

ระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะ  
ส่วนที่ 1 การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

A Smart Solar Street Lighting Network  
Part 1: Smart Solar Luminaires Design



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

ระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะ  
ส่วนที่ 1 การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

A Smart Solar Street Lighting Network  
Part 1: Smart Solar Luminaires Design



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Smart Solar Street Lighting Network  
Part 1: Smart Solar Luminaires Design



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

ระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะ  
ส่วนที่ 1 การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

A Smart Solar Street Lighting Network  
Part 1: Smart Solar Luminaires Design



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์

ชมภูอินทิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะ ส่วนที่ 1 การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

- |                   |            |
|-------------------|------------|
| 1. นางสาวลลิตภัทร | แก้วเอี่ยม |
| 2. นางสาวศัสยมน   | ภูจอมจิตร  |
| 3. นาย ศุภวิชญ์   | ดิษฐาน     |
| 4. นาย หัสณพงศ์   | เรืองดำ    |



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะ ส่วนที่ 1 การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ A Smart Solar Street Lighting Network Part 1: Smart Solar Luminaires Design

นางสาวลลิตภัทร	เก้าเอี่ยม
นางสาวศัสยมน	ภูจอมจิตร
นายศุภวิชญ์	ดิษฐาน
นายหัสณพงศ์	เรืองดำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์	ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561	

## บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและประกอบสร้างโคมไฟถนนแอลอีดีพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำมาใช้ทดแทนโคมไฟแบบดั้งเดิมซึ่งในปัจจุบันจะติดตั้งเป็นโคมไฟโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางแสงและลดการใช้พลังงาน โดยใช้เทคโนโลยีของชิปแอลอีดีทำงานร่วมกับอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีซึ่งมีเลนส์เป็นตัวช่วยในการกระจายแสงให้กับชิปแอลอีดีและใช้แผงระบายความร้อนลดอุณหภูมิในขณะที่ชิปแอลอีดีทำงาน นำมาสร้างเป็นโคมไฟแอลอีดีที่สามารถทำงานร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ ผลการทดสอบพบว่า โคมไฟแอลอีดีที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง มีกำลังไฟฟ้า 132.9 วัตต์ และมีคุณภาพทางแสงเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งไฟถนนของกรมทางหลวง

# A Smart Solar Street Lighting Network Part 1: Smart Solar Luminaires Design

Miss Lalitphat                      Kaoian  
Miss Satsayamon                  Pujomjit  
Mr. Suphawit                      Disthan  
Mr. Hasanapong                  Ruangdam  
Assistant Professor Dr.Chow Chompoo-Inwai Supervisor  
Year    2018

## ABSTRACT

This project presents design and construct of LED solar luminaire to replace conventional street lights which are high pressure sodium 250 watt. In order to improve quality of light and reduce energy consumption by using LED technology together with LED driver that includes lens to help light distribution of LED chips and using heat sink for reduce temperature while LED chips are working. To create LED luminaire for working together with solar energy system that can store energy in battery. The test result show the created LED luminaire can truly work. It has power 132.9 watt and quality of light according to department of highway standard.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จบรรลุตามเป้าหมายไปได้ด้วยดีและมีความสมบูรณ์ ต้องขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินทไธว ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และทีมงานศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมส่องสว่าง ที่คอยให้คำแนะนำ ปรึกษา ช่วยเหลือและชี้แนะในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ จนมีความครบถ้วนและมีความสมบูรณ์ในที่สุด

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่าน ที่สอนให้วิชาความรู้ ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะแนวทางในเรื่องต่างๆ อันมีส่วนสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ เพื่อใช้เป็นสื่อในการจัดการเรียนรู้ สามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในขั้นตอนต่อไป

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อทุกท่านที่มีความสนใจ และต้องการจะศึกษาหาความรู้ในเรื่องนี้ จึงขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



# สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.2 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า.....	6
2.3 พารามิเตอร์ทางแสงสว่าง .....	7
2.4 โคมไฟฟ้า (Luminaire).....	8
2.5 หลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium Lamp).....	20
2.6 หลอดแอลอีดี (LED).....	22
2.7 อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี (LED Driver).....	25
2.8 การผลิตระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์.....	27
2.9 แผงระบายความร้อน.....	32
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง .....	35
3.1 ภาพรวมของระบบโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ.....	35
3.2 ภาพรวมของการออกแบบส่วน A: การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ (Smart Solar Luminaire).....	36
3.3 การออกแบบโคมไฟแอลอีดี.....	37

