necessary current for the IC. The resistor connecting the output to the supply should be carefully designed according to its power rating.

$$R_{S2} = \frac{V_{out} - 15.6V}{10mA}$$

$$P_{RS2} = (10mA)^2 R_{S2} \leq \frac{P_{RS2\_Rated}}{2}$$

$$I_{cc} \approx 10mA$$

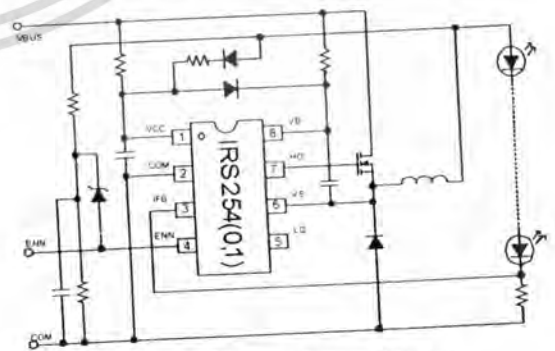
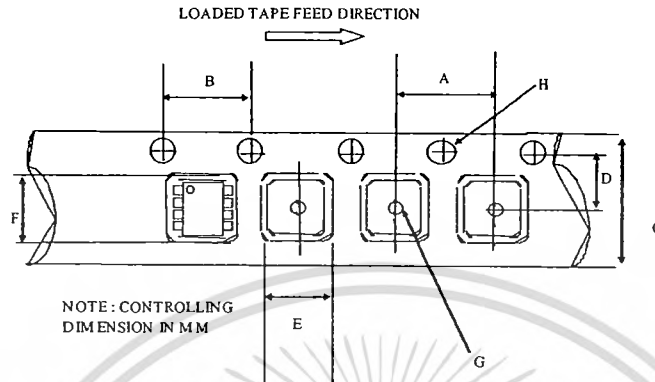


Fig. 16 Alternate Supply Diagram

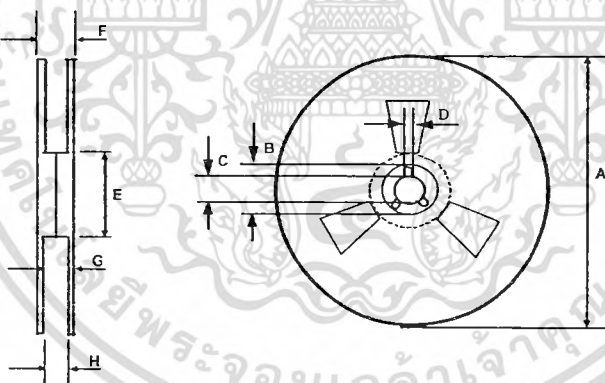


8-Lead SOIC  
Tape & Reel



CARRIER TAPE DIMENSION FOR 8SOICN

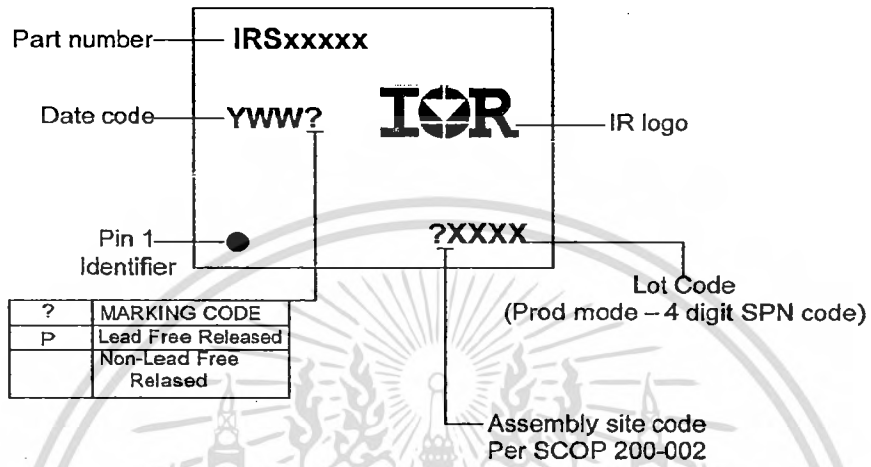
Code	Metric		Imperial	
	Min	Max	Min	Max
A	7.90	8.10	0.311	0.318
B	3.90	4.10	0.153	0.161
C	11.70	12.30	0.46	0.484
D	5.45	5.55	0.214	0.218
E	6.30	6.50	0.248	0.255
F	5.10	5.30	0.200	0.208
G	1.50	n/a	0.059	n/a
H	1.50	1.60	0.059	0.062



REEL DIMENSIONS FOR 8SOICN

Code	Metric		Imperial	
	Min	Max	Min	Max
A	329.60	330.25	12.976	13.001
B	20.95	21.45	0.824	0.844
C	12.80	13.20	0.503	0.519
D	1.95	2.45	0.767	0.096
E	98.00	102.00	3.858	4.015
F	n/a	18.40	n/a	0.724
G	14.50	17.10	0.570	0.673
H	12.40	14.40	0.488	0.566

**LEAD-FREE PART MARKING INFORMATION**



**ORDER INFORMATION**

- 8-Lead PDIP IRS2540PbF
- 8-Lead PDIP IRS2541PbF
- 8-Lead SOIC IRS2540SPbF
- 8-Lead SOIC IRS2541SPbF
- 8-Lead SOIC Tape & Reel IRS2540STRPbF
- 8-Lead SOIC Tape & Reel IRS2541STRPbF

## LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

### General Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed  $\pm 4\%$  tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and  $\pm 10\%$  on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50  $\mu\text{A}$  (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

### Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version)  $\pm 4\%$  max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

### Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

### Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)

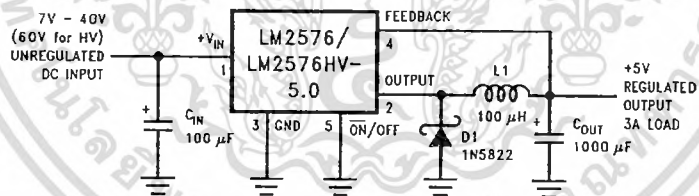
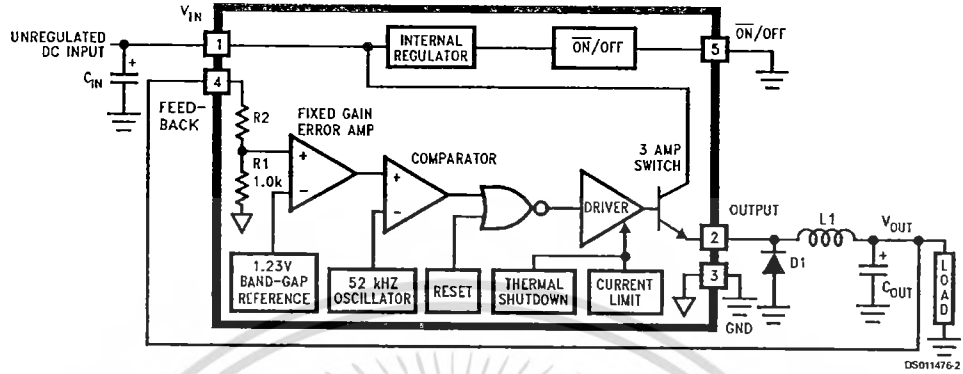


FIGURE 1.

DS011476-1

SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

## Block Diagram



3.3V, R2 = 1.7k  
 5V, R2 = 3.1k  
 12V, R2 = 8.84k  
 15V, R2 = 11.3k  
 For ADJ. Version  
 R1 = Open, R2 = 0Ω  
 Patent Pending

## Ordering Information

Temperature Range	Output Voltage					NS Package Number	Package Type	
	3.3	5.0	12	15	ADJ			
-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 125°C	LM2576HVS-3.3	LM2576HVS-5.0	LM2576HVS-12	LM2576HVS-15	LM2576HVS-ADJ	TS5B	TO-263	
	LM2576S-3.3	LM2576S-5.0	LM2576S-12	LM2576S-15	LM2576S-ADJ			
	LM2576HVSX-3.3	LM2576HVSX-5.0	LM2576HVSX-12	LM2576HVSX-15	LM2576HVSX-ADJ	TS5B Tape & Reel		
	LM2576SX-3.3	LM2576SX-5.0	LM2576SX-12	LM2576SX-15	LM2576SX-ADJ			
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05A		TO-220
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ			
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05D		
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ			
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Maximum Supply Voltage	
LM2576	45V
LM2576HV	63V
ON/OFF Pin Input Voltage	$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally Limited
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature	150°C

Minimum ESD Rating.

(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)

2 kV

Lead Temperature

(Soldering, 10 Seconds)

260°C

### Operating Ratings

Temperature Range	LM2576/LM2576HV	$-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$
Supply Voltage	LM2576	40V
	LM2576HV	60V

### LM2576-3.3, LM2576HV-3.3 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-3.3 LM2576HV-3.3		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 0.5A$ Circuit of Figure 2	3.3	3.234 3.366	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576	$6V \leq V_{IN} \leq 40V, 0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 2	3.3	3.168/3.135 3.432/3.465	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576HV	$6V \leq V_{IN} \leq 60V, 0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 2	3.3	3.168/3.135 3.450/3.482	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 3A$	75		%

### LM2576-5.0, LM2576HV-5.0 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with Figure 2 boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 0.5A$ Circuit of Figure 2	5.0	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A,$ $8V \leq V_{IN} \leq 40V$ Circuit of Figure 2	5.0	4.800/4.750 5.200/5.250	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576HV	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A,$ $8V \leq V_{IN} \leq 60V$ Circuit of Figure 2	5.0	4.800/4.750 5.225/5.275	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 3A$	77		%

### LM2576-12, LM2576HV-12 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-12 LM2576HV-12		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	12	11.76 12.24	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 2	12	11.52/11.40 12.48/12.60	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 2	12	11.52/11.40 12.54/12.66	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

### LM2576-15, LM2576HV-15 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-15 LM2576HV-15		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	15	14.70 15.30	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 2	15	14.40/14.25 15.60/15.75	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 2	15	14.40/14.25 15.68/15.83	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 18\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

### LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{OUT}$	Feedback Voltage	$V_{IN} = 12\text{V}$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$ , Circuit of Figure 2	1.230	1.217 1.243	V V(Min) V(Max)

## LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ

### Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> (Note 3) Test Circuit Figure 2					
$V_{OUT}$	Feedback Voltage LM2576	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ , $8V \leq V_{IN} \leq 40V$ $V_{OUT} = 5V$ , Circuit of Figure 2	1.230	1.193/1.180 1.267/1.280	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Feedback Voltage LM2576HV	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ , $8V \leq V_{IN} \leq 60V$ $V_{OUT} = 5V$ , Circuit of Figure 2	1.230	1.193/1.180 1.273/1.286	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12V$ , $I_{LOAD} = 3A$ , $V_{OUT} = 5V$	77		%

### All Output Voltage Versions Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 12V$  for the 3.3V, 5V, and Adjustable version,  $V_{IN} = 25V$  for the 12V version, and  $V_{IN} = 30V$  for the 15V version.  $I_{LOAD} = 500\text{mA}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>DEVICE PARAMETERS</b>					
$I_b$	Feedback Bias Current	$V_{OUT} = 5V$ (Adjustable Version Only)	50	100/500	nA
$f_o$	Oscillator Frequency	(Note 11)	52	47/42 58/63	kHz kHz (Min) kHz (Max)
$V_{SAT}$	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3A$ (Note 4)	1.4	1.8/2.0	V V(Max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	(Note 5)	98	93	% %(Min)
$I_{CL}$	Current Limit	(Notes 4, 11)	5.8	4.2/3.5 6.9/7.5	A A(Min) A(Max)
$I_L$	Output Leakage Current	(Notes 6, 7): Output = 0V Output = -1V Output = -1V	7.5	2 30	mA(Max) mA mA(Max)
$I_Q$	Quiescent Current	(Note 6)	5	10	mA mA(Max)
$I_{STBY}$	Standby Quiescent Current	ON/OFF Pin = 5V (OFF)	50	200	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A(Max)}$
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance	T Package, Junction to Ambient (Note 8)	65		°C/W
$\theta_{JA}$		T Package, Junction to Ambient (Note 9)	45		
$\theta_{JC}$		T Package, Junction to Case	2		
$\theta_{JA}$		S Package, Junction to Ambient (Note 10)	50		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## All Output Voltage Versions Electrical Characteristics (Continued)

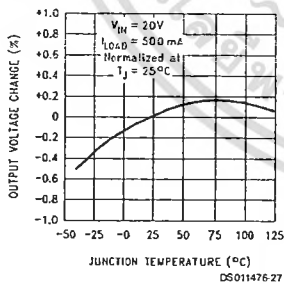
Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 12\text{V}$  for the 3.3V, 5V, and Adjustable version,  $V_{IN} = 25\text{V}$  for the 12V version, and  $V_{IN} = 30\text{V}$  for the 15V version.  $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>ON /OFF CONTROL Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{IH}$	ON /OFF Pin	$V_{OUT} = 0\text{V}$	1.4	2.2/2.4	V(Min)
$V_{IL}$	Logic Input Level	$V_{OUT} = \text{Nominal Output Voltage}$	1.2	1.0/0.8	V(Max)
$I_{IH}$	ON /OFF Pin Input Current	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	12	30	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}(\text{Max})$
$I_{IL}$		ON /OFF Pin = 0V (ON)	0	10	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}(\text{Max})$

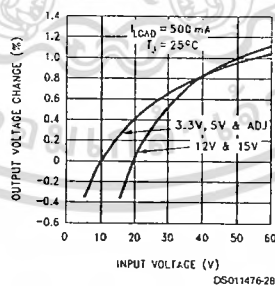
- Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.
- Note 2:** All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- Note 3:** External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in the Figure 2 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.
- Note 4:** Output pin sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output.
- Note 5:** Feedback pin removed from output and connected to 0V.
- Note 6:** Feedback pin removed from output and connected to +12V for the Adjustable, 3.3V, and 5V versions, and +25V for the 12V and 15V versions, to force the output transistor OFF.
- Note 7:**  $V_{IN} = 40\text{V}$  (50V for high voltage version).
- Note 8:** Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with  $\frac{1}{4}$  inch leads in a socket, or on a PC board with minimum copper area.
- Note 9:** Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with  $\frac{1}{4}$  inch leads soldered to a PC board containing approximately 4 square inches of copper area surrounding the leads.
- Note 10:** If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $50^\circ\text{C/W}$ , with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $37^\circ\text{C/W}$ , and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $32^\circ\text{C/W}$ .
- Note 11:** The oscillator frequency reduces to approximately 11 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average power dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.

## Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2)

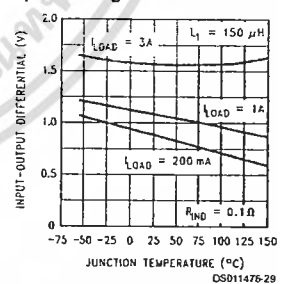
Normalized Output Voltage



Line Regulation

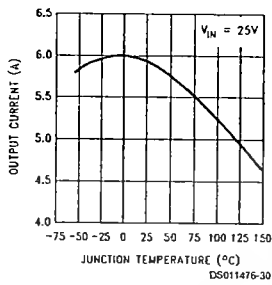


Dropout Voltage

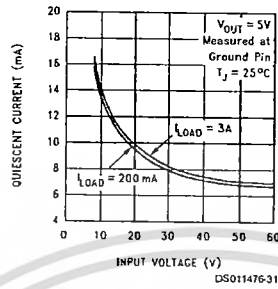


## Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2) (Continued)

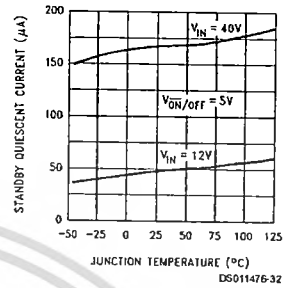
**Current Limit**



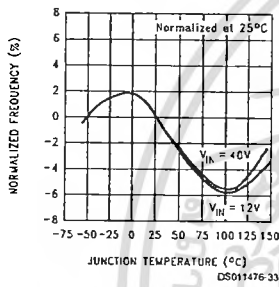
**Quiescent Current**



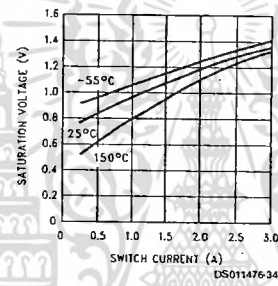
**Standby Quiescent Current**



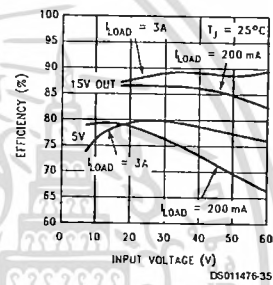
**Oscillator Frequency**



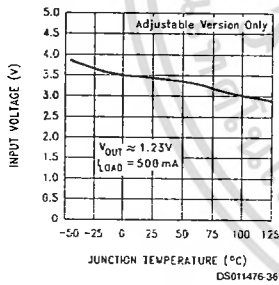
**Switch Saturation Voltage**



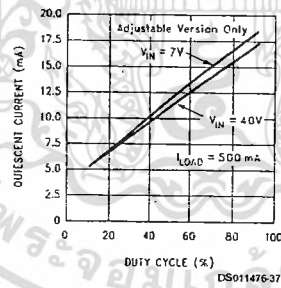
**Efficiency**



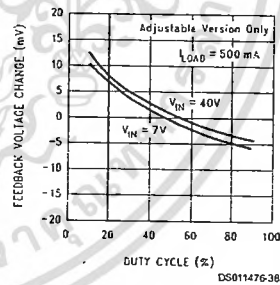
**Minimum Operating Voltage**



**Quiescent Current vs Duty Cycle**



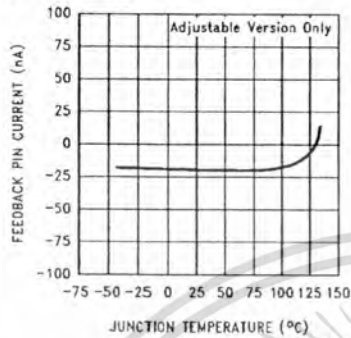
**Feedback Voltage vs Duty Cycle**



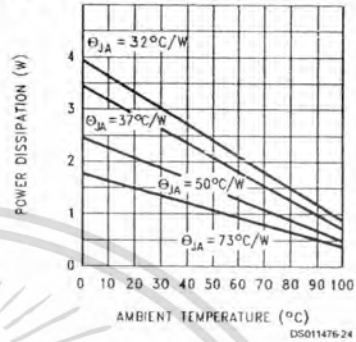
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2) (Continued)

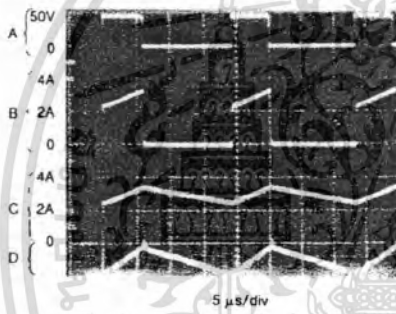
Feedback Pin Current



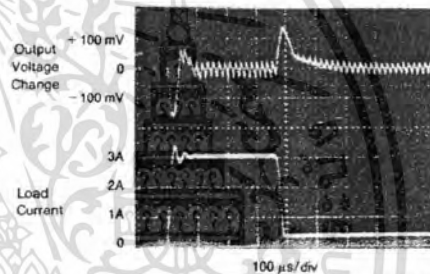
Maximum Power Dissipation (TO-263) (See Note 10)



Switching Waveforms



Load Transient Response



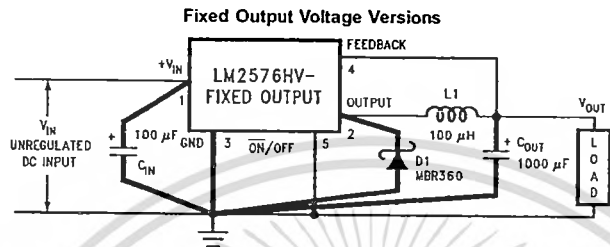
$V_{OUT} = 15\text{V}$   
 A. Output Pin Voltage, 50V/div  
 B. Output Pin Current, 2A/div  
 C. Inductor Current, 2A/div  
 D. Output Ripple Voltage, 50 mV/div,  
 AC-Coupled  
 Horizontal Time Base: 5  $\mu\text{s/div}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Test Circuit and Layout Guidelines

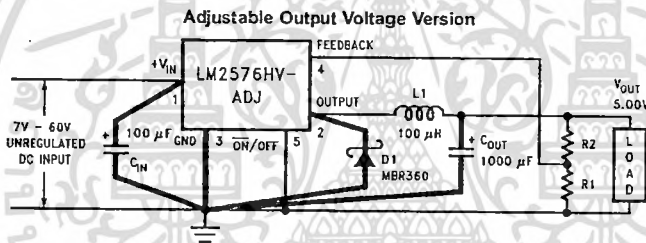
As in any switching regulator, layout is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance generate voltage transients which can cause problems. For minimal inductance and ground loops, the length of the leads indicated by heavy lines should be kept as short as possible.

Single-point grounding (as indicated) or ground plane construction should be used for best results. When using the Adjustable version, physically locate the programming resistors near the regulator, to keep the sensitive feedback wiring short.



DS011476-7

- C<sub>IN</sub> — 100 µF, 75V, Aluminum Electrolytic
- C<sub>OUT</sub> — 1000 µF, 25V, Aluminum Electrolytic
- D<sub>1</sub> — Schottky, MBR360
- L<sub>1</sub> — 100 µH, Pulse Eng. PE-92108
- R<sub>1</sub> — 2k, 0.1%
- R<sub>2</sub> — 6.12k, 0.1%



DS011476-6

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

where  $V_{REF} = 1.23V$ ,  $R_1$  between 1k and 5k.

FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Versions)
<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT}</math> = Regulated Output Voltage            (3.3V, 5V, 12V, or 15V)  <math>V_{IN(Max)}</math> = Maximum Input Voltage  <math>I_{LOAD(Max)}</math> = Maximum Load Current</p> <p><b>1. Inductor Selection (L1)</b>            A. Select the correct Inductor value selection guide from <i>Figures 3, 4, 5</i> or <i>Figure 6</i>. (Output voltages of 3.3V, 5V, 12V or 15V respectively). For other output voltages, see the design procedure for the adjustable version.            B. From the inductor value selection guide, identify the inductance region intersected by <math>V_{IN(Max)}</math> and <math>I_{LOAD(Max)}</math>, and note the inductor code for that region.            C. Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in <i>Figure 3</i>. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2576 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of <math>1.15 \times I_{LOAD}</math>. For additional inductor information, see the inductor section in the Application Hints section of this data sheet.</p> <p><b>2. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b>            A. The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominate pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation and an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) a value between 100 <math>\mu</math>F and 470 <math>\mu</math>F is recommended.            B. The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 5V regulator, a rating of at least 8V is appropriate, and a 10V or 15V rating is recommended.            Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rated for a higher voltage than would normally be needed.</p> <p><b>3. Catch Diode Selection (D1)</b>            A. The catch-diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2576. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition.            B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p> <p><b>4. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b>            An aluminum or tantalum electrolytic bypass capacitor located close to the regulator is needed for stable operation.</p>	<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT}</math> = 5V  <math>V_{IN(Max)}</math> = 15V  <math>I_{LOAD(Max)}</math> = 3A</p> <p><b>1. Inductor Selection (L1)</b>            A. Use the selection guide shown in <i>Figure 4</i>.            B. From the selection guide, the inductance area intersected by the 15V line and 3A line is L100.            C. Inductor value required is 100 <math>\mu</math>H. From the table in <i>Figure 3</i>. Choose AIE 415-0930, Pulse Engineering PE92108, or Renco RL2444.</p> <p><b>2. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b>            A. <math>C_{OUT}</math> = 680 <math>\mu</math>F to 2000 <math>\mu</math>F standard aluminum electrolytic.            B. Capacitor voltage rating = 20V.</p> <p><b>3. Catch Diode Selection (D1)</b>            A. For this example, a 3A current rating is adequate.            B. Use a 20V 1N5823 or SR302 Schottky diode, or any of the suggested fast-recovery diodes shown in <i>Figure 8</i>.</p> <p><b>4. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b>            A 100 <math>\mu</math>F, 25V aluminum electrolytic capacitor located near the input and ground pins provides sufficient bypassing.</p>

# LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

INDUCTOR VALUE SELECTION GUIDES (For Continuous Mode Operation)

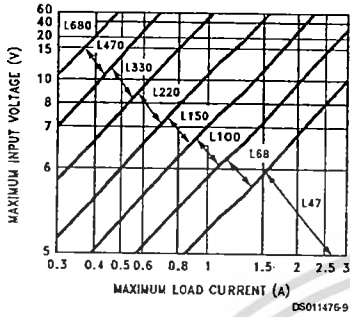


FIGURE 3. LM2576(HV)-3.3

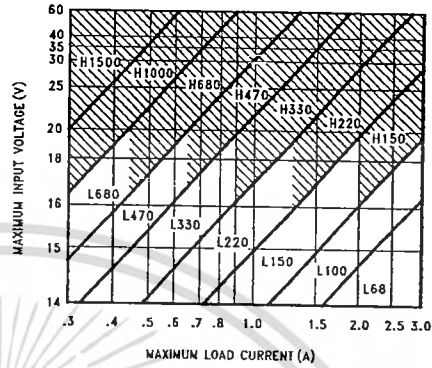


FIGURE 5. LM2576(HV)-12

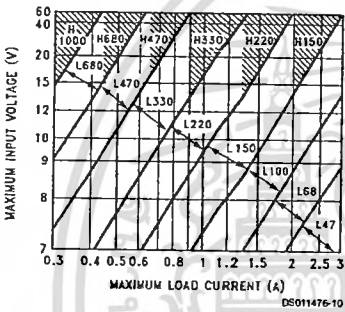


FIGURE 4. LM2576(HV)-5.0

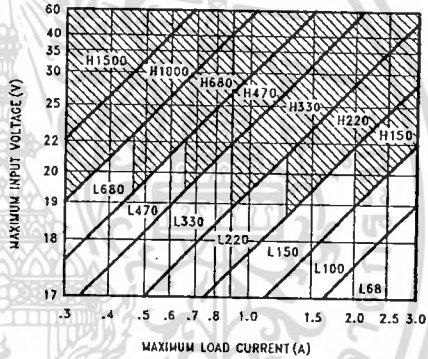


FIGURE 6. LM2576(HV)-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

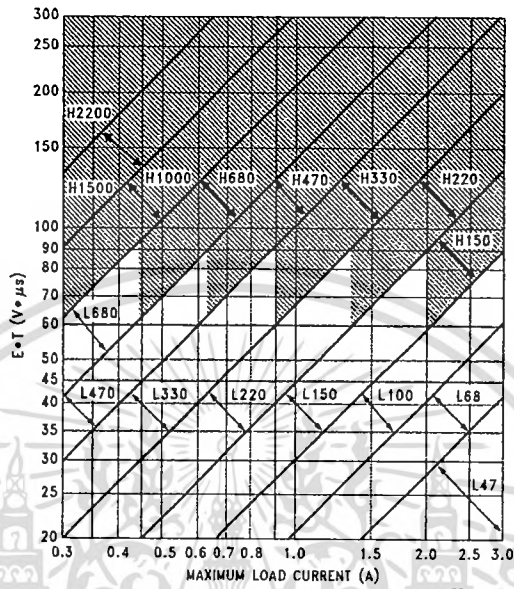


FIGURE 7. LM2576(HV)-ADJ

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT}</math> = Regulated Output Voltage  <math>V_{IN(Max)}</math> = Maximum Input Voltage  <math>I_{LOAD(Max)}</math> = Maximum Load Current  <math>F</math> = Switching Frequency (Fixed at 52 kHz)</p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting <math>R_1</math> and <math>R_2</math>, as shown in Figure 2)                      Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23V$ <p><math>R_1</math> can be between 1k and 5k. (For best temperature coefficient and stability with time, use 1% metal film resistors)</p> $R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$	<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT} = 10V</math>  <math>V_{IN(Max)} = 25V</math>  <math>I_{LOAD(Max)} = 3A</math>  <math>F = 52 \text{ kHz}</math></p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting <math>R_1</math> and <math>R_2</math>)</p> $V_{OUT} = 1.23 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{Select } R_1 = 1k$ $R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left( \frac{10V}{1.23V} - 1 \right)$ $R_2 = 1k (8.13 - 1) = 7.13k, \text{ closest 1\% value is } 7.15k$

## LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p><b>2. Inductor Selection (L1)</b></p> <p>A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant, E • T (V • μs), from the following formula:</p> $E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT}) \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \cdot \frac{1000}{F \text{ (in kHz)}} \text{ (V} \cdot \mu\text{s)}$ <p>B. Use the E • T value from the previous formula and match it with the E • T number on the vertical axis of the <b>Inductor Value Selection Guide</b> shown in <i>Figure 7</i>.</p> <p>C. On the horizontal axis, select the maximum load current.</p> <p>D. Identify the inductance region intersected by the E • T value and the maximum load current value, and note the inductor code for that region.</p> <p>E. Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in <i>Figure 9</i>. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2576 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of 1.15 x I<sub>LOAD</sub>. For additional inductor information, see the inductor section in the application hints section of this data sheet.</p> <p><b>3. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b></p> <p>A. The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominate pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation, the capacitor must satisfy the following requirement:</p> $C_{OUT} \geq 13,300 \frac{V_{IN(\text{Max})}}{V_{OUT} \cdot L(\mu\text{H})} \text{ (}\mu\text{F)}$ <p>The above formula yields capacitor values between 10 μF and 2200 μF that will satisfy the loop requirements for stable operation. But to achieve an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) and transient response, the output capacitor may need to be several times larger than the above formula yields.</p> <p>B. The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 10V regulator, a rating of at least 15V or more is recommended. Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rate for a higher voltage than would normally be needed.</p> <p><b>4. Catch Diode Selection (D1)</b></p> <p>A. The catch-diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2576. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output. See diode selection guide in <i>Figure 8</i>.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p> <p><b>5. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b></p> <p>An aluminum or tantalum electrolytic bypass capacitor located close to the regulator is needed for stable operation.</p>	<p><b>2. Inductor Selection (L1)</b></p> <p>A. Calculate E • T (V • μs)</p> $E \cdot T = (25 - 10) \cdot \frac{10}{25} \cdot \frac{1000}{52} = 115 \text{ V} \cdot \mu\text{s}$ <p>B. E • T = 115 V • μs</p> <p>C. I<sub>LOAD</sub>(Max) = 3A</p> <p>D. Inductance Region = H150</p> <p>E. Inductor Value = 150 μH <i>Choose from AIE part #415-0936 Pulse Engineering part #PE-531115, or Renco part #RL2445.</i></p> <p><b>3. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b></p> $C_{OUT} > 13,300 \frac{25}{10 \cdot 150} = 22.2 \mu\text{F}$ <p>However, for acceptable output ripple voltage select</p> <p>C<sub>OUT</sub> ≥ 680 μF</p> <p>C<sub>OUT</sub> = 680 μF electrolytic capacitor</p> <p><b>4. Catch Diode Selection (D1)</b></p> <p>A. For this example, a 3.3A current rating is adequate.</p> <p>B. Use a 30V 31DQ03 Schottky diode, or any of the suggested fast-recovery diodes in <i>Figure 8</i>.</p> <p><b>5. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b></p> <p>A 100 μF aluminum electrolytic capacitor located near the input and ground pins provides sufficient bypassing.</p>

## LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

To further simplify the buck regulator design procedure, National Semiconductor is making available computer design software to be used with the SIMPLE SWITCHER line of switching regulators. *Switchers Made Simple (Version 3.3)* is available on a (3 1/2") diskette for IBM compatible computers from a National Semiconductor sales office in your area.

V <sub>R</sub>	Schottky		Fast Recovery	
	3A	4A-6A	3A	4A-6A
20V	1N5820 MBR320P SR302	1N5823	The following diodes are all rated to 100V  31DF1 HER302	The following diodes are all rated to 100V  50WF10 MUR410 HER602
30V	1N5821 MBR330 31DQ03 SR303	50WQ03 1N5824		
40V	1N5822 MBR340 31DQ04 SR304	MBR340 50WQ04 1N5825		
50V	MBR350 31DQ05 SR305	50WQ05		
60V	MBR360 DQ06 SR306	50WR06 50SQ060		

FIGURE 8. Diode Selection Guide

Inductor Code	Inductor Value	Schott (Note 12)	Pulse Eng. (Note 13)	Renco (Note 14)
L47	47 $\mu$ H	671 26980	PE-53112	RL2442
L68	68 $\mu$ H	671 26990	PE-92114	RL2443
L100	100 $\mu$ H	671 27000	PE-92108	RL2444
L150	150 $\mu$ H	671 27010	PE-53113	RL1954
L220	220 $\mu$ H	671 27020	PE-52626	RL1953
L330	330 $\mu$ H	671 27030	PE-52627	RL1952
L470	470 $\mu$ H	671 27040	PE-53114	RL1951
L680	680 $\mu$ H	671 27050	PE-52629	RL1950
H150	150 $\mu$ H	671 27060	PE-53115	RL2445
H220	220 $\mu$ H	671 27070	PE-53116	RL2446
H330	330 $\mu$ H	671 27080	PE-53117	RL2447
H470	470 $\mu$ H	671 27090	PE-53118	RL1961
H680	680 $\mu$ H	671 27100	PE-53119	RL1960
H1000	1000 $\mu$ H	671 27110	PE-53120	RL1959
H1500	1500 $\mu$ H	671 27120	PE-53121	RL1958
H2200	2200 $\mu$ H	671 27130	PE-53122	RL2448

Note 12: Schott Corporation, (612) 475-1173, 1000 Parkers Lake Road, Wayzata, MN 55391.

Note 13: Pulse Engineering, (619) 674-8100, P.O. Box 12235, San Diego, CA 92112.

Note 14: Renco Electronics Incorporated, (516) 586-5566, 60 Jeffry Blvd. East, Deer Park, NY 11729.

FIGURE 9. Inductor Selection by Manufacturer's Part Number

## Application Hints

### INPUT CAPACITOR ( $C_{IN}$ )

To maintain stability, the regulator input pin must be bypassed with at least a 100  $\mu\text{F}$  electrolytic capacitor. The capacitor's leads must be kept short, and located near the regulator.

If the operating temperature range includes temperatures below  $-25^{\circ}\text{C}$ , the input capacitor value may need to be larger. With most electrolytic capacitors, the capacitance value decreases and the ESR increases with lower temperatures and age. Paralleling a ceramic or solid tantalum capacitor will increase the regulator stability at cold temperatures. For maximum capacitor operating lifetime, the capacitor's RMS ripple current rating should be greater than

$$1.2 \times \left( \frac{I_{ON}}{T} \right) \times I_{LOAD}$$

where  $\frac{I_{ON}}{T} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$  for a buck regulator

and  $\frac{I_{ON}}{T} = \frac{|V_{OUT}|}{|V_{OUT}| + V_{IN}}$  for a buck-boost regulator.

### INDUCTOR SELECTION

All switching regulators have two basic modes of operation: continuous and discontinuous. The difference between the two types relates to the inductor current, whether it is flowing continuously, or if it drops to zero for a period of time in the normal switching cycle. Each mode has distinctively different operating characteristics, which can affect the regulator performance and requirements.

The LM2576 (or any of the SIMPLE SWITCHER family) can be used for both continuous and discontinuous modes of operation.

The inductor value selection guides in Figure 3 through Figure 7 were designed for buck regulator designs of the continuous inductor current type. When using inductor values shown in the inductor selection guide, the peak-to-peak inductor ripple current will be approximately 20% to 30% of the maximum DC current. With relatively heavy load currents, the circuit operates in the continuous mode (inductor current always flowing), but under light load conditions, the circuit will be forced to the discontinuous mode (inductor current falls to zero for a period of time). This discontinuous mode of operation is perfectly acceptable. For light loads (less than approximately 300 mA) it may be desirable to operate the regulator in the discontinuous mode, primarily because of the lower inductor values required for the discontinuous mode.

The selection guide chooses inductor values suitable for continuous mode operation, but if the inductor value chosen is prohibitively high, the designer should investigate the possibility of discontinuous operation. The computer design software *Switchers Made Simple* will provide all component values for discontinuous (as well as continuous) mode of operation.

Inductors are available in different styles such as pot core, toroid, E-frame, bobbin core, etc., as well as different core materials, such as ferrites and powdered iron. The least expensive, the bobbin core type, consists of wire wrapped on a ferrite rod core. This type of construction makes for an inexpensive inductor, but since the magnetic flux is not completely contained within the core, it generates more electro-

magnetic interference (EMI). This EMI can cause problems in sensitive circuits, or can give incorrect scope readings because of induced voltages in the scope probe.

The inductors listed in the selection chart include ferrite pot core construction for AIE, powdered iron toroid for Pulse Engineering, and ferrite bobbin core for Renco.

An inductor should not be operated beyond its maximum rated current because it may saturate. When an inductor begins to saturate, the inductance decreases rapidly and the inductor begins to look mainly resistive (the DC resistance of the winding). This will cause the switch current to rise very rapidly. Different inductor types have different saturation characteristics, and this should be kept in mind when selecting an inductor.

The inductor manufacturer's data sheets include current and energy limits to avoid inductor saturation.

### INDUCTOR RIPPLE CURRENT

When the switcher is operating in the continuous mode, the inductor current waveform ranges from a triangular to a sawtooth type of waveform (depending on the input voltage). For a given input voltage and output voltage, the peak-to-peak amplitude of this inductor current waveform remains constant. As the load current rises or falls, the entire sawtooth current waveform also rises or falls. The average DC value of this waveform is equal to the DC load current (in the buck regulator configuration).

If the load current drops to a low enough level, the bottom of the sawtooth current waveform will reach zero, and the switcher will change to a discontinuous mode of operation. This is a perfectly acceptable mode of operation. Any buck switching regulator (no matter how large the inductor value is) will be forced to run discontinuous if the load current is light enough.

### OUTPUT CAPACITOR

An output capacitor is required to filter the output voltage and is needed for loop stability. The capacitor should be located near the LM2576 using short pc board traces. Standard aluminum electrolytics are usually adequate, but low ESR types are recommended for low output ripple voltage and good stability. The ESR of a capacitor depends on many factors, some which are: the value, the voltage rating, physical size and the type of construction. In general, low value or low voltage (less than 12V) electrolytic capacitors usually have higher ESR numbers.

The amount of output ripple voltage is primarily a function of the ESR (Equivalent Series Resistance) of the output capacitor and the amplitude of the inductor ripple current ( $\Delta I_{IND}$ ). See the section on inductor ripple current in Application Hints.

The lower capacitor values (220  $\mu\text{F}$ –1000  $\mu\text{F}$ ) will allow typically 50 mV to 150 mV of output ripple voltage, while larger-value capacitors will reduce the ripple to approximately 20 mV to 50 mV.

Output Ripple Voltage = ( $\Delta I_{IND}$ ) (ESR of  $C_{OUT}$ )

To further reduce the output ripple voltage, several standard electrolytic capacitors may be paralleled, or a higher-grade capacitor may be used. Such capacitors are often called "high-frequency," "low-inductance," or "low-ESR." These will reduce the output ripple to 10 mV or 20 mV. However, when operating in the continuous mode, reducing the ESR below 0.03  $\Omega$  can cause instability in the regulator.

## Application Hints (Continued)

Tantalum capacitors can have a very low ESR, and should be carefully evaluated if it is the only output capacitor. Because of their good low temperature characteristics, a tantalum can be used in parallel with aluminum electrolytics, with the tantalum making up 10% or 20% of the total capacitance.

The capacitor's ripple current rating at 52 kHz should be at least 50% higher than the peak-to-peak inductor ripple current.

### CATCH DIODE

Buck regulators require a diode to provide a return path for the inductor current when the switch is off. This diode should be located close to the LM2576 using short leads and short printed circuit traces.

Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best efficiency, especially in low output voltage switching regulators (less than 5V). Fast-Recovery, High-Efficiency, or Ultra-Fast Recovery diodes are also suitable, but some types with an abrupt turn-off characteristic may cause instability and EMI problems. A fast-recovery diode with soft recovery characteristics is a better choice. Standard 60 Hz diodes (e.g., 1N4001 or 1N5400, etc.) are also not suitable. See *Figure 8* for Schottky and "soft" fast-recovery diode selection guide.

### OUTPUT VOLTAGE RIPPLE AND TRANSIENTS

The output voltage of a switching power supply will contain a sawtooth ripple voltage at the switcher frequency, typically about 1% of the output voltage, and may also contain short voltage spikes at the peaks of the sawtooth waveform.

The output ripple voltage is due mainly to the inductor sawtooth ripple current multiplied by the ESR of the output capacitor. (See the inductor selection in the application hints.)

The voltage spikes are present because of the the fast switching action of the output switch, and the parasitic inductance of the output filter capacitor. To minimize these voltage spikes, special low inductance capacitors can be used, and their lead lengths must be kept short. Wiring inductance, stray capacitance, as well as the scope probe used to evaluate these transients, all contribute to the amplitude of these spikes.

An additional small LC filter (20  $\mu$ H & 100  $\mu$ F) can be added to the output (as shown in *Figure 15*) to further reduce the amount of output ripple and transients. A 10 x reduction in output ripple voltage and transients is possible with this filter.

### FEEDBACK CONNECTION

The LM2576 (fixed voltage versions) feedback pin must be wired to the output voltage point of the switching power supply. When using the adjustable version, physically locate both output voltage programming resistors near the LM2576 to avoid picking up unwanted noise. Avoid using resistors greater than 100 k $\Omega$  because of the increased chance of noise pickup.