## สารบัญ (ต่อ)

3.3.1 ข้อมูลทั่วไปและรูปแบบการติดตั้งคอมไฟถนนที่มีอยู่ในปัจจุบัน.....	37
3.3.2 การออกแบบพิกัด และขนาดของอุปกรณ์ในส่วนคอมไฟฟ้า .....	45
3.4 การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทำงานร่วมกับคอมไฟแอลอีดีที่ออกแบบ .....	60
3.4.1 การเลือกแผงโซลาร์เซลล์ .....	61
3.4.2 การเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จ.....	62
3.4.3 การเลือกอินเวอร์เตอร์.....	62
3.4.4 การเลือกแบตเตอรี่.....	63
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....</b>	<b>65</b>
4.1 การทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้า .....	65
4.2 การทดสอบคุณภาพทางแสง.....	66
4.2.1 การทดสอบเพื่อสร้าง IES file .....	67
4.2.2 การวิเคราะห์ IES file โดยโปรแกรม Dialux.....	70
4.3 การทดสอบอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์ .....	73
4.4 การเปรียบเทียบคอมไฟแบบดั้งเดิมกับคอมไฟแอลอีดี .....	76
4.4.1 การเปรียบเทียบคุณภาพทางไฟฟ้า.....	76
4.4.2 การเปรียบเทียบคุณภาพทางแสง .....	77
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....</b>	<b>79</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
<b>เอกสารอ้างอิง .....</b>	<b>80</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>82</b>
ภาคผนวก ก โพสต์เตอร์งานวิจัย .....	83
ภาคผนวก ข บทความวิชาการ.....	85
ภาคผนวก ค ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง .....	91
ภาคผนวก ง ข้อมูลอุปกรณ์.....	102
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>126</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	ลักษณะของระนาบการกระจายแสงระบบ A- $\alpha$ .....	10
รูปที่ 2.2	ลักษณะของระนาบการกระจายแสงระบบ B- $\beta$ .....	10
รูปที่ 2.3	ลักษณะของระนาบการกระจายแสงระบบ C- $\gamma$ .....	11
รูปที่ 2.4	ระนาบ C 0-180 และ C 90-270.....	11
รูปที่ 2.5	การกระจายความเข้มการส่องสว่างในระนาบ C0-180 และ C90-270.....	11
รูปที่ 2.6	การกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบสมมาตรตามแนวแกนหมุน.....	12
รูปที่ 2.7	การกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบสมมาตรตามแนวแกนระนาบ.....	12
รูปที่ 2.8	ตัวอย่างการกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบไม่สมมาตร.....	13
รูปที่ 2.9	รูปแบบของการสะท้อนแสง.....	14
รูปที่ 2.10	รูปแบบการขึ้นรูปของตัวสะท้อนแสง.....	14
รูปที่ 2.11	รูปแบบของการส่งผ่านแสงผ่านตัวกลาง.....	15
รูปที่ 2.12	รูปแบบของการควบคุมลำแสงโดยเลนส์เฟรสเนล.....	16
รูปที่ 2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมก้ำกับมุมแสงบาดตา.....	17
รูปที่ 2.14	กราฟความสว่างมาตรฐานของโคมไม่มีการกระจายแสงด้านข้าง.....	18
รูปที่ 2.15	กราฟความสว่างมาตรฐานของโคมกระจายแสงด้านข้าง.....	18
รูปที่ 2.16	ระนาบและกราฟกระจายแสงระบบ C- $\gamma$ .....	19
รูปที่ 2.17	กราฟไอโซแคนเดลาที่ใช้คำนวณความส่องสว่างไฟถนน.....	19
รูปที่ 2.18	กราฟไอโซลักซ์สำหรับคำนวณความส่องสว่างไฟถนน.....	20
รูปที่ 2.19	การทำงานของหลอดแอลอีดี.....	22
รูปที่ 3.1	ภาพรวมของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ.....	35
รูปที่ 3.2	ภาพรวมของการออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	36
รูปที่ 3.3	การออกแบบโคมไฟแอลอีดี.....	37
รูปที่ 3.4	ถนนสาย 11 อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง.....	38
รูปที่ 3.5	ถนนสาย 12 อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร.....	38
รูปที่ 3.6	ถนนสาย 21 อำเภอเมือง จังหวัดเลย.....	38
รูปที่ 3.7	ถนนสาย 22 อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี.....	39
รูปที่ 3.8	ถนนสาย 23 อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม.....	39
รูปที่ 3.9	ถนนสาย 24 อำเภอเมืองอุบลราชธานี.....	39
รูปที่ 3.10	ถนนสาย 36 อำเภอเมือง จังหวัดระยอง.....	40
รูปที่ 3.11	ถนนสาย 33 อำเภอเมืองสุพรรณบุรี.....	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.12 ถนนสาย 35 อำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี .....	40
รูปที่ 3.13 ถนนสาย 41 อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง.....	41
รูปที่ 3.14 ถนนสาย 42 อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี .....	41
รูปที่ 3.15 ถนนสาย 44 อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	41
รูปที่ 3.16 LEDIL STRADA-IP-2X6-DWC Lens .....	46
รูปที่ 3.17 High-power LEDs แบบ SMD package.....	47
รูปที่ 3.18 วงจรชิปแอลอีดีที่ออกแบบ.....	53
รูปที่ 3.19 วงจรชิปแอลอีดีต่อ 1 แผงวงจร.....	53
รูปที่ 3.20 ลายพิมพ์บัดกรีของชิปแอลอีดี.....	54
รูปที่ 3.21 ลายพิมพ์วงจรบนแผ่นพิมพ์วงจร.....	54
รูปที่ 3.22 แผ่นพิมพ์วงจรที่ได้หลังการออกแบบ .....	54
รูปที่ 3.23 วงจรชิปแอลอีดีกับอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี .....	55
รูปที่ 3.24 Meanwell ELG-150-C1050B LED Driver.....	56
รูปที่ 3.25 แผงระบายความร้อน .....	58
รูปที่ 3.26 การออกแบบโคมไฟแกนแอลอีดี.....	59
รูปที่ 3.27 โคมไฟแกนแอลอีดี.....	60
รูปที่ 3.28 การออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์.....	60
รูปที่ 3.29 แผงโซลาร์เซลล์.....	62
รูปที่ 3.30 เครื่องควบคุมการชาร์จ MPPT.....	62
รูปที่ 3.31 อินเวอร์เตอร์ Pure Sine Wave .....	62
รูปที่ 3.32 แบตเตอรี่แบบคายประจุมาก .....	63
รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมการทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้า .....	65
รูปที่ 4.2 การทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้า.....	66
รูปที่ 4.3 การทดสอบโคมเพื่อสร้าง IES file .....	67
รูปที่ 4. 4 กราฟการกระจายแสง.....	71
รูปที่ 4.5 แถบสีแสดงความส่องสว่างบนท้องถนน.....	72
รูปที่ 4.6 กราฟไอโซไลน์แสดงความส่องสว่างบนท้องถนน .....	72
รูปที่ 4.7 การทดสอบอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์.....	74
รูปที่ 4.8 กราฟอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์.....	75
รูปที่ 4.9 ลักษณะการกระจายแสงบนท้องถนน.....	77
รูปที่ ค.1 ส่วนประกอบโครงสร้างเสาไฟฟ้าแสงสว่างความสูงไม่เกิน 12 เมตร [19].....	92
รูปที่ ค.2 ระยะช่วงแขน [19].....	94

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ค.3 โคมไฟกิ่งเดี่ยวติดตั้งด้านเดียว [19] .....	95
รูปที่ ค.4 ดวงโคมแบบกิ่งเดี่ยวติดตรงข้าม [19] .....	95
รูปที่ ค.5 ดวงโคมแบบกิ่งเดี่ยวติดสลับ [19] .....	95
รูปที่ ค.6 ดวงโคมแบบกิ่งคู่เกาะกลาง [19] .....	96
รูปที่ ง.1 Datasheet ของ Chip LED (หน้า1) .....	103
รูปที่ ง.2 Datasheet ของ Chip LED (หน้า2) .....	104
รูปที่ ง.3 Datasheet ของ Chip LED (หน้า3) .....	105
รูปที่ ง.4 Datasheet ของ Chip LED (หน้า4) .....	106
รูปที่ ง.5 Datasheet ของ Chip LED (หน้า5) .....	107
รูปที่ ง.6 Datasheet ของ Chip LED (หน้า6) .....	108
รูปที่ ง.7 Datasheet ของ Chip LED (หน้า7) .....	109
รูปที่ ง.8 Datasheet ของ LED Driver (หน้า1) .....	110
รูปที่ ง.9 Datasheet ของ LED Driver (หน้า2) .....	111
รูปที่ ง.10 Datasheet ของ LED Driver (หน้า3) .....	112
รูปที่ ง.11 Datasheet ของ LED Driver (หน้า4) .....	113
รูปที่ ง.12 Datasheet ของ LED Driver (หน้า5) .....	114
รูปที่ ง.13 Datasheet ของ LED Driver (หน้า6) .....	115
รูปที่ ง.14 Datasheet ของ LED Driver (หน้า7) .....	116
รูปที่ ง.15 Datasheet ของ LED Driver (หน้า8) .....	117
รูปที่ ง.16 Datasheet ของ LED Driver (หน้า9) .....	118
รูปที่ ง.17 Datasheet ของ LED Driver (หน้า10) .....	119
รูปที่ ง.18 Datasheet ของ LED Driver (หน้า11) .....	120
รูปที่ ง.19 Datasheet ของ LED Driver (หน้า12) .....	121
รูปที่ ง.20 Datasheet ของ Lens (หน้า1) .....	122
รูปที่ ง.21 Datasheet ของ Lens (หน้า2) .....	123
รูปที่ ง.22 Datasheet ของ Lens (หน้า3) .....	123
รูปที่ ง.23 Datasheet ของ Lens (หน้า4) .....	124
รูปที่ ง.24 Datasheet ของ Lens (หน้า5) .....	125

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ระยะเวลาแผนการดำเนินงาน.....	3
ตารางที่ 2.1	ระดับคุณภาพการจำกัดแสงบาดตาที่ค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม .....	17
ตารางที่ 2.2	ข้อดี และข้อเสียของโซลาร์เซลล์แต่ละประเภท.....	28
ตารางที่ 3.1	กราฟการกระจายแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูงแต่ละผู้ผลิต.....	42
ตารางที่ 3.2	ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ติดตั้งผ่านมาตรฐานไฟถนน .....	44
ตารางที่ 3.3	ผลลัพธ์ของหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ติดตั้งตามมาตรฐานไฟถนน.....	45
ตารางที่ 3.4	ลักษณะของเลนส์.....	46
ตารางที่ 3.5	การเปรียบเทียบราคา ฟลักซ์การส่องสว่าง และกำลังวัตต์ต่อชิป .....	48
ตารางที่ 3.6	ฟลักซ์การส่องสว่างต่อเลนส์ 1 แฉงของแต่ละผู้ผลิต.....	48
ตารางที่ 3.7	ค่าความส่องสว่างต่อเลนส์ 1 แฉง และจำนวนแฉงที่ใช้ .....	49
ตารางที่ 3.8	ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ซ้าย .....	50
ตารางที่ 3.9	ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ขวา .....	51
ตารางที่ 3.10	เปรียบเทียบราคาชิปแอลอีดีที่ใช้ต่อประสิทธิภาพการส่องสว่าง.....	51
ตารางที่ 3.11	เปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อ 1 โคม .....	52
ตารางที่ 3.12	เปรียบเทียบจำนวนปีที่คุ้มทุนที่ราคาต่อชิปซื้อที่ขั้นต่ำ 100 ชิป.....	52
ตารางที่ 3.13	การเปรียบเทียบอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีแต่ละบริษัท.....	56
ตารางที่ 3.14	พิกัดของอุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ .....	63
ตารางที่ 3.15	ชนิดและพิกัดของอุปกรณ์ที่เลือกใช้.....	64
ตารางที่ 4.1	ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโคมไฟแอลอีดี.....	66
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบความเข้มการส่องสว่างในระนาบ C - $\gamma$ .....	67
ตารางที่ 4.3	ผลลัพธ์พารามิเตอร์ทางแสงของโคมไฟแอลอีดี .....	70
ตารางที่ 4.4	ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ซ้าย.....	73
ตารางที่ 4.5	ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ขวา .....	73
ตารางที่ 4.6	อุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์ที่อุณหภูมิห้อง .....	74
ตารางที่ 4.7	เปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อ 1 โคม .....	76
ตารางที่ 4.8	เปรียบเทียบราคาและความคุ้มทุน .....	76
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบคุณภาพทางแสง .....	77
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ซ้าย .....	78
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ขวา.....	78
ตารางที่ ค.1	ระยะห่างกึ่งกลางเสาไฟส่องสว่าง.....	94
ตารางที่ ค.2	รูปแบบการกระจายแสงระนาบตั้ง และพื้นที่ครอบคลุมกำลังส่องสว่างสูงสุด .....	97
ตารางที่ ค.3	รูปแบบการกระจายแสงระนาบตั้ง และข้อกำหนดของระยะห่างมากที่สุดตามทฤษฎี..	97

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ ค.4 ประเภทการส่องสว่างแยกตามลักษณะพื้นที่.....	98
ตารางที่ ค.5 การส่องสว่างต่ำสุดแยกตามประเภททางหลวง.....	100
ตารางที่ ค.6 เกณฑ์สมรรถนะ การส่องสว่างของประเทศไทย .....	100
ตารางที่ ค.7 คุณสมบัติข้อกำหนดมาตรฐานกึ่งกลางทั่วไประบบไฟฟ้าแสงสว่าง .....	101



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฟถนนมีความสำคัญในการเพิ่มทัศนวิสัยในการมองเห็นให้กับผู้ใช้รถที่สัญจรบนท้องถนน และประชาชนที่สัญจรบริเวณทางเท้า รวมถึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและอาชญากรรม ในเวลากลางคืน ทำให้การสัญจรมีความปลอดภัยมากขึ้น

ระบบไฟถนนแบบดั้งเดิมในปัจจุบันมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีคุณภาพทางแสงในการใช้งานต่ำ เช่น แสงสว่างไม่เพียงพอ มีปัญหาแสงจ้าระคายตา (Glare) มีอัตราการตอบสนองสีที่ต่ำ ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการขับขี่และการใช้พื้นที่สาธารณะ และไม่มีระบบการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ทำให้ไม่สามารถที่จะเก็บข้อมูลการใช้งานจริงได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ทำให้การวิเคราะห์การใช้พลังงานไม่สามารถทำได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และครบถ้วน นอกจากนี้ ยังมีการติดตั้งแบบแยกโดด (Standalone) ไม่ได้มีการเชื่อมโยงเครือข่ายและไม่สามารถควบคุมและติดตามสถานะการทำงานได้แบบเวลาจริง ทำให้เมื่อความชำรุดเสียหายเกิดขึ้น ผู้ดูแลรับผิดชอบที่เกี่ยวข้อง อาจจะไม่ทราบหรือทราบข้อเท็จจริงได้ช้า ส่งผลให้ทำการแก้ไขได้ล่าช้าไปด้วย

อีกมุมมองหนึ่งคือ เรื่องค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานของระบบไฟถนนแบบดั้งเดิมนั้นนับได้ว่าสูงมาก โดยทั่วไปจะใช้ต้นทุนพลังงานประมาณ 25-40 เปอร์เซ็นต์ ของค่าใช้จ่ายไฟฟ้าทั้งหมดของพื้นที่นั้นๆ จากผลการศึกษา หากมีการเปลี่ยนระบบไฟถนนแบบดั้งเดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันทั่วทั้งโลก ให้เป็นระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ก็จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้กว่า 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประเทศไทยนั้น เหมาะสมกับการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตพลังงานด้วยแสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก จากข้อมูลของกระทรวงพลังงานที่บอกไว้ว่า ประเทศไทยมีค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศเท่ากับ  $18.0 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$  หรือ  $5.0 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  นั้นเพียงพอที่จะผลิตพลังงานเพื่อจ่ายให้กับระบบไฟถนนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

โครงการนี้มีแนวคิดที่จะออกแบบโคมไฟฟ้าชนิดหลอดแอลอีดี (LED) เพื่อนำมาใช้ทดแทนหลอดแบบดั้งเดิม เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางแสง ซึ่งในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นหลอดไฟฟ้าโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium) ที่มีคุณภาพทางแสงในการใช้งานต่ำ ให้อัตราการตอบสนองสีที่ต่ำ อีกทั้งยังเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก โดยออกแบบให้ทำงานร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นระบบที่สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ เพราะแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีต้นทุน ยังมีการติดตั้งมากเท่าใดก็จะยิ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) วิเคราะห์ และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับหลอดไฟแอลอีดี
- (2) ออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ากำลัง
- (3) สร้างโคมไฟถนนแอลอีดี เพื่อนำมาใช้ทดแทนโคมไฟแบบดั้งเดิม
- (4) ศึกษาการทำงานร่วมกันของโคมไฟถนน กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ออกแบบและสร้างโคมไฟถนนแอลอีดีโดยสามารถรับพลังงานได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ทดแทนโคมไฟแบบดั้งเดิมซึ่งในปัจจุบันจะติดตั้งเป็นโคมไฟโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ ให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง นอกจากนี้ได้ศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของโคมไฟถนนแอลอีดี เช่น ชิปแอลอีดี แอลอีดี อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี และระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อได้โคมไฟถนนแอลอีดีจะนำไปทดสอบคุณสมบัติทางแสง พร้อมปรับปรุงแก้ไข และสร้างเป็น IES file ก่อนนำข้อมูลของโคมไฟไปจำลองในโปรแกรม Dialux โดยทำการจำลองลักษณะรูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนท้องถนนตามมาตรฐานของการติดตั้งไฟถนนทางหลวงสายหลักที่มีช่องจราจร 4 ช่องจราจร โดยติดตั้งโคมไฟแบบกิ่งคู่ที่เกาะกลาง เพื่อศึกษาข้อดี และข้อเสียของโคมไฟถนนแอลอีดีที่ออกแบบเปรียบเทียบกับโคมไฟแบบดั้งเดิม