### $\overline{\text{ON}}$ /OFF INPUT

For normal operation, the  $\overline{\text{ON}}$  /OFF pin should be grounded or driven with a low-level TTL voltage (typically below 1.6V). To put the regulator into standby mode, drive this pin with a high-level TTL or CMOS signal. The  $\overline{\text{ON}}$  /OFF pin can be safely pulled up to  $+V_{\text{IN}}$  without a resistor in series with it. The  $\overline{\text{ON}}$  /OFF pin should not be left open.

### GROUNDING

To maintain output voltage stability, the power ground connections must be low-impedance (see *Figure 2*). For the 5-lead TO-220 and TO-263 style package, both the tab and pin 3 are ground and either connection may be used, as they are both part of the same copper lead frame.

### HEAT SINK/THERMAL CONSIDERATIONS

In many cases, only a small heat sink is required to keep the LM2576 junction temperature within the allowed operating range. For each application, to determine whether or not a heat sink will be required, the following must be identified:

1. Maximum ambient temperature (in the application).
2. Maximum regulator power dissipation (in application).
3. Maximum allowed junction temperature (125°C for the LM2576). For a safe, conservative design, a temperature approximately 15°C cooler than the maximum temperatures should be selected.
4. LM2576 package thermal resistances  $\theta_{\text{JA}}$  and  $\theta_{\text{JC}}$ .

Total power dissipated by the LM2576 can be estimated as follows:

$$P_D = (V_{\text{IN}})(I_Q) + (V_O/V_{\text{IN}})(I_{\text{LOAD}})(V_{\text{SAT}})$$

where  $I_Q$  (quiescent current) and  $V_{\text{SAT}}$  can be found in the Characteristic Curves shown previously,  $V_{\text{IN}}$  is the applied minimum input voltage,  $V_O$  is the regulated output voltage, and  $I_{\text{LOAD}}$  is the load current. The dynamic losses during turn-on and turn-off are negligible if a Schottky type catch diode is used.

When no heat sink is used, the junction temperature rise can be determined by the following:

$$\Delta T_J = (P_D)(\theta_{\text{JA}})$$

To arrive at the actual operating junction temperature, add the junction temperature rise to the maximum ambient temperature.

$$T_J = \Delta T_J + T_A$$

If the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature determined in step 3, then a heat sink is required.

When using a heat sink, the junction temperature rise can be determined by the following:

$$\Delta T_J = (P_D)(\theta_{\text{JC}} + \theta_{\text{interf}} + \theta_{\text{Heat sink}})$$

The operating junction temperature will be:

$$T_J = T_A + \Delta T_J$$

As above, if the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature, then a larger heat sink is required (one that has a lower thermal resistance).

Included on the Switcher Made Simple design software is a more precise (non-linear) thermal model that can be used to determine junction temperature with different input-output parameters or different component values. It can also calculate the heat sink thermal resistance required to maintain the regulators junction temperature below the maximum operating temperature.

## Additional Applications

### INVERTING REGULATOR

*Figure 10* shows a LM2576-12 in a buck-boost configuration to generate a negative 12V output from a positive input voltage. This circuit bootstraps the regulator's ground pin to the

## Additional Applications (Continued)

negative output voltage, then by grounding the feedback pin, the regulator senses the inverted output voltage and regulates it to -12V.

For an input voltage of 12V or more, the maximum available output current in this configuration is approximately 700 mA. At lighter loads, the minimum input voltage required drops to approximately 4.7V.

The switch currents in this buck-boost configuration are higher than in the standard buck-mode design, thus lowering the available output current. Also, the start-up input current of the buck-boost converter is higher than the standard buck-mode regulator, and this may overload an input power source with a current limit less than 5A. Using a delayed turn-on or an undervoltage lockout circuit (described in the next section) would allow the input voltage to rise to a high enough level before the switcher would be allowed to turn on.

Because of the structural differences between the buck and the buck-boost regulator topologies, the buck regulator design procedure section can not be used to select the inductor or the output capacitor. The recommended range of inductor values for the buck-boost design is between 68  $\mu\text{H}$  and 220  $\mu\text{H}$ , and the output capacitor values must be larger than what is normally required for buck designs. Low input voltages or high output currents require a large value output capacitor (in the thousands of micro Farads).

The peak inductor current, which is the same as the peak switch current, can be calculated from the following formula:

$$I_p \approx \frac{I_{\text{LOAD}}(V_{\text{IN}} + |V_{\text{O}}|)}{V_{\text{IN}}} + \frac{V_{\text{IN}}|V_{\text{O}}|}{V_{\text{IN}} + |V_{\text{O}}|} \times \frac{1}{2L_1 f_{\text{osc}}}$$

Where  $f_{\text{osc}} = 52 \text{ kHz}$ . Under normal continuous inductor current operating conditions, the minimum  $V_{\text{IN}}$  represents the worst case. Select an inductor that is rated for the peak current anticipated.

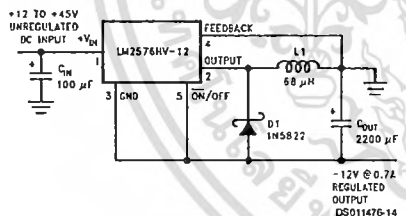


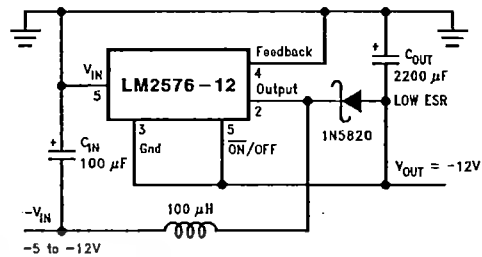
FIGURE 10. Inverting Buck-Boost Develops -12V

Also, the maximum voltage appearing across the regulator is the absolute sum of the input and output voltage. For a -12V output, the maximum input voltage for the LM2576 is +28V, or +48V for the LM2576HV.

The *Switchers Made Simple* (version 3.0) design software can be used to determine the feasibility of regulator designs using different topologies, different input-output parameters, different components, etc.

### NEGATIVE BOOST REGULATOR

Another variation on the buck-boost topology is the negative boost configuration. The circuit in Figure 11 accepts an input voltage ranging from -5V to -12V and provides a regulated -12V output. Input voltages greater than -12V will cause the output to rise above -12V, but will not damage the regulator.



Typical Load Current  
400 mA for  $V_{\text{IN}} = -5.2\text{V}$   
750 mA for  $V_{\text{IN}} = -7\text{V}$   
Note: Heat sink may be required.

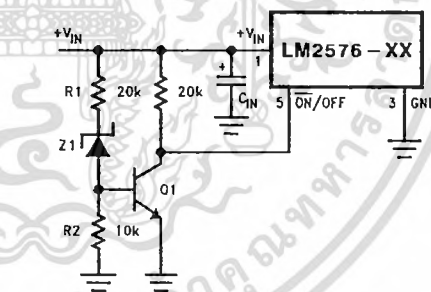
FIGURE 11. Negative Boost

Because of the boosting function of this type of regulator, the switch current is relatively high, especially at low input voltages. Output load current limitations are a result of the maximum current rating of the switch. Also, boost regulators can not provide current limiting load protection in the event of a shorted load, so some other means (such as a fuse) may be necessary.

### UNDERVOLTAGE LOCKOUT

In some applications it is desirable to keep the regulator off until the input voltage reaches a certain threshold. An undervoltage lockout circuit which accomplishes this task is shown in Figure 12, while Figure 13 shows the same circuit applied to a buck-boost configuration. These circuits keep the regulator off until the input voltage reaches a predetermined level.

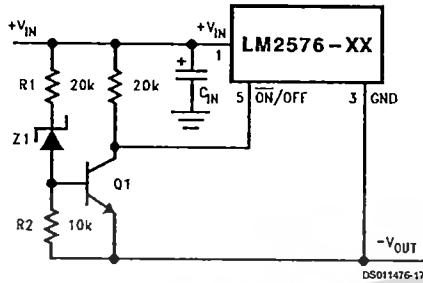
$$V_{\text{TH}} = V_{Z1} + 2V_{\text{BE}}(Q1)$$



Note: Complete circuit not shown.

FIGURE 12. Undervoltage Lockout for Buck Circuit

## Additional Applications (Continued)



Note: Complete circuit not shown (see Figure 10).

FIGURE 13. Undervoltage Lockout for Buck-Boost Circuit

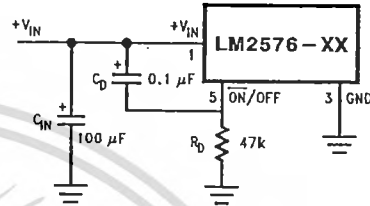
### DELAYED STARTUP

The ON/OFF pin can be used to provide a delayed startup feature as shown in Figure 14. With an input voltage of 20V and for the part values shown, the circuit provides approximately 10 ms of delay time before the circuit begins switch-

ing. Increasing the RC time constant can provide longer delay times. But excessively large RC time constants can cause problems with input voltages that are high in 60 Hz or 120 Hz ripple, by coupling the ripple into the ON/OFF pin.

### ADJUSTABLE OUTPUT, LOW-RIPPLE POWER SUPPLY

A 3A power supply that features an adjustable output voltage is shown in Figure 15. An additional L-C filter that reduces the output ripple by a factor of 10 or more is included in this circuit.



Note: Complete circuit not shown.

FIGURE 14. Delayed Startup

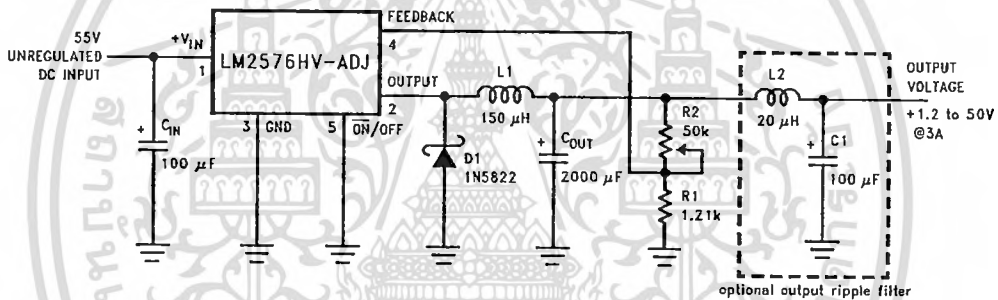


FIGURE 15. 12V to 55V Adjustable 3A Power Supply with Low Output Ripple

## Definition of Terms

### BUCK REGULATOR

A switching regulator topology in which a higher voltage is converted to a lower voltage. Also known as a step-down switching regulator.

### BUCK-BOOST REGULATOR

A switching regulator topology in which a positive voltage is converted to a negative voltage without a transformer.

### DUTY CYCLE (D)

Ratio of the output switch's on-time to the oscillator period.

$$\text{for buck regulator} \quad D = \frac{t_{ON}}{T} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

$$\text{for buck-boost regulator} \quad D = \frac{t_{ON}}{T} = \frac{|V_O|}{|V_O| + V_{IN}}$$

### CATCH DIODE OR CURRENT STEERING DIODE

The diode which provides a return path for the load current when the LM2576 switch is OFF.

### EFFICIENCY ( $\eta$ )

The proportion of input power actually delivered to the load.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{P_{OUT}}{P_{OUT} + P_{LOSS}}$$

### CAPACITOR EQUIVALENT SERIES RESISTANCE (ESR)

The purely resistive component of a real capacitor's impedance (see Figure 16). It causes power loss resulting in capacitor heating, which directly affects the capacitor's operating lifetime. When used as a switching regulator output filter, higher ESR values result in higher output ripple voltages.

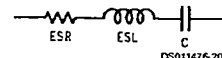
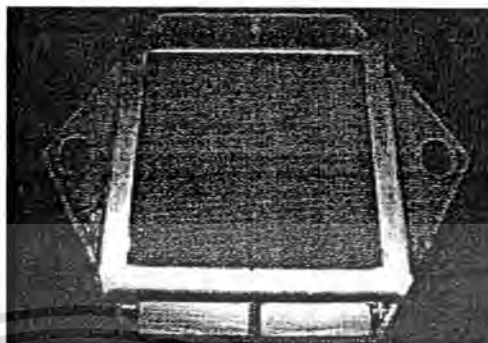


FIGURE 16. Simple Model of a Real Capacitor

**Model:** GL-C-A

**Features**  
 High luminous flux per LED  
 Very long operating life  
 Available in White, Cool White  
 More Energy Efficient than Incandescent and Halogen lamps  
 Low Voltage DC operated  
 Cool beam, safe to the touch  
 Instant light (less than 100ns)  
 No UV  
 Superior ESD protection



**Typical Applications :** Reading lights    Decorative    Appliance    Sign and Channel Letter  
 Architectural Detail    Portable Equipment    Medical Equipment    Automotive Lighting    LCD backlight

**Parameter**

Absolute Maximum Ratings At  $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$

Power Dissipation	3 W
Continuous Forward Current	240 mA
MCPCB Temperature( $^\circ\text{C}$ )	77 $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance ( $\text{W}/^\circ\text{C}$ )	5.43 $^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	-40 $^\circ\text{C}$ to 100 $^\circ\text{C}$
Body Temperature	43 $^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature 260 $^\circ\text{C}$ for 5 seconds	
Operation Time	> 50,000 hours*

\* A proper heat sink is required to attach the light.

\* The operation current is at 240 mA.

**Electrical /Optical Characteristics at  $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$**

Symbol	Parameter	Test Condition	Unit	MIN	TYP	MAX
$V_F$	Forward Voltage	$I_F = 240\text{ mA}$	V	11.2	12.5	15
$\Phi_V$	Luminance	$I_F = 240\text{ mA}$	lm	180		240
$T_C$	Color Temperature	$I_F = 240\text{ mA}$	K	5500	6300	6500
$R_a$	Color-Rending Index	$I_F = 240\text{ mA}$		70		80
$2\theta_{1/2}\dagger$	Viewing Angle	$I_F = 240\text{ mA}$	deg		> 170	

$\dagger \theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is half of the on-axis intensity.

**CAUTION FOR STATIC ELECTRICITY**

§ Caution must be taken strictly to avoid static electricity.