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- (1) ศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโคมไฟถนนแอลอีดี และระบบพลังงานแสงอาทิตย์
- (2) เลือก และออกแบบวงจรชิปแอลอีดีร่วมกับอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี
- (3) ออกแบบพิกัด และขนาดของอุปกรณ์ในส่วนจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์
- (4) ออกแบบแผงระบายความร้อน และรูปลักษณะภายนอกของโคมไฟถนนแอลอีดี
- (5) จัดเตรียมอุปกรณ์ และเริ่มทำการติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของโคมไฟถนนแอลอีดี
- (6) ทดสอบประสิทธิภาพ ปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดี พร้อมทั้งสร้างไฟล์ IES ของโคมไฟ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ
- (7) ออกแบบการทำงานร่วมกันของโคมไฟถนนแอลอีดี กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์
- (8) บูรณาการงานทุกส่วนที่ออกแบบไว้
- (9) แก้ไข ปรับปรุง ชิ้นงาน
- (10) สรุปผลการทดสอบ นำเสนองานและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานเริ่มด้วยการศึกษารวบรวมข้อมูล ตามด้วยการเลือกอุปกรณ์ และการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบคอมพิวเตอร์และระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาแผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ปี 2561					ปี 2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบคอมพิวเตอร์และระบบพลังงานแสงอาทิตย์	←→									
2. เลือก และออกแบบวงจรชิปแอลอีดีร่วมกับอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี	←→									
3. ออกแบบพิกัด และขนาดของอุปกรณ์ในส่วน of ระบบพลังงานแสงอาทิตย์				←→						
4. ออกแบบแผงระบายความร้อน และรูปลักษณะภายนอกของคอมพิวเตอร์แอลอีดี						←→				
5. จัดเตรียมอุปกรณ์ และเริ่มทำการติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของคอมพิวเตอร์แอลอีดี							←→			

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาแผนการดำเนินงาน (ต่อ)

การดำเนินงาน	ปี 2561					ปี 2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
6. ทดสอบประสิทธิภาพ ปรับปรุงคอมพิวเตอร์ แอลอีดี พร้อมทั้งสร้าง ไฟล์ IES ของคอมพิวเตอร์ และ วิเคราะห์ผลการทดสอบ							↔			
7. ออกแบบการทำงาน ร่วมกันของคอมพิวเตอร์ แอลอีดี กับระบบ พลังงานแสงอาทิตย์							↔			
8. บูรณาการงานสาม ส่วนเข้าด้วยกัน								↔		
9. แก้ไข ปรับปรุง ชิ้นงาน									↔	
10. สรุปผลการทดสอบ นำเสนองานและจัดทำ รูปเล่มวิทยานิพนธ์										↔

### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

(1) ได้คอมพิวเตอร์แอลอีดีที่สามารถใช้งานที่พลังงานต่ำกว่าคอมพิวเตอร์แบบดั้งเดิม รวมทั้งยังมีคุณสมบัติทางแสงที่ดี และมีประสิทธิภาพเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งคอมพิวเตอร์ของกรมทางหลวง

(2) ได้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถช่วยลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ากำลัง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะ(Smart solar street lighting network) เป็นระบบที่มีการออกแบบโคมไฟโดยใช้ชิปแอลอีดีแทนหลอดไฟที่นิยมใช้ในปัจจุบัน และมีการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะอย่างมากมาย ซึ่งสามารถสรุปประเด็นสำคัญในการศึกษาและวิจัยช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้ดังต่อไปนี้

ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำชิปแอลอีดีมาสร้างเป็นโคมไฟถนนแทนหลอดโซเดียมความดันไอสูง เนื่องจากหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้ความส่องสว่างสูง อย่างไรก็ตามหลอดโซเดียมความดันไอสูงยังใช้กำลังไฟฟ้าสูงเช่นเดียวกัน อีกทั้งโคมไฟที่ทำจากชิปแอลอีดีจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สามารถเทียบเท่าหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าและยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า [1], [2] แม้ว่าโคมไฟแอลอีดีจะมีข้อดีมากกว่าประสิทธิภาพการกระจายแสงยังไม่ดีเท่ากับที่ควร จึงต้องทำการใช้ตัวช่วยในการเพิ่มมุมในการกระจายแสงนั้นก็คือ “เลนส์” หากเลือกเลนส์ที่เหมาะสมกับตัวชิปแอลอีดีที่ใช้ จะสามารถสร้างโคมไฟแอลอีดีที่สามารถใช้แทนโคมไฟที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงได้ [3] นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอีกสิ่งหนึ่งที่สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพการส่องสว่างของโคมไฟแอลอีดี นั่นคือการที่มีกระแสที่ไม่คงที่ จะทำให้เกิดความไม่คงที่ของแสงสว่างของโคมไฟ อาจจะทำให้อายุการใช้งานของหลอดไฟนั้นสั้นลง ดังนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมกระแสที่จ่ายให้กับโคมไฟแอลอีดีให้คงที่ ซึ่งก็คืออุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี โดยที่อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามโหมดการทำงาน คือ แรงดันไฟฟ้าคงที่ และกระแสไฟฟ้าคงที่ ในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่จะเป็นที่โหมดใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรม และค่าใช้จ่ายของระบบนี้ยังมีค่าลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานในระบบขนาดใหญ่ ส่วนในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่จะเป็นโหมดที่ใช้ป้องกันการสร้างความเสียหายจากค่ากระแสพีคสูงสุดของชิปแอลอีดี ซึ่งอาจทำให้เกิดความร้อนจนเกิดการเผาไหม้อุปกรณ์ เป็นโหมดที่ง่ายต่อการออกแบบระบบควบคุม และยังช่วยควบคุมชิปแอลอีดีให้มีค่าความส่องสว่างคงที่อีกด้วย [4], [5] ดังนั้นการที่จะแก้ปัญหาความส่องสว่างไม่คงที่ จึงต้องเลือกใช้ อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี ประเภทโหมดการทำงานแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ และในปัจจุบันเริ่มมีการนำพลังงานทางเลือกนั้นมาใช้ร่วมกับการติดตั้งระบบไฟถนนโดยใช้พลังงานโซลาร์เซลล์ซึ่งทำให้โคมไฟถนนมีความส่องสว่างที่ดีกว่าและมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงน้อยกว่าการใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ากำลัง [6], [7] นอกจากนี้เริ่มมีการทำโซลาร์เซลล์โดยใช้เทคโนโลยีนาโนวัสดุซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานมากกว่าแบบดั้งเดิม [8] ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากการแปลงของระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกกักเก็บในแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ จะทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงและอุณหภูมิการมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ สม่่าเสมอเพื่อประจุให้กับแบตเตอรี่และควบคุมการชาร์จไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงโซลาร์เซลล์ มาจัดเก็บใน แบตเตอรี่อย่างเหมาะสมข้อจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมี ขนาดที่ต่ำจะไม่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ เมฆ ฝุ่นละออง ต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเอาท์พุท (I-V,P-V Characteristics) ของโซลาร์เซลล์ ทำให้ขาดประสิทธิภาพในการดึงพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ได้เต็มที่ [9] ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีในการเพิ่มการเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ให้มากยิ่งขึ้นโดยวิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวในแผ่นธาตุลบจากการใช้วัสดุกระตุ้นของ XE500-02 [10] จึงทำให้การพัฒนาระบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์มีความเสถียรและเริ่มมีความนิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน

## 2.2 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

(1) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) หมายถึง งานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุผ่านอุปกรณ์ทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (Joule/Coulomb) หรือ Volt ในการใช้งานจริงจะพิจารณาให้อยู่ในรูปแรงดันประสิทธิผล (Vrms)

(2) กระแสไฟฟ้า(Current) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา (Coulomb/Second) หรือ Ampere ในการใช้งานจริงจะพิจารณาให้อยู่ในรูปกระแสประสิทธิผล (Irms)

(3) กำลังไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

- กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S) คือ ขนาดของผลรวมระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) หรือผลคูณระหว่างแรงดันประสิทธิผล และกระแสประสิทธิผล มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA)

- กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power: P) คือ พลังงาน (Joule) ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายประจุ (Coulomb) ผ่านอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

- กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power: Q) คือ พลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเป็นกำลังไฟฟ้า ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ผ่านช่องว่างอากาศของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction motor) เป็นต้น มีหน่วยเป็น โวลต์แอมป์รีแอกทีฟ (Var)

โดยกำลังไฟฟ้าทั้งหมดนี้สามารถคำนวณได้จาก

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.1)$$

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms} \cos\theta \quad (2.2)$$

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \sin\theta \quad (2.3)$$

(4) ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจริงกับค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ

$$\text{Power Factor (PF)} = \frac{P}{S} \quad (2.4)$$

(5) พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในช่วงระยะเวลาหนึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ชั่วโมง (Wh) โดยที่ 1 kWh มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยพลังงานหรือเท่ากับ 3.6 MJ

$$1 \text{ kWh} = [3600\text{s}] \cdot \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] = 3600\text{kJ} = 3.6 \text{ MJ} \quad (2.5)$$

(6) ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าขาออก ( $P_{\text{out}}$ ) กับค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า ( $P_{\text{in}}$ )

$$\% \text{Eff} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

### 2.3 พารามิเตอร์ทางแสงสว่าง

(1) ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux:  $\Phi$ ) เป็นพารามิเตอร์ทางแสงทั้งหมดที่ส่องออกจากแหล่งกำเนิดแสง เช่น หลอดไฟ มีหน่วยเป็นลูเมน (lumen; lm)

(2) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity: I) เป็นความเข้มของแสงสว่างที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง มักใช้แสดงความเข้มของแสงที่มุมต่างๆ ของโคมไฟ มีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela; cd)

(3) ความส่องสว่าง (Illuminance: E) เป็นพารามิเตอร์ทางแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวต่อพื้นที่ อาจเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting Illuminance level) เพื่อบอกว่าพื้นที่นั้นๆ ได้รับแสงสว่างมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์ (Lux; lx)

$$E = \frac{\Phi}{A^2} \quad (2.7)$$

(4) ความสว่าง (Luminance: L) คือ พารามิเตอร์ทางแสงสะท้อนออกมาจากพื้นผิวใดๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อพื้นที่ หรือเรียกว่า ความจ้า (Brightness) ซึ่งพารามิเตอร์ทางแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงบนวัตถุที่มีสีต่างกัน จะมีพารามิเตอร์ทางแสงสะท้อนกลับต่างกัน ทำให้เห็นวัตถุมีความสว่างต่างกัน เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุต่างกัน มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) นิยมใช้ค่าความสว่างในการออกแบบไฟถนน เพื่อให้เกิดความปลอดภัย และออกแบบแสงสว่างของห้องที่มีการใช้จอคอมพิวเตอร์ เพื่อลดแสงบาดตา

(5) อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) เป็นการระบุสีของแสงที่ปรากฏให้เห็น โดยเทียบกับสีที่เกิดจากการเปล่งสีของการเผาไหม้วัตถุดำอุดมคติ (Black body) ให้ร้อนที่อุณหภูมิที่กำหนด มีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin: K) เช่น แสงจากหลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนต์มีอุณหภูมิสี 2,700 K มีอุณหภูมิต่ำ แสงที่ได้จะอยู่ในโทนสีร้อน (สีแดง) ส่วนแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาเที่ยงวันที่ให้แสงสีขาวนั้นมีอุณหภูมิสีประมาณ 5,500 K หรือแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดสี่เตียไรต์ (Daylight) ที่มีอุณหภูมิสี 5,500 K สามารถเปล่งแสงออกมาเป็นสีขาว เป็นต้น

อุณหภูมิสีของแสงจะแตกต่างจากอุณหภูมิความร้อน กล่าวคือ หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีต่ำจะให้โทนสีอุ่น (Warm white) ส่วนหลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีสูงจะให้โทนสีเย็น (Cool white/ Daylight) ซึ่งจะตรงข้ามกับอุณหภูมิความร้อน การเลือกใช้แสงที่มีอุณหภูมิสีต่างกันจะทำให้ได้บรรยากาศที่แตกต่างกัน

(6) ดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index: CRI or Ra) เป็นค่าที่บอกว่าแสงที่ส่องไปถูกวัตถุ ทำให้เห็นสีของวัตถุได้ถูกต้องมาก หรือน้อยเพียงใด ค่าดัชนีนี้ไม่มีหน่วย มีค่าตั้งแต่ 0–100 โดยกำหนดแสงอาทิตย์ช่วงกลางวันเป็นดัชนีอ้างอิงเปรียบเทียบกับที่มีค่า Ra = 100 ดังนั้นหากหลอดไฟที่มีค่า Ra ต่ำจะทำให้สีของวัตถุเพี้ยน

(7) ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity of Illumination:  $U_0$ ) ค่าความสม่ำเสมอของความสว่างมีความจำเป็นสำหรับการมองเห็นและเกี่ยวกับ Visual Comfort (ความสบายตาในการมองเห็น) ของคนขับรถซึ่ง Uniformity Ratio (สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ) เป็นค่าของสัดส่วนระหว่างค่าความสว่างต่ำที่สุดกับค่าความสว่างโดยเฉลี่ยสำหรับค่า Uniformity Ratio โดยสำหรับงานแสงสว่างถนนควรไม่น้อยกว่า 1: 2.5

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{\text{avg}}} \quad (2.8)$$

(8) ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ ) คือค่าอัตราส่วนของความส่องสว่างต่ำสุดหารด้วยความส่องสว่างสูงสุด ตามแนวขนานกับถนน

(9) อัตราส่วนแสงจากโคม (Light Output Ratio: L.O.R) เป็นอัตราส่วนพารามิเตอร์ทางแสงที่ออกจากโคมต่อพารามิเตอร์ทางแสงที่ออกจากตัวหลอด ถ้าอัตราส่วนแสงจากโคมมีค่ามาก หมายถึงพารามิเตอร์ทางแสงออกจากตัวโคมมีมาก ประสิทธิภาพของโคมในการสะท้อนแสงออกมาดี

(10) ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy) เป็นอัตราส่วนระหว่าง ฟลักซ์การส่องสว่าง (พารามิเตอร์ทางแสง) กับกำลังงานที่ทำให้เกิดฟลักซ์การส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (lm/w)

(11) อัตราส่วนโดยรอบ (Surround Ratio, SR) เป็นการคำนึงวัตถุที่เกี่ยวข้องซึ่งอยู่โดยรอบ โดยคำนวณจากอัตราส่วนความสว่างโดยรอบหารด้วยความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาทางวิ่งเดียวกัน

(12) ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (TI) หมายถึง ขนาดของความสูญเสียทัศนวิสัย เนื่องจากความจ้าตาแบบเสียความสามารถจากโคมไฟถนน

## 2.4 โคมไฟฟ้า (Luminaire)

หลอดไฟมีหน้าที่ให้ความสว่างแต่ส่วนใหญ่การให้ความสว่างรอบตัวหลอดเองคือ ไม่มีทิศทางการส่องสว่างที่แน่นอน ยกเว้นหลอดประเภทที่มีตัวสะท้อนแสงภายในตัวเอง หลอดที่ให้แสงสว่างรอบตัวมีประสิทธิภาพการใช้งานต่ำเพราะมีแสงออกรอบทิศแทนที่จะส่องไปในบริเวณที่ต้องการ ดังนั้นการผลิตโคมไฟมาเพื่อใช้กับหลอดไฟเพื่อบังคับให้แสงส่องไปในทิศทางที่ต้องการ ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดไฟสูงมากขึ้น โคมภายนอกควรสามารถกันน้ำได้ และมีความปลอดภัยต่อการสัมผัส ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงประเภทโคมไฟงานไฟฟ้าแสงสว่างถนน โคมไฟถนนจะใช้ภายนอกอาคารบริเวณถนนที่ต้องการความสว่างของแสง ซึ่งมีให้เลือกทั้งแบบที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) หรือ แบบที่ใช้กับหลอดคายประจุ ความเข้มสูง (high intensity discharge: HID) ซึ่งมักจะเป็นหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ หรือโซเดียมความดันไอสูง การติดตั้งจะต้องติดตั้งบนเสาไฟฟ้า หรือไม้ก็ต้องมีเสาไฟถนนเฉพาะโคมไฟถนน ซึ่งการใช้งานภายนอกอาคารโคมไฟถนนจึงต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำเข้าภายในโคมไฟ