All LED products are extremely sensitive to static electricity ESD damage. The user must take absolutely secure countermeasures against static electricity and surge when handling products.

Proper grounding of products (via  $1\text{M}\Omega$ ), use of conductive mat, semiconductive working uniform and shoes, and semiconductive containers are considered to be effective as countermeasures against static electricity and surge.

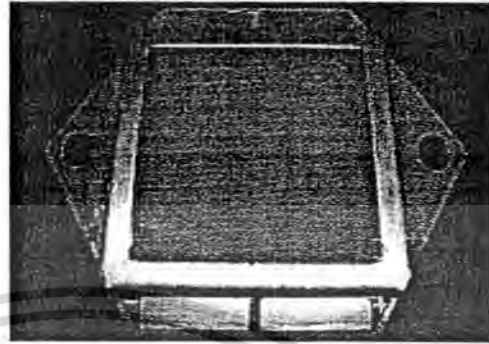
An ionizer is recommended to be used in the facility or environment where static electricity may be generated easily, and soldering iron with a grounded tip is also recommended.

To install a protection device, in the LED driving circuit, which does not exceed the max rating for surge current during on/off switching.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Model:** GL-C-B**Features**

High luminous flux per LED  
 Very long operating life  
 Available in White, Cool White  
 More Energy Efficient than Incandescent and Halogen lamps  
 Low Voltage DC operated  
 Cool beam, safe to the touch  
 Instant light (less than 100ns)  
 No UV  
 Superior ESD protection



**Typical Applications :** Reading lights    Decorative    Appliance    Sign and Channel Letter  
 Architectural Detail    Portable Equipment    Medical Equipment    Automotive Lighting    LCD backlight

**Parameter**Absolute Maximum Ratings At  $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 

Power Dissipation	6 W
Continuous Forward Current	480 mA
MCPCB Temperature( $^\circ\text{C}$ )	77 $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance (W/ $^\circ\text{C}$ )	5.43 $^\circ\text{C/W}$
Storage Temperature Range	-40 $^\circ\text{C}$ to 100 $^\circ\text{C}$
Body Temperature	43 $^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	260 $^\circ\text{C}$ for 5 seconds
Operation Time	> 50,000 hours*

\* A proper heat sink is required to attach the light.

\* The operation current is at 480 mA.

**Electrical /Optical Characteristics at  $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$** 

Symbol	Parameter	Test Condition	Unit	MIN	TYP	MAX
$V_F$	Forward Voltage	$I_F = 480\text{ mA}$	V	11.2	12.5	15
$\Phi_V$	Luminance	$I_F = 480\text{ mA}$	lm	360		480
$T_C$	Color Temperature	$I_F = 480\text{ mA}$	K	5500	6300	6500
Ra	Color-Rendering Index	$I_F = 480\text{ mA}$		70		80
$2\theta_{1/2}\dagger$	Viewing Angle	$I_F = 480\text{ mA}$	deg		> 170	

†  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is half of the on-axis intensity.**CAUTION FOR STATIC ELECTRICITY**

§ Caution must be taken strictly to avoid static electricity.

All LED products are extremely sensitive to static electricity ESD damage. The user must take absolutely secure countermeasures against static electricity and surge when handling products.

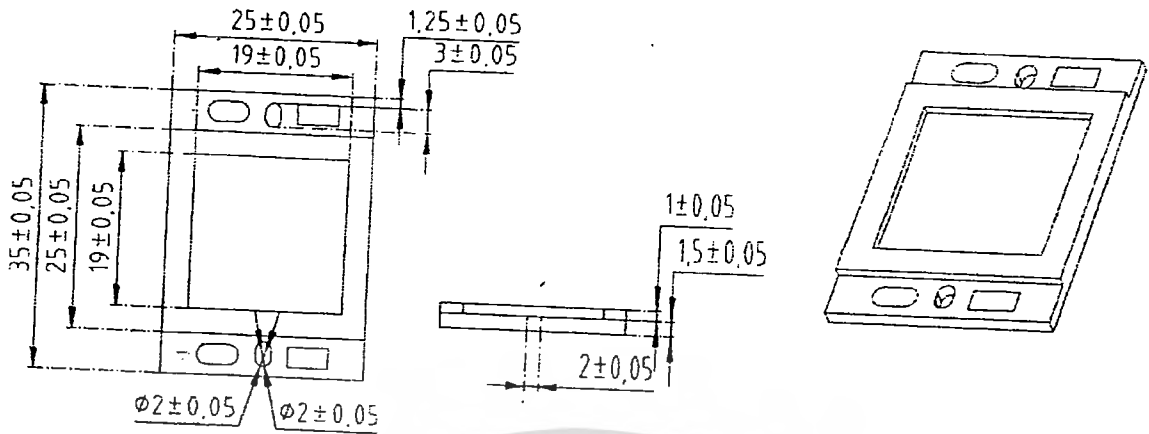
Proper grounding of products (via  $1M\Omega$ ), use of conductive mat, semiconductive working uniform and shoes, and semiconductive containers are considered to be effective as countermeasures against static electricity and surge.

An ionizer is recommended to be used in the facility or environment where static electricity may be generated easily, and soldering iron with a grounded tip is also recommended.

To install a protection device, in the LED driving circuit, which does not exceed the max rating for surge current during on/off switching.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mechanical Dimensions



### Parameter

Absolute Maximum Ratings At  $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$

#### Power Dissipation

Continuous Forward Current

3 W

MCPCB Temperature( $^\circ\text{C}$ )

240 mA

Thermal Resistance ( $\text{W}/^\circ\text{C}$ )

85  $^\circ\text{C}$

Storage Temperature Range

6.13  $^\circ\text{C}/\text{W}$

Lead Solder Temperature 260  $^\circ\text{C}$  for 5 seconds

-40  $^\circ\text{C}$  to 100  $^\circ\text{C}$

Operation Time

> 50,000 hours\*

\* A proper heat sink is required to attach the light.

\* The operation current is at 240 mA.

#### Electrical /Optical Characteristics at $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$

Symbol	Parameter	Test Condition	Unit	MIN	TYP	MAX
$V_F$	Forward Voltage	$I_F = 240\text{ mA}$	V	11.2	12.5	14
$\Phi_V$	Luminance	$I_F = 240\text{ mA}$	lm	180		240
$T_C$	Color Temperature	$I_F = 240\text{ mA}$	K	5500	6000	6500
$R_a$	Color-Rending Index	$I_F = 240\text{ mA}$		70		
$2\theta_{1/2}$	Viewing Angle	$I_F = 240\text{ mA}$	deg		> 120	80

†  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is half of the on-axis intensity.

#### CAUTION FOR STATIC ELECTRICITY

§ Caution must be taken strictly to avoid static electricity.

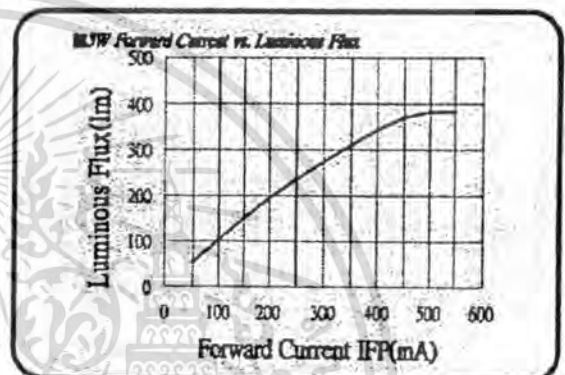
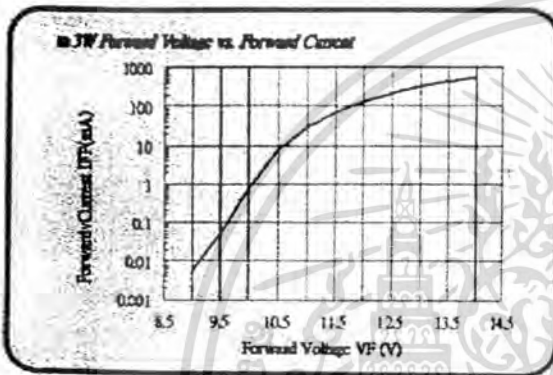
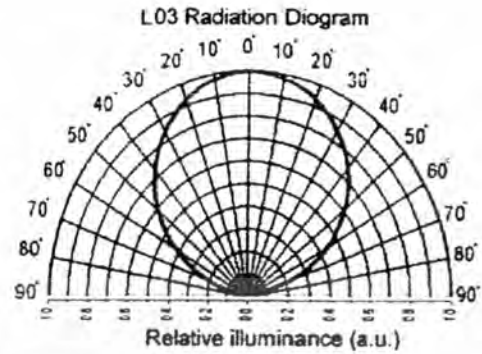
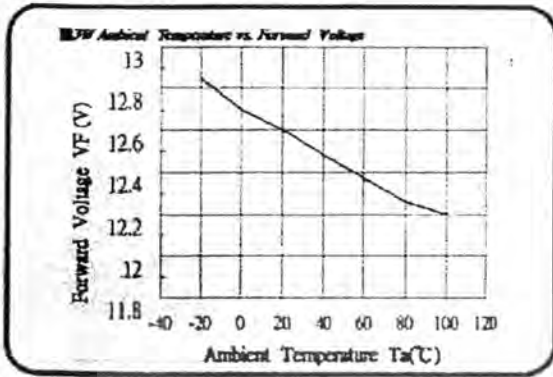
All LED products are extremely sensitive to static electricity ESD damage. The user must take absolutely secure countermeasures against static electricity and surge when handling products.

Proper grounding of products (via 1M $\Omega$ ), use of conductive mat, semiconductive working uniform and shoes, and semiconductive containers are considered to be effective as countermeasures against static electricity and surge.

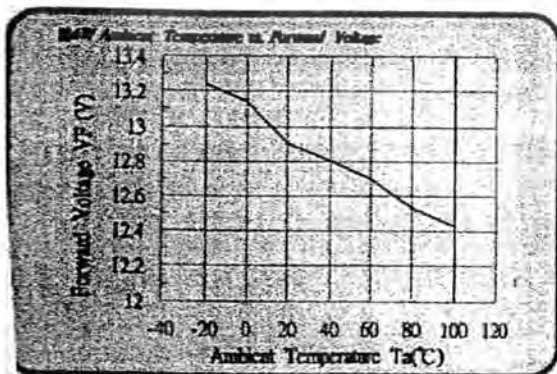
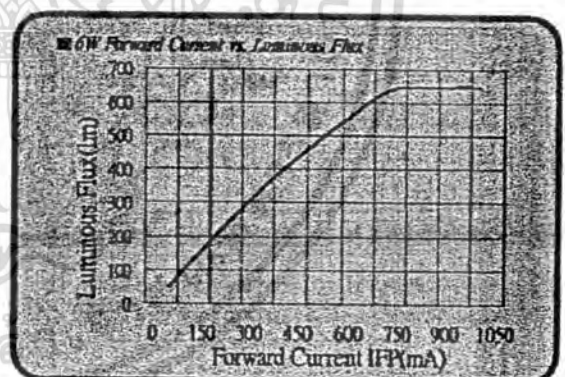
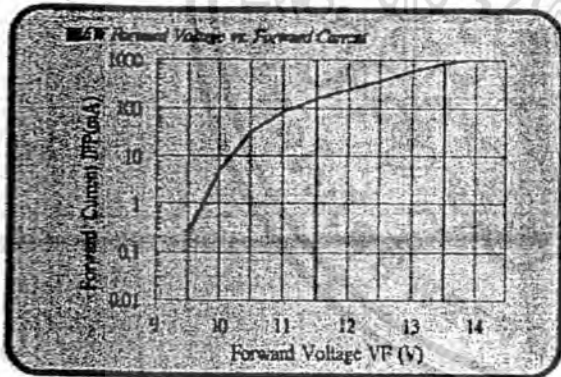
An ionizer is recommended to be used in the facility or environment where static electricity may be generated easily, and soldering iron with a grounded tip is also recommended.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3W 規格



6W 規格



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

ค. เอกสารสำเนาการยื่นขอจดทะเบียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คำขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร

- การประดิษฐ์  
 การออกแบบผลิตภัณฑ์  
 อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้  
 ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ.2522  
 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535  
 และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

## สำหรับเจ้าหน้าที่

วันรับคำขอ 23 ก.ย. 2552

เลขที่คำขอ

วันยื่นคำขอ

0903001046

สํานักงานเจ้าพนักงานประดิษฐ์ระหว่างประเทศ

ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์

ประเภทผลิตภัณฑ์

วันประกาศโฆษณา

เลขที่ประกาศโฆษณา

วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

ลายมือเจ้าหน้าที่

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์

ชุดหลอดไฟส่องสว่างที่ประดิษฐ์ขึ้นจากหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพ ไฟฟ้า

2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่

ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่(เลขที่ ถนน ประเทศ)

นายชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล

1518 ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

3.1 สัญชาติ

ไทย

3.2 โทรศัพท์

08-9104-8499

3.3 โทรสาร

0-2587-4356

3.4 อีเมล

cwtk@kmitnb.ac.th

cwtk9@hotmail.com

นายเฉลิมชาติ มานพ

3 หมู่ 2 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

3.1 สัญชาติ

ไทย

3.2 โทรศัพท์

08-4160-1572

3.3 โทรสาร

0-2326-4550

3.4 อีเมล

kmchaler@kmitl.ac.th

kmchaler@hotmail.com

4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

- ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ  ผู้รับโอน  ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์)

5.1 ตัวแทนเลขที่

5.2 โทรศัพท์

5.3 โทรสาร

5.4 อีเมล

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่มีอาชญาบัตรละเอียดครบถ้วน ให้จัดทำเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้ โดยระบุหมายเลขกำกับและหัวข้อที่แสดงรายละเอียด  
 เพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)  
 นายชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล 1518 ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 ประเทศไทย  
 นายเฉลิมชาติ มานพ 3 หมู่ 2 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 ประเทศไทย

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม  
 ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร  
 เลขที่ วันขึ้น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ  
 คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง  ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ  ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

8. การยื่นคำขออนุญาตออกจำหน่ายกร ไม่เคยยื่นที่ใดมาก่อน

วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ
8.1				
8.2				
8.3				

8.4  ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิให้ถือว่าได้ยื่นคำขอนี้ในวันที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย  
 ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้  ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้

9. การแสดงการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด  
 วันแสดง วันเปิดงานแสดง ผู้จัด

10. การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ

10.1 เลขทะเบียนฝากเก็บ	10.2 วันที่ฝากเก็บ	10.3 สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ
------------------------	--------------------	---------------------------

11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่จัดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอยื่นเป็นภาษา  
 อังกฤษ  ฝรั่งเศส  เยอรมัน  ญี่ปุ่น  อื่นๆ

12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้อธิบดีประกาศโฆษณาคำขอรับสิทธิบัตรหรือจดทะเบียนและประกาศโฆษณาอนุสิทธิบัตรนี้  
 หลังจากวันที่ เดือน พ.ศ.  
 ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ใช้รูปเขียนหมายเลข ในการประกาศโฆษณา

13. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย	14. เอกสารประกอบคำขอ
ก. แบบพิมพ์ขอ 3 หน้า	<input type="checkbox"/> เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ข. รายละเอียดการประดิษฐ์ หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์ 3 หน้า	<input type="checkbox"/> หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบ
ค. ข้อต่อสิทธิ 1 หน้า	<input type="checkbox"/> ผลิตภัณฑ์
ง. รูปเขียน 1 รูป 1 หน้า	<input type="checkbox"/> หนังสือมอบอำนาจ
จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์	<input type="checkbox"/> เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ
<input type="checkbox"/> รูปเขียน - รูป - หน้า	<input type="checkbox"/> เอกสารการขอนับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็น
<input type="checkbox"/> รูปถ่าย - รูป - หน้า	<input type="checkbox"/> วันยื่นคำขอในประเทศไทย
ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์ 1 หน้า	<input type="checkbox"/> เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ
	<input type="checkbox"/> เอกสารอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่สามารถใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ข้าพเจ้าขอรับรองว่า

- การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรบัตรมาก่อน  
 การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก.....