**2.4.1 คุณสมบัติการกระจายแสง (Light Distribution) คุณสมบัติการกระจายแสงของโคมไฟแบ่งได้ใน 4 ลักษณะ คือ**

**2.4.1.1 การกระจายแสงแบบ Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงอย่างสมบูรณ์ ยอมให้มีแสงกระจายขึ้นเล็กน้อย ให้แสงกระจายเหนือโคมบ้างเล็กน้อย เหมาะสำหรับการติดตั้งในถนนที่การจราจรใช้ความเร็วสูง เช่น ทางด่วน ทางพิเศษระหว่างเมือง เป็นต้น**

**2.4.1.2 การกระจายแสงแบบ Semi Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงกึ่งสมบูรณ์ ลำแสงหลักของโคมไม่เปลี่ยนทิศทาง ให้แสงกระจายเหนือโคมไฟปานกลาง เหมาะสำหรับถนนที่มีพื้นที่สองข้างทางเป็นชุมชน และมีแสงจากสภาพแวดล้อมค่อนข้างมาก**

**2.4.1.3 การกระจายแสงแบบ Non Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่ไม่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงเปลี่ยนทิศทางลำแสงหลักของโคมไฟให้แสงฟุ้งกระจายเหนือโคมไฟมาก ก่อมลภาวะทางแสง (Sky Glow) ไม่เหมาะสมที่จะติดตั้งบนทางหลวง ใช้ได้กับถนนซอยขนาดเล็ก**

**2.4.1.4 การกระจายแสงแบบ Full Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่มีแนวการควบคุมแนวส่องลำแสงสมบูรณ์ ไม่ยอมให้แสงกระจายขึ้นด้านบน ไม่เปลี่ยนทิศทาง เหมาะสำหรับการติดตั้งในระหว่างเมือง เป็นต้น**

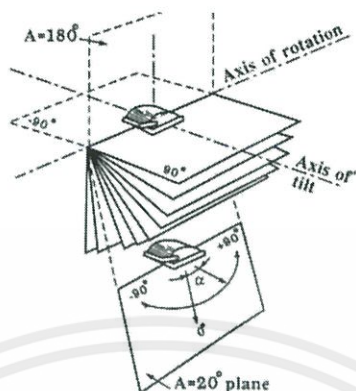
**2.4.2 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคมไฟ (Coefficient of utilization: CU) เป็นอัตราส่วนระหว่าง ฟลักซ์แสงสว่างบนพื้นงานต่อฟลักซ์แสงสว่างที่ออกมาจากโคมไฟ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟ ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนแสงของพื้น ผนัง และเพดาน**

**2.4.3 ระนาบการกระจายแสงของโคมไฟ (Plane of light distribution) เป็นแผนรูปที่แสดงการกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคมไฟ แต่ละแผนรูปมีลักษณะคล้ายกับหน้าหนังสือ โดยแต่ละหน้าก็คือระนาบที่มีมุมต่าง ๆ กัน ระนาบการกระจายแสงแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ตามการกำหนดจุดหมุน (axis of rotation) ของระนาบ ดังนี้**

#### **2.4.3.1 ระนาบการกระจายแสงระบบ A- $\alpha$**

กำหนดจุดหมุนตามแนวเส้นที่ลากจากด้านหน้ากับด้านหลังโคมไฟ ระนาบเริ่มที่มุม  $0^\circ$  เรียก  $A=0^\circ$  จนกระทั่งถึงมุม  $180^\circ$  เรียก  $A=180^\circ$  ส่วนอีกด้านจะเป็นระนาบ  $A=0^\circ$  ถึง  $A=-180^\circ$

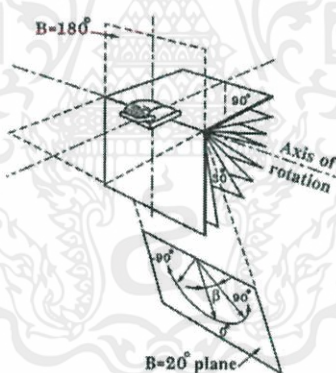
ในทุกระนาบจะมีกราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง เริ่มจาก  $0^\circ$  เรียกว่า  $\alpha=0^\circ$  ถึงมุม  $90^\circ$  เรียกว่า  $\alpha=90^\circ$  ส่วนอีกด้านของระนาบเดียวกันจะเป็น  $\alpha=0^\circ$  ถึง  $\alpha=-90^\circ$  ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของระนาบการกระจายแสงระบบ A- $\alpha$  [11]

#### 2.4.3.2 ระนาบการกระจายแสงระบบ B- $\beta$

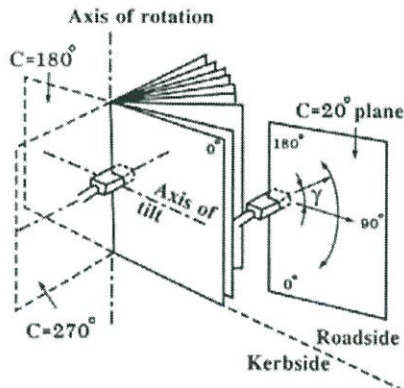
ระบบนี้ระนาบเริ่มที่  $B=0^\circ$  ถึง  $B=180^\circ$  และ  $B=0^\circ$  ถึง  $B=-180^\circ$  ในแต่ละระนาบจะมีกราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่างจาก  $\beta=0^\circ$  ถึง  $\beta=90^\circ$  และ  $\beta=0^\circ$  ถึง  $\beta=-90^\circ$  ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของระนาบการกระจายแสงระบบ B- $\beta$  [11]

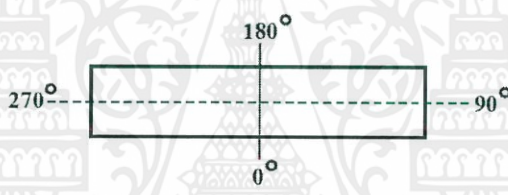
#### 2.4.3.3 ระนาบการกระจายแสงระบบ C- $\gamma$

ระบบนี้ระนาบเริ่มที่  $C=0^\circ$  ถึง  $C=360^\circ$  ซึ่งก็คือ  $C=0^\circ$  ในแต่ละระนาบจะมีกราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง เริ่มจาก  $\gamma=0^\circ$  ถึง  $\gamma=90^\circ$  และ  $\gamma=0^\circ$  ถึง  $\gamma=-90^\circ$  ดังรูปที่ 2.3



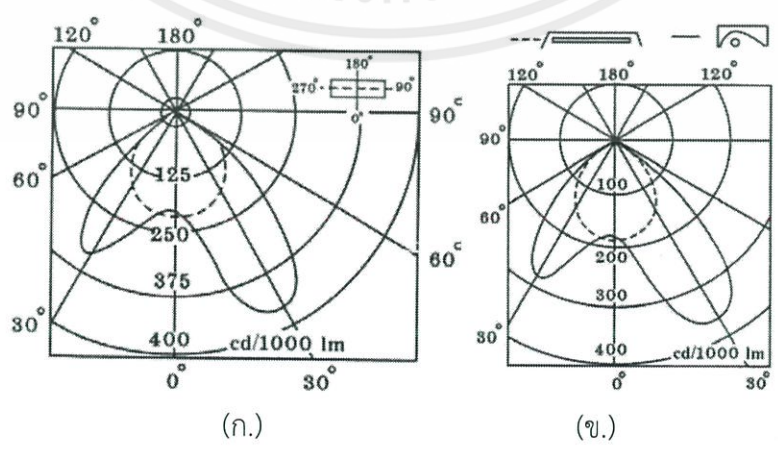
รูปที่ 2.3 ลักษณะของระนาบการกระจายแสงระบบ C-Y [11]

ระนาบที่ถูกนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบระบบส่องสว่างมากที่สุดก็คือ ระนาบ C- $\gamma$  มี 2 ระนาบ ที่มักนำมาพิจารณาการกระจายแสงคือ C0-180 มี 2 ระนาบต่อกันคือ C=0° กับ C = 180° ขวางกับแนวยาวของโคมไฟ C90-270 มี 2 ระนาบต่อกันคือ C = 90° กับ C=270° ขนานกับแนวยาวของโคมไฟ ดังรูปที่ 2.4 เมื่อมองจากด้านบนลงไปจะเห็นเส้นของทั้ง 2 ระนาบเป็นเส้นตั้งฉากกัน



รูปที่ 2.4 ระนาบ C 0-180 และ C 90-270 [11]

กราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง มักมี 2 เส้นซ้อนกันอยู่ในพิกัดเดียวกัน เส้นเต็มเป็นการกระจายแสงของราบ C0-180 ส่วนเส้นประเป็นระนาบ C90-270 ตัวอย่างของ โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกระจายแสงแบบสมดุลงในระนาบ C90-270 และกระจายแสงแบบไม่สมดุลงในระนาบ C0-180 จะมีการบอกสัญลักษณ์ของระนาบไว้บนของกราฟดังรูปที่ 2.5 ก. และ ข.