16. ลายมือชื่อ (  ผู้ขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร ;  ตัวแทน)

(.....) , (.....)  
 ( นายชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล ) , ( นายเฉลิมชาติ มานพ )

**หมายเหตุ** บุคคลใดยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบ สป/สพ/อสป/001-ก (พ)

## คำรับรองเกี่ยวกับสิทธิขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

เขียนที่ 1518 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กทม. 10800

วันที่ 22 เดือน กันยายน พ.ศ. 2552

เรียน อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา

ข้าพเจ้า นายชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล

ที่อยู่ 1518 ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 และ

ข้าพเจ้า นายเฉลิมชาติ มานพ

ที่อยู่ 3 หมู่ 2 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ขอรับรองและยืนยันเกี่ยวกับสิทธิของข้าพเจ้าในการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ คือ

.....ชุดหลอดไฟส่องสว่างที่ประดิษฐ์ขึ้นจากหลอดแอลอีดีกำลังสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า.....

ซึ่ง ข้าพเจ้าขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ดังนี้

1. ข้าพเจ้าเป็นผู้ประดิษฐ์สิ่งที่ยอมรับสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร/ผู้ออกแบบสิ่งที่ยอมรับสิทธิบัตรดังกล่าว

2. ไม่มีบุคคลหรือหน่วยงานใดมีสิทธิขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร สำหรับการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์

ที่ยอมรับสิทธิบัตร

3. ข้าพเจ้ายังไม่ได้โอนสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรที่ยอมรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร แก่บุคคลอื่นใด

4. รายละเอียดต่างๆ ที่ข้าพเจ้าระบุถึงในคำรับรองนี้ ตลอดจนข้อเท็จจริงทั้งปวงที่ระบุในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุ

สิทธิบัตร ถูกต้องและเป็นความจริงทุกประการ

(ลงชื่อ) .....

( นายชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล )

.....

( นายเฉลิมชาติ มานพ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### ง. บทความวิจัยที่ยื่นเสนอสำหรับพิจารณาการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การพัฒนาการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง

## A Development of Lighting Design Using High Power LED

ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล<sup>1</sup> เฉลิมชาติ มานพ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง ทั้งนี้หลอดไฟแอลอีดีได้ถูกพัฒนาไปมากในไม่กี่ปีมานี้จนกลายเป็นแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดไฟแบบเดิมที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป นวัตกรรมใหม่ของการประยุกต์ใช้แอลอีดีกำลังสูงที่ได้ทำการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่ ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงและวงจรขับ ในบทความนี้จะเป็นการเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้า โดยการทดลองใช้วงจรขับที่มีแหล่งจ่ายไฟที่แตกต่างกันได้แก่ แหล่งจ่ายกำลังแบบใช้หม้อแปลงแบบสวิตซ์ซิ่ง และแบบที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยจะเป็นการพิจารณาในหลายๆด้าน ได้แก่ การผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม องค์ประกอบฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพ หลังจากนั้นจึงนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดสอบด้านสมรรถนะการส่องสว่างต่อไป

คำสำคัญ: แอลอีดีกำลังสูง, วงจรขับแอลอีดี, การส่องสว่าง, การปรับปรุงเฟคเตอร์กำลัง

### Abstract

This paper presents a development lighting design using high power LED. For the last few years, high power LED has been widely used because of its higher lighting efficiency than the traditional lighting. Lighting design using high power LED consists of high power LED and LED driver circuit. The paper compares three power sources: voltage transformer, switching, and switching with power factor correction circuit. The consideration is tested using THD, harmonic component, efficiency, etc. These circuits are then used to drive high power LED to test its lighting performance.

Keywords: High power LED, LED driver, lighting, power factor correction

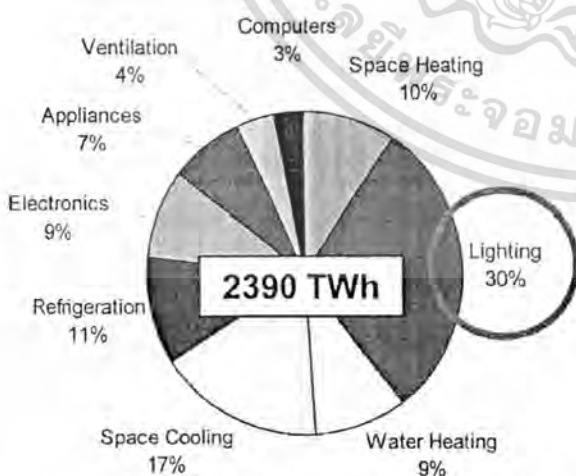
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานหลังหนึ่งพบว่า ด้านการส่องสว่าง (Lighting) จะใช้พลังงานสูงสุดถึง 30% ของการใช้พลังงานทั้งหมด [1-2] แสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นหากมีการบริหารจัดการพลังงานด้านการส่องสว่างที่ดีจะสามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้เป็นอย่างมาก ในหลายประเทศกำลังให้ความสนใจทางด้าน การปรับเปลี่ยนรูปแบบการส่องสว่าง จากเดิมที่ใช้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ซึ่งขดลวดจะร้อนแดงและเปล่งแสงออกมา หลักการดังกล่าวนี้เป็นการทำงานของหลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ต่ำมาก อย่างไรก็ตามหลอดประเภทปล่อยประจุความเข้มสูง (High intensity discharge) หรือหลอด HID ก็จะเป็นที่นิยมนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ไฟถนน และสถานที่อื่นๆเป็นจำนวนมากเช่นกัน [3]

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง และวงจรลดทอนระดับแรงดันในโหมดควบคุมกระแสสำหรับการนำมาเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับแอลอีดีกำลังสูง
2. เพื่อศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ สำหรับนำมาเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง
3. เพื่อศึกษาลักษณะการส่องสว่างของชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนการส่องสว่างด้วยหลอดไฟแบบเดิม



รูปที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานแห่งหนึ่ง (<http://buildingsdata-book.eren.doe.gov>)



รูปที่ 2 แอลอีดีกำลังสูง 2 แบบ (บน) แอลอีดีกำลังสูง Luxeon และ (ล่าง) แบบแผ่นบาง

(<http://www.hero-ledstore.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง

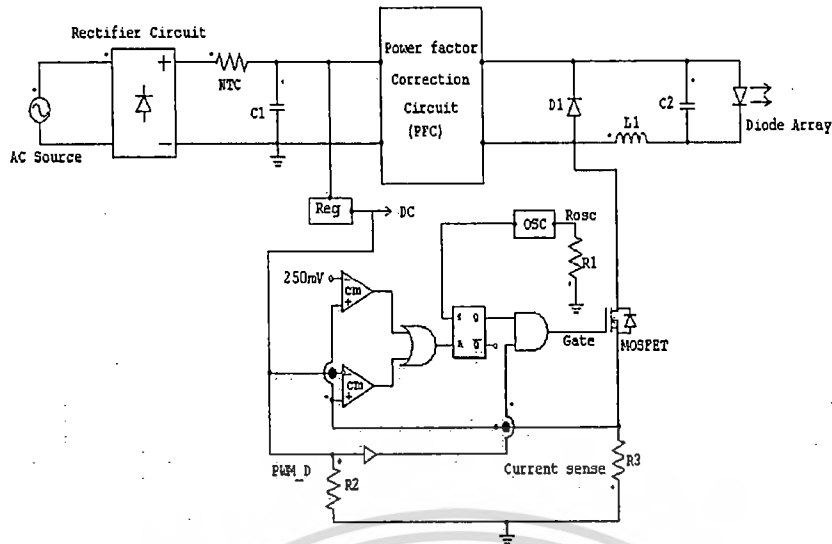
ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการออกแบบการส่องสว่าง ได้มีการแข่งขันกันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้เกิดการใช้งานอย่างคุ้มค่า เทคโนโลยีไดโอดเรืองแสง (Light emitting diodes, LED) หรือแอลอีดี เป็นสิ่งประดิษฐ์หนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะแอลอีดีกำลังสูง (High power LED) ที่มีค่าความส่องสว่างสูงเทียบเท่าหลอดไฟชนิดอื่นและมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ได้แก่ทางด้านประสิทธิภาพ พลั๊กซ์ส่องสว่าง และยังมีข้อดีกว่าคือไม่ก่อให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความร้อนของลำแสงน้อยมาก และยังมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่นๆ ในปัจจุบันได้มีการนำแอลอีดีมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในวงการแพทย์ ยานยนต์ และการโฆษณา ซึ่งแอลอีดีกำลังสูงนี้เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี ในต่างประเทศนิยมนำเอาแอลอีดีกำลังสูงมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานด้านการส่องสว่าง นอกจากนี้แอลอีดียังมีสีสันทที่สวยงามสมจริงกว่า ในยุคปัจจุบัน แอลอีดีได้ถูกพัฒนามาจนมีพิคที่พุ่งขึ้นกว่าในอดีตมาก จึงมีชื่อเรียกเป็นแอลอีดีกำลังสูง [4-5]

ถึงแม้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะให้แสงสีที่ขาวนวลตา ความจืดต่ำกว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำงานก็น้อยกว่า [3] และเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดไฟที่มีใช้งานอยู่ก่อน โดยมีประมาณ 72 ลูเมนต่อวัตต์ (เมื่อเทียบกับหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 17.5 ลูเมนต่อวัตต์) นอกจากนี้อายุการใช้งานของหลอดก็นานถึง 20,000 ชั่วโมง โดยหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์นั้นจะมีอายุการใช้งานเพียง 750 ชั่วโมง หลอดแสงจันทร์ซึ่งเป็นหลอดประเภท HID มีอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงมีอายุการใช้งานมากกว่า 80,000 ชั่วโมง ด้วยกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นกว่าแบบเดิม [4] รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างแอลอีดีกำลังสูง 2 แบบ ซึ่งแอลอีดีแบบแผ่นบางถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบส่องสว่างในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีคุณลักษณะของการกระจายแสงที่ดีกว่าแบบ Luxeon

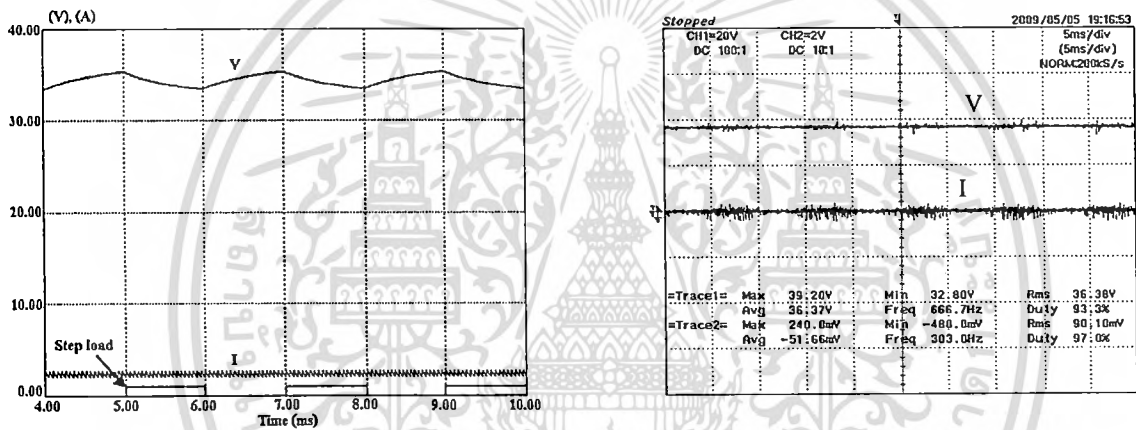
### 2. วงจรขับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบขึ้น

วงจรของชุดแหล่งจ่ายไฟหรือต่อไปนี้จะเรียกเป็นชุดวงจรขับที่ได้ออกแบบขึ้นแสดงในรูปที่ 3 โดยวงจรขับดังกล่าวนี้จะเป็นวงจรทอนระดับแรงดันหรือเรียกว่าวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter) ที่มีการควบคุมแบบลูปิด โดยมีวงจรสำหรับควบคุมกระแสให้มีค่าคงที่ วงจรดังกล่าวนี้ก่อนนำไปออกแบบลายปริ้นได้ทำการจำลองเพื่อให้ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพ โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองวงจรได้ใช้โปรแกรม PSIM ผลการจำลองแสดงในรูปที่ 4 (ซ้าย) และผลการทดลองจริงเมื่อนำมาขับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงแสดงในรูปที่ 4 (ขวา) ซึ่งพบว่าวงจรขับดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

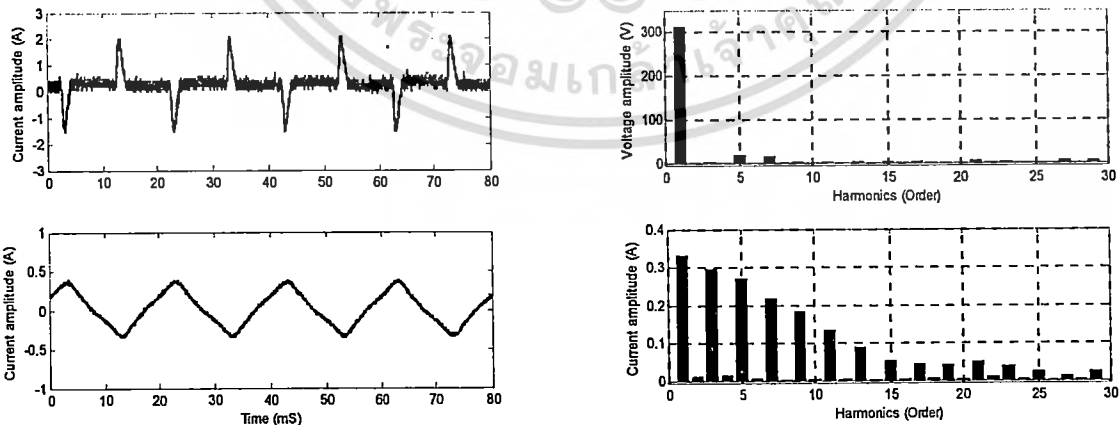
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะผิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 วงจรขับโหลดไฟแอลอีดีกำลังสูงและวงจรการปรับรูปตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4 สัญญาณแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับชุดโหลดไฟแอลอีดีกำลังสูง (ซ้าย) ผลการจำลองวงจรแบบลูปิดและ (ขวา) ผลการทดลองจริง

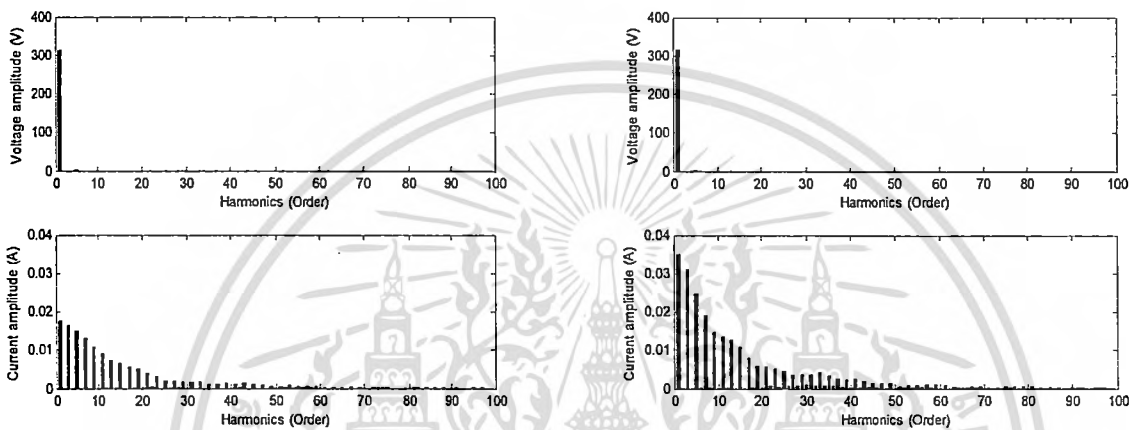


รูปที่ 5 รูปคลื่นกระแสของ (บนซ้าย) ชุดโหลดไฟแอลอีดีกำลังสูงและ (ล่างซ้าย) ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อแหล่งจ่ายเป็นแหล่งจ่ายแรงดันแบบใช้หม้อแปลง (บนขวา) สเปคตรัมแรงดันและ (ล่างขวา) สเปคตรัมกระแส (เฉพาะของชุดโหลดไฟแอลอีดีกำลังสูง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อใช้ภายในเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการวิจัย

การทดลองในครั้งนี้เป็นการศึกษาการเกิดขึ้นของฮาร์มอนิกทั้งในแรงดันและกระแส ของชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่มีแหล่งจ่ายไฟเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage source) ที่ประกอบด้วยหม้อแปลงแรงดันเปรียบเทียบกับวงจรของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ซึ่งรวมบัลลาสต์อยู่ด้วย) ได้ผลการทดลองในรูปที่ 5 ทั้งนี้สัญญาณที่ได้ถูกจัดเก็บในลักษณะของไฟล์แบบ ASCII โดยใช้สโคปแบบดิจิตอลสำหรับนำมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อตรวจสอบฮาร์มอนิกที่รวมอยู่ในสัญญาณมูลฐานต่อไป

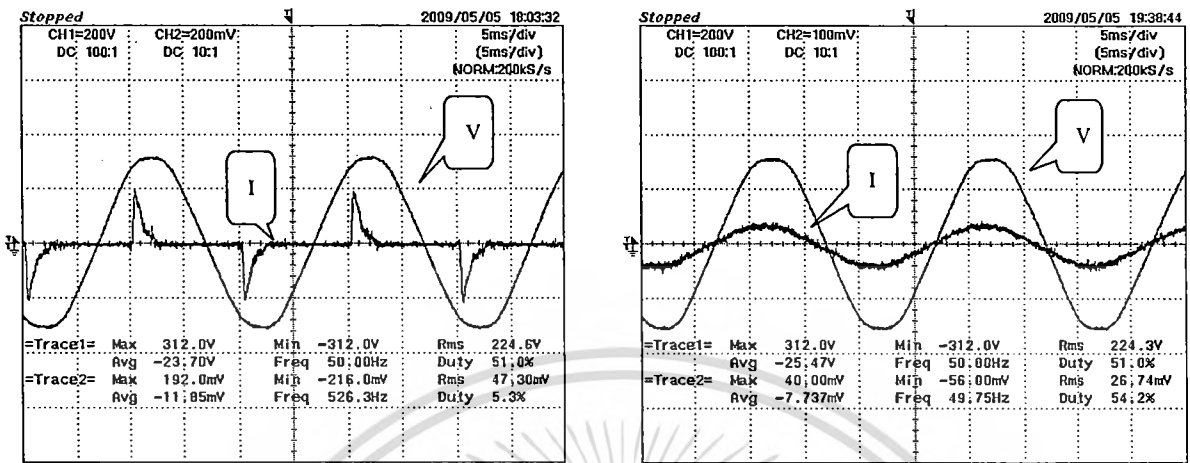


รูปที่ 6 สเปกตรัมแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตชิ่งซึ่งจ่ายให้กับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง (ซ้าย) พิกัด 18 วัตต์ มีค่า THDv=1.54%, THDi=169.05% และ  $\eta$  = 61.94% (ขวา) พิกัด 36 วัตต์ มีค่า THDv=1.95%, THDi=155.54% และ  $\eta$  = 62.37%

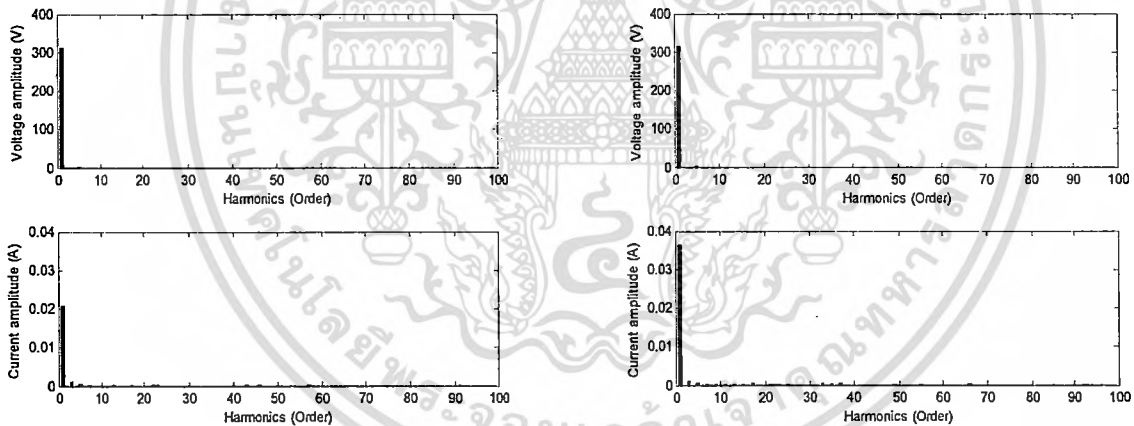
จากการคำนวณหาค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total harmonic distortion, THD) ของทั้งแรงดันและกระแสของวงจรชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงในรูปที่ 5 (ซ้าย) ได้ค่า THDv=10.08% และ THDi=165.51% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า THDi มีค่าสูงมาก จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขให้มีความต่ำกว่านี้สำหรับในส่วนของวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีบัลลาสต์รวมอยู่ด้วยได้ค่า THDv=9.98% และ THDi=14.72% (ไม่ได้แสดงรูปสเปกตรัม) การทดลองต่อมาเมื่อแหล่งจ่ายของชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงเป็นแบบการสวิตชิ่ง (Switching) ซึ่งยังคงเป็นแบบจ่ายแรงดันได้ผลการทดลองในรูปที่ 6 ผลการทดลองนี้แสดงเฉพาะสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตชิ่งซึ่งจ่ายให้กับแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์และ 18 วัตต์ พร้อมทั้งแสดงข้อมูลคุณภาพทางไฟฟ้าที่สำคัญอีกด้วย

ที่กล่าวมาชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่มีแหล่งจ่ายไฟเป็นเพียงแหล่งจ่ายแรงดันมีค่า THDi ที่สูงมาก ทำให้ต้องมีการปรับปรุง เพื่อให้ได้คุณภาพไฟฟ้าที่ดี อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าโดยทั่วไปแล้ว ทิศทางการกระจายแสงจะขึ้นอยู่กับประเภทของดวงโคม ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทตามลักษณะของการนำไปใช้งาน แต่จากการทบทวนงานวิจัยในเอกสารอ้างอิง [5-6] พบว่าวงจรขับซึ่งนำมาเป็นแหล่งจ่ายให้กับชุดหลอดไฟแอลอีดีทุกชนิดนั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงนั้นจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการส่องสว่าง โดยกล่าวหาว่าหากควบคุมกระแสให้กับแอลอีดีได้อย่างคงที่ ก็จะทำให้มันสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



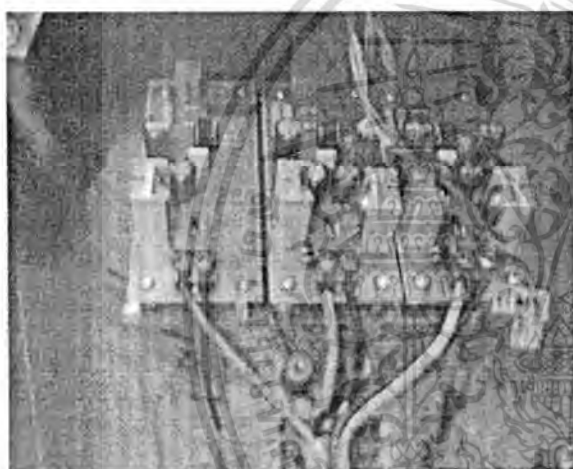
รูปที่ 7 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของแหล่งจ่ายไฟเมื่อจ่ายให้กับชุดหลอดแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์ (ซ้าย) เมื่อแหล่งจ่ายเป็นแบบสวิตชิ่งและ (ขวา) แหล่งจ่ายเป็นแบบสวิตชิ่งที่มีวงจรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมอยู่ด้วย



รูปที่ 8 สเปกตรัมแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตชิ่งที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังซึ่งจ่ายให้กับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง (ซ้าย) พิกัด 18 วัตต์มีค่า THDv=1.97%, THDi=11.89% และ  $\eta=63.14%$  และ (ขวา) พิกัด 36 วัตต์ มีค่า THDv=1.89%, THDi=8.48% และ  $\eta=63.65%$

ในงานวิจัยนี้นอกจากจะได้ออกแบบให้แอลอีดีสามารถทำงานภายใต้กระแสคงที่ที่มันต้องการแล้ว ยังได้ให้ความสำคัญกับสัญญาณฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นทางด้านอินพุตของวงจรขับด้วย ผลการทดลองในรูปที่ 7 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของวงจรขับแบบสวิตชิ่งเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมอยู่ โดยถูกนำมาจ่ายให้กับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์ และ 18 วัตต์ ซึ่งจะเห็นว่าในกรณีของแหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่งที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะทำให้สัญญาณเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไปสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติไปไซปรัสขอขณตั้นการค้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์พร้อมทั้งมีตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 อีกด้วย ซึ่งสามารถพิจารณาผลของสเปกตรัมทั้งแรงดันและกระแสได้ในรูปที่ 8 โดยได้แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) ทั้งสัญญาณแรงดันและกระแสไว้แล้วด้วย นอกจากนี้ยังได้แสดงประสิทธิภาพ ( $\eta$ ) ของวงจรชุดขับ ซึ่งผลที่ได้ถึงแม้ว่าวงจรชุดขับแบบสวิตซ์ซึ่งมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะให้ค่าประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกันมากนักกับวงจรชุดขับแบบสวิตซ์ซึ่งไม่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพที่ได้ของวงจรขับแบบสวิตซ์ซึ่งมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังยังน่าจะสามารถทำให้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่านี้ได้ ซึ่งประการหนึ่งที่คณะผู้วิจัยคิดว่าเป็นปัญหาทำให้ประสิทธิภาพมีค่าไม่สูงมากนักคือ การเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม เช่น การเลือกใช้อุปกรณ์การสวิตซ์ที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณกระแสที่ไหลเช่นค่าความต้านทานในการไบแอส ค่าตัวต้านทานในการป้อนกลับ ค่าความเหนี่ยวนำ เป็นต้น รูปที่ 9 แสดงวงจรขับพร้อมด้วยวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกแบบขึ้น



รูปที่ 9 วงจรขับพร้อมด้วยวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกแบบขึ้น

รูปที่ 10 ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ออกแบบขึ้นสำหรับไฟถนนและในลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์

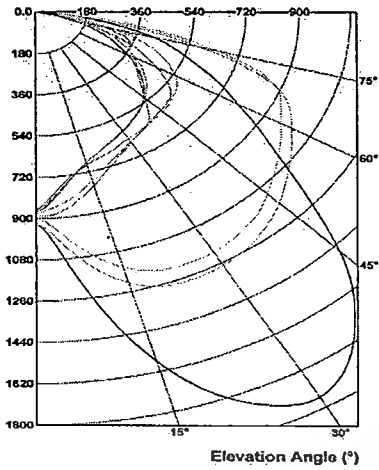
ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ถูกนำมาใช้ในการออกแบบชุดส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูงได้แก่ ชุดโคมเต่าพิกัด 80 วัตต์ และในลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์พิกัด 36 วัตต์และ 18 วัตต์ แสดงในรูปที่ 10 อย่างไรก็ตามในการทดสอบลักษณะของการส่องสว่างภายในอาคาร ระหว่างชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 36 วัตต์เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่พิกัดเดียวกันพบว่า ลักษณะของการส่องสว่างที่จำในบางตำแหน่งของชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง ขาดความสม่ำเสมอของแสงซึ่งต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในลักษณะของการส่องสว่างภายนอกอาคารนั้น เช่นการใช้สำหรับส่องถนนภายในหมู่บ้าน หรือถนนในซอยต่างๆ และถ้าเป็นถนนใหญ่ที่มีใช้งานโคมเต่าเป็นจำนวนมากซึ่งโคมเหล่านี้จะมีลักษณะของการส่องสว่างที่แตกต่างไปจากการส่องสว่างภายในอาคาร ก็จะสามารถนำชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงมาใช้ทดแทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Legend**  
(C-Planes)

- ..... 0°
- ..... 45°
- ..... 90°
- ..... 135°
- ..... 180°
- ..... 225°
- ..... 270°
- ..... 315°
- ..... 360°

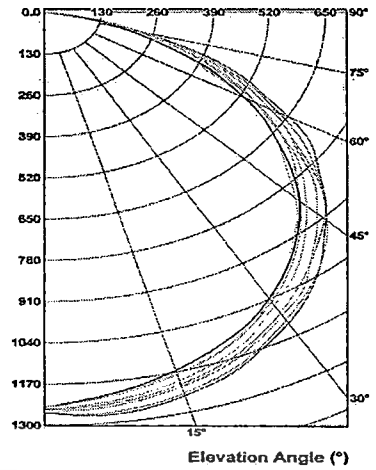
Luminous Intensity  
(cd)



**Legend**  
(C-Planes)

- ..... 0°
- ..... 45°
- ..... 90°
- ..... 135°
- ..... 180°
- ..... 225°
- ..... 270°
- ..... 315°
- ..... 360°

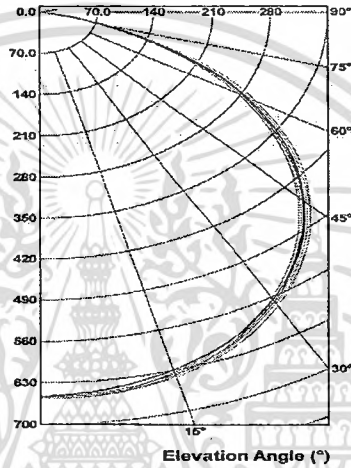
Luminous Intensity  
(cd)



**Legend**  
(C-Planes)

- ..... 0°
- ..... 45°
- ..... 90°
- ..... 135°
- ..... 180°
- ..... 225°
- ..... 270°
- ..... 315°
- ..... 360°

Luminous Intensity  
(cd)



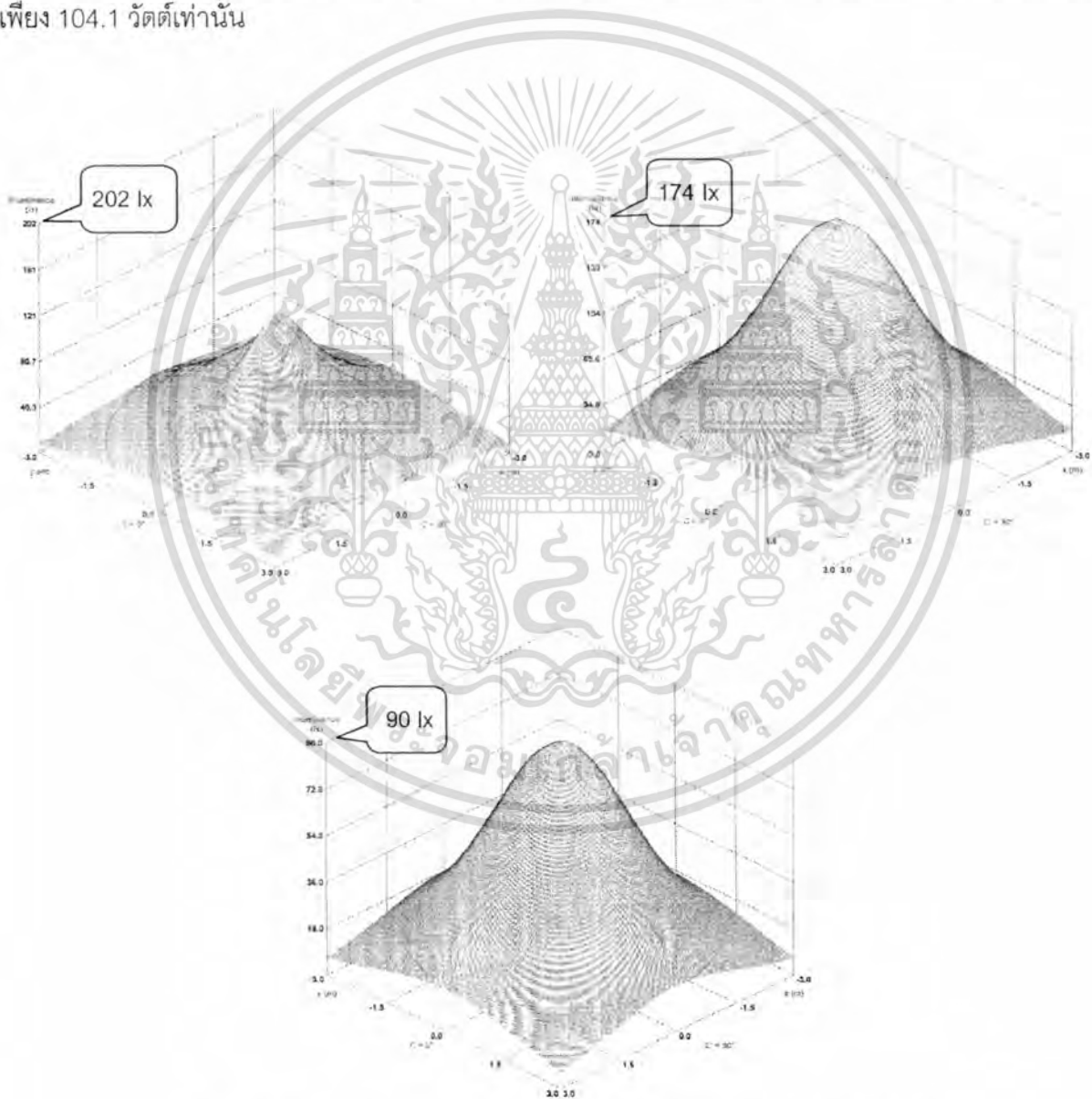
รูปที่ 11 ลักษณะการกระจายแสงของ (บนซ้าย) หลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์

(บนขวา) ชุดหลอดไฟแอลซีดีกำลังสูง 80 วัตต์ และ (ล่าง) ชุดหลอดไฟแอลซีดีกำลังสูง 36 วัตต์

ทั้งนี้จากการทดสอบลักษณะของการกระจายแสงที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการทางแสงของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แสดงในรูปที่ 11 พบว่าลักษณะการกระจายแสงของชุดหลอดไฟแอลซีดีกำลังสูงทั้งโคมเต่า และโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ในรูปที่ 11(บนขวา) และ 11(ล่าง) มีลักษณะของการกระจายแสงที่คล้ายกัน คือมีลักษณะของการกระจายแสงในลักษณะสมมาตร ต่างจากโคมหลอดแสงจันทร์ในรูปที่ 11(บนซ้าย) ที่มีลักษณะของแสงพุ่งไปเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง ที่กล่าวมานี้จะเป็นคุณลักษณะของรูปทรงของหลอดและการจัดวางมุมองศาของชุดหลอดไฟแอลซีดีกำลังสูง และโคมอาจเป็นสำคัญ ซึ่งจะทำให้ปริมาณความเข้มของการส่องสว่างในหน่วยแคนเดลา (CD) สามารถมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละระนาบหรือใกล้เคียงกันได้ พิจารณาได้จากแกน Y (ในรูปที่ 11) ซึ่งความแตกต่างของการส่องสว่างนี้จะถูกเลือกสำหรับการนำไปใช้งาน เช่น ติดตั้งอยู่ริมถนนสำหรับไฟส่องถนน หรืออยู่กลางลานจอดรถ เป็นต้น

รูปที่ 12 แสดงกราฟในลักษณะ 3 มิติของการส่องสว่างในหน่วยลักซ์ (Lux) ซึ่งพบว่าปริมาณการส่องสว่างที่ได้จากหลอดแสงจันทร์ 80 วัตต์ในรูปที่ 12(บนซ้าย) น้อยกว่าชุดหลอดไฟแอลซีดีกำลังสูงฟลักซ์ 80 เอกซารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดตีในรูปที่ 12 (บนขวา) แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงพิกัด 18 วัดตี แต่ถ้าหากเทียบในด้านของความสม่ำเสมอของแสงที่ได้แล้ว หลอดแสงจันทร์จะได้เปรียบกว่า อย่างไรก็ตามก็สามารถปรับมุมมองของหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงให้มีความเหมาะสม และการนำไปประยุกต์ใช้งานตามที่ได้กล่าวมาอีกด้วย ดังเช่นชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง ในลักษณะของโคมเต่าแบบที่ 2 (ในรูปที่ 10) ทั้งนี้ในกรณีของชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง ข้อที่ได้เปรียบกว่าหลอดแสงจันทร์ที่พิกัดเดียวกัน คือสามารถลดจำนวนของเสาซึ่งมีราคาที่สูงลงได้ นอกจากนี้แล้วในการพิจารณาด้านการใช้กำลังไฟฟ้า ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงก็ยังได้เปรียบกว่าหลอดแสงจันทร์ที่พิกัดเดียวกัน แสดงผลการทดสอบดังกล่าวในตารางที่ 1 กล่าวคือหลอดแสงจันทร์ 80 วัดตี ใช้กำลังไฟฟ้า 120.3 วัดตี ในขณะที่ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง 80 วัดตีใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 104.1 วัดตีเท่านั้น



รูปที่ 12 ลักษณะการกระจายแสงของ (บนซ้าย) หลอดแสงจันทร์ 80 วัดตี

(บนขวา) ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง 80 วัดตี และ (ล่าง) ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง 36 วัดตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภทของดวงโคม

ประเภทหลอดไฟ	หลอดแสงจันทร์ (80 วัตต์)	ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง	
		80 วัตต์	36 วัตต์
กำลังไฟฟ้า	120.3 วัตต์	104.1 วัตต์	46.06 วัตต์

### สรุปผล

ชุดหลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ได้ออกแบบขึ้นนี้สำหรับนำไปใช้ทดแทนหลอดไฟแบบเดิมที่มีใช้อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งอายุการใช้งานที่ยาวนานจะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้พลังงานที่น้อยกว่า หลอดไฟแบบเดิมจะช่วยอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย และจากการทดสอบด้านสมรรถนะการส่องสว่างก็ยังสามารถให้แสงสว่างออกมาได้มากกว่าทั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแสงจันทร์ที่พิกัดเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันนี้หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูงได้ถูกพัฒนาสำหรับหลายการประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ในประเทศไทยของเราก็ได้เริ่มมีการสั่งนำเข้ามาภายใต้ราคาที่ย่อมเยาขึ้นแล้ว โครงการวิจัยนี้จึงช่วยให้เป็นการประดิษฐ์เพื่อใช้เองภายในประเทศภายใต้คุณภาพไฟฟ้าที่ได้รับการปรับปรุงอีกด้วย

### 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2551 และขอขอบคุณสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการทดสอบดวงโคม

### เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Brodrick, "Next-generation lighting initiative at the U.S. department of energy: catalyzing science into the marketplace," vol. 3, no. 2, June 2007, pp. 91-97.
- [2] Buildings Energy Data Book (Aug. 2005) [Online]. <http://buildingsdata-book.eren.doe.gov>.
- [3] พิบูลย์ ดิษฐอุดม, "การออกแบบระบบแสงสว่าง," บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2535
- [4] G. Harbers, S. J. Bierhuizen, and M. R. Krames, "Performance of high power light emitting diodes in display illumination applications," Journal of display technology, vol. 3, no. 2, June 2007, pp. 98-109.
- [5] ฉัตรชัย วิเศษบัณฑิตกุล, ฉัตรชัย ศรีจันทร์ดี, ชนชิต มณีสุขเกษม, และชวิษฐ์ ชูมณี, "วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง," ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [6] H. V. D. Broeckl, G. Sauerlander, and M. Wendt, "Power driver topologies and control schemes for LEDs," APEC 2007 - Twenty Second Annual IEEE, pp. 1319-1325.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้