รูปที่ 2.5 การกระจายความเข้มการส่องสว่างในระนาบ C0-180 และ C90-270 [11]

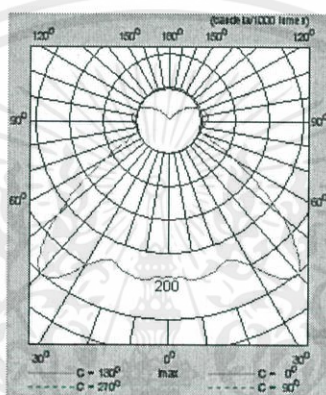
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4 กราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง

กราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง จะพิจารณาที่ระนาบหนึ่ง ๆ โดยทั่วไป คือระนาบ C ลักษณะการกระจายแสงจะมี 3 แบบตามลักษณะความสมมูลของความเข้มการกระจายแสงในแต่ละระนาบ

##### 2.4.4.1 กระจายแบบสมมาตรตามแนวแกนหมุน

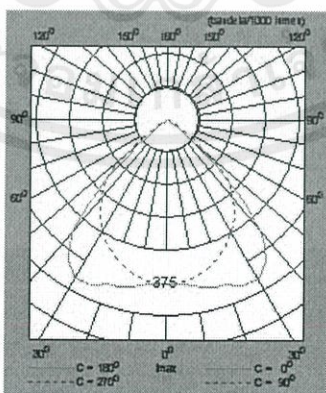
กระจายแบบสมมาตรตามแนวแกนหมุน (rotational symmetry) การกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคมไพไนต์นี้ จะสมมูลกันทุกระนาบ (เส้นกราฟทั้ง 2 ระนาบจะทับกันดูเป็นเส้นเดียว) เนื่องจากโคมมีลักษณะทรงกลม ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบสมมาตรตามแนวแกนหมุน [11]

##### 2.4.4.2 กระจายแบบสมมาตรตามแนวแกนระนาบ

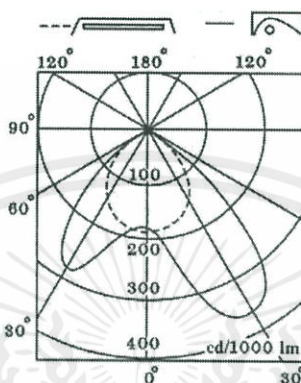
การกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบสมมาตรตามแนวแกนระนาบ (plane symmetry) ของโคมไพไนต์นี้ จะสมมูลกันในระนาบหนึ่ง ๆ เท่านั้น ถ้าต่างระนาบกันการกระจายแสงจะไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบสมมาตรตามแนวแกนระนาบ [11]

### 2.4.4.3 กระจายแบบไม่สมมาตร

กระจายแบบไม่สมมาตรตามแนวแกนระนาบ (asymmetry) การกระจายความเข้มการส่องสว่างของโคมไฟชนิดนี้ ในบางระนาบการกระจายความเข้มการส่องสว่างจะไม่สมมูลกัน ดังรูปที่ 2.8 ระนาบ C0-180 การกระจายจะเป็นแบบสมมูล ส่วนระนาบ C90-270 การกระจายจะเป็นแบบไม่สมมูล



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการกระจายความเข้มการส่องสว่างแบบไม่สมมาตร [11]

วิธีการอ่านค่าความเข้มการส่องสว่าง จากกราฟ การกระจายแสงจะบอกค่าเป็นแคนเดลาต่อกิโลลูเมน เช่น ที่ 30° มีความเข้มแสง 360 cd/klm ถ้าหลอดมีปริมาณแสง 2,600 lm จะมีความเข้มการส่องสว่าง  $360 \text{ cd/klm} \times 2.6 \text{ klm} = 936 \text{ cd}$  เป็นต้น

### 2.4.5 การควบคุมแสง

การควบคุมแสง (light control) เป็นวิธีการออกแบบโคมหรือส่วนของงานสถาปัตยกรรมภายนอกเพื่อบังคับแสงที่ออกจากตัวหลอดมีทิศทางต่าง ๆ เพื่อกำหนดรูปแบบของลำแสงที่จะส่องไปยังชิ้นงาน การควบคุมแสงมีวัตถุประสงค์สองประการ คือ ส่องแสง (direct light) ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ และกำบังแสง (block light) ไม่ให้ส่องไปยังตำแหน่งที่ไม่ต้องการ เช่น กำบังไม่ให้เกิดแสงบาดตา เป็นต้น การควบคุมแสงที่ครบถ้วนควรมีการควบคุมทั้ง 3 ด้าน คือ การสะท้อน (reflection) การส่องผ่าน (transmission) และการหักเหของแสง (refraction) ดังนี้

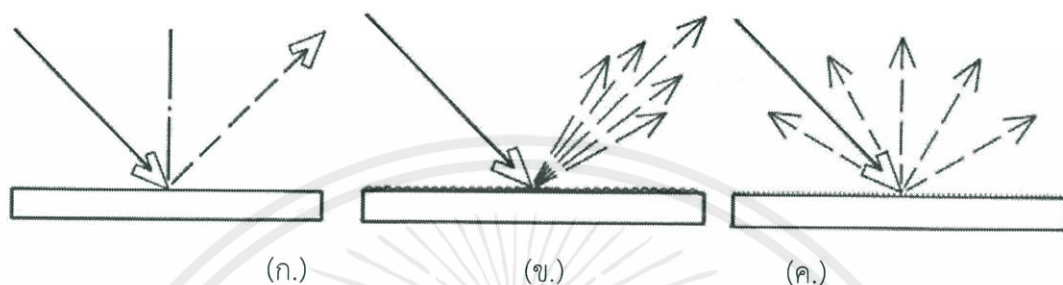
**2.4.5.1 การสะท้อน** อาศัยวัสดุที่ทำหน้าที่สะท้อนลำแสง เรียกว่าตัวสะท้อนแสง (reflector) รูปแบบการสะท้อนแสงมี 3 รูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นผิวของตัวสะท้อนแสง ดังนี้

- การสะท้อนโดยตรง (Specular Reflection) โดยอาศัยวัสดุผิวเรียบ หรือผิวมันวาว เช่น กระจก เป็นต้น การสะท้อนกับมุมตกกระทบจะมีค่าเท่ากันและลำแสงไม่แตกกระจาย ดังในรูป 2.9 ก.

- การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย (Semi-specular (spread) Reflection) โดยอาศัยวัสดุผิวที่ทำให้ขรุขระด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น ทุบด้วยค้อน การขีด การกะเทาะ เป็นต้น เพื่อให้การ

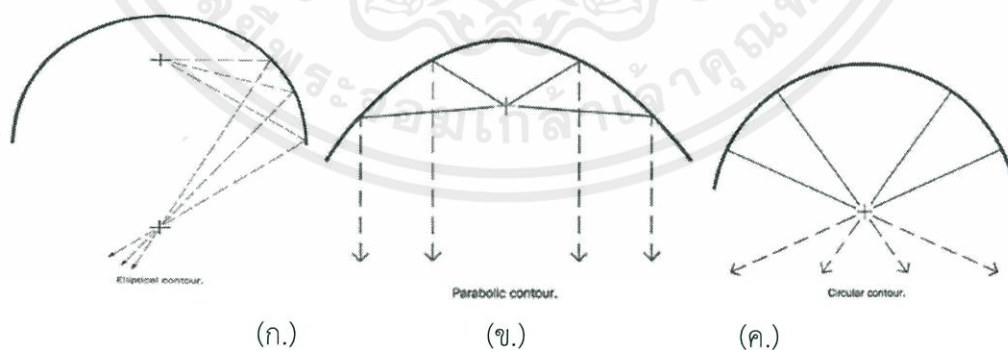
สะท้อนกระจายแสงออก (spread) โดยมีมุมสะท้อนไม่ต่างจากเดิมแต่จะทำให้แสงนุ่มนวลขึ้น ดังในรูป 2.9 ข.

• การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) โดยอาศัยวัสดุผิวด้านหรือหยาบ สะท้อนแสงที่ตกกระทบออกไปทุกทิศทางจึงทำให้ได้ลำแสงแบบกว้าง (wide distribution) ดังในรูป 2.9 ค.



รูปที่ 2.9 รูปแบบของการสะท้อนแสง [11]

การขึ้นรูปของตัวสะท้อนแสง (reflector contours) ในโคมไฟฟ้ามักมีรูปแบบพื้นฐานอยู่ 3 แบบ คือ แบบวงรี (elliptical contour) (รูปที่ 2.10 ก.) แบบนี้จะให้ลำแสงแคบ เช่น โคมไฟแบบไฟส่องลง เป็นต้น แบบพาราโบลา (parabolic contour) (รูปที่ 2.10 ข.) แบบนี้จะจัดลำแสงให้ขนานกันส่องออกจากโคมไฟ ขนาดของลำแสงจะเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวสะท้อนแสง ซึ่งเป็นหลักการของหลอดรหัส R (reflector lamp) ชนิดต่าง ๆ และแบบวงกลม (circular contour) (รูปที่ 2.10 ค.) ตัวกระจายแสงจะสะท้อนแสงกลับมายังจุดกำเนิดแสงและกระจายแสงออกแบบลำแสงกว้าง นอกจากนี้ยังมีอีกแบบให้มีลักษณะผสมผสาน (compound contour) เพื่อให้ได้ลำแสงหลายรูปแบบตามต้องการ



รูปที่ 2.10 รูปแบบการขึ้นรูปของตัวสะท้อนแสง [11]

2.4.5.2 การส่งผ่าน เป็นรูปแบบของแสงขณะผ่านตัวกลางเช่นเลนส์ (lens) หรือตัวกรองแสงของโคม ทำให้เกิดรูปแบบการส่งผ่านของแสง 3 แบบ

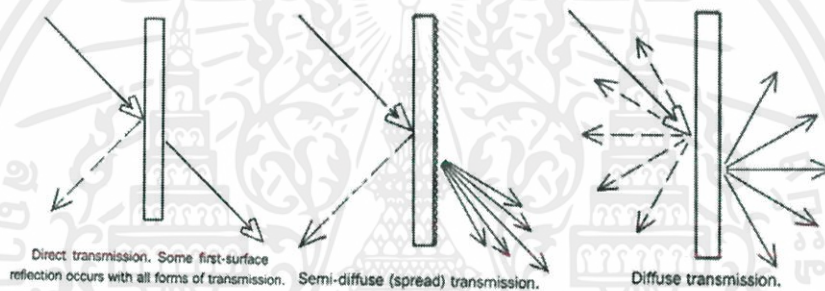
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การส่งผ่านโดยตรง (Direct Transmission) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงส่งผ่านวัสดุโปร่งแสง (transparent material) เพื่อการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต สะท้อนรังสีความร้อนหรือปรับปรุงเรื่องแสงสี เป็นต้น

- การส่งผ่านแบบกึ่งกระจาย (Semi-diffuse (spread) Transmission) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงส่งผ่านวัสดุโปร่งใส (translucent material) ซึ่งมีผิวหน้าขรุขระจากวิธีต่าง ๆ เช่น ใช้กรดกัด ทำให้กะเทาะด้วยทรายขัด เป็นต้น แสงจะถูกกระจายออกด้วยมุมที่กว้างขึ้น การกระทำเช่นนี้ จะช่วยกับังตัวหลอดที่มีแสงจ้าและป้องกันการเกิดแสงบาดตาได้

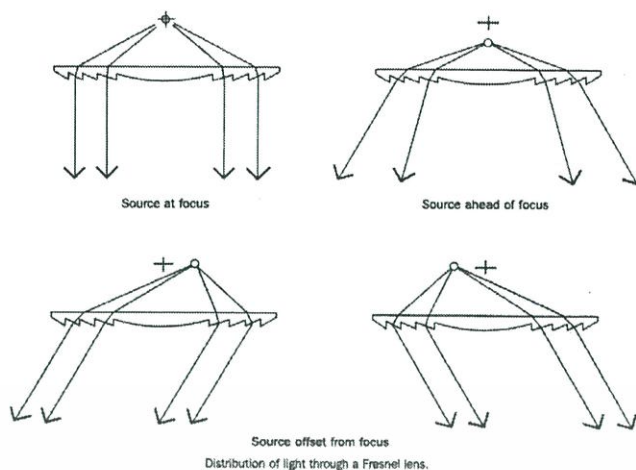
- การส่งผ่านแบบกระจาย (Diffuse Transmission) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงส่งผ่านวัสดุที่เป็นส่วนผสมอนุภาคขนาดเล็กกระหว่างแก้วโอปอล (opal glasses) กับพลาสติก ซึ่งสามารถกระจายแสงออกได้ในทุกทิศทาง

การส่งผ่านแสงทั้ง 3 รูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปแบบของการส่งผ่านแสงผ่านตัวกลาง [11]

2.4.5.3 การหักเห ความเข้าใจในหลักการ การหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลาง เช่น ปริซึม (prism) หรือ เลนส์ (lens) สามารถนำมาเป็นรูปแบบในการควบคุมทิศทางของแสงได้ ดังในรูปที่ 2.12 เป็นการควบคุมแสงโดยอาศัยเลนส์แบบเฟรสเนล (fresnel lens) ซึ่งรวมเอาหลักการของเลนส์และปริซึมไว้ด้วยกัน สามารถควบคุมให้ลำแสงเป็นแบบเข้มข้น (concentrate beam) และส่องออกมาเป็นจุดได้ ทำให้เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง หรือทำให้เป็นแบบกระจายได้



รูปที่ 2.12 รูปแบบของการควบคุมลำแสงโดยเลนส์เฟรสเนล [11]

#### 2.4.6 แสงบาดตา

แสงบาดตา หรือแสงจ้า (Glare) เป็นแสงที่ทำให้ผู้มองเกิดความไม่สะดวกสบายในการมองเห็นหรือมองเห็นวัตถุได้ยากหรือไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้อย่างสิ้นเชิง ดังนั้น ในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ผู้ออกแบบจะต้องพยายามออกแบบให้แสงบาดตาเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด โดยทั่วไปแล้วแสงบาดตา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

##### 2.4.6.1 แสงบาดตาโดยตรง เป็นแสงบาดตาที่เกิดขึ้นทั่วไป โดยเกิดจากการจัดวาง

ตำแหน่งโคมไฟไม่เหมาะสม ซึ่งแสงบาดตาโดยตรงยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

- แสงบาดตาที่ไม่สามารถมองเห็นได้ คือ แสงบาดตามากจนกระทั่งไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้อย่างสิ้นเชิง หรือสูญเสียรูปการมองเห็น

- แสงบาดตาแบบไม่สบายตา คือ เกิดแสงบาดตาขึ้นแต่ยังสามารถมองเห็นวัตถุได้แต่มองเห็นด้วยความยากลำบาก

##### 2.4.6.2 แสงบาดตาสะท้อน เป็นแสงบาดตาที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นผิวใน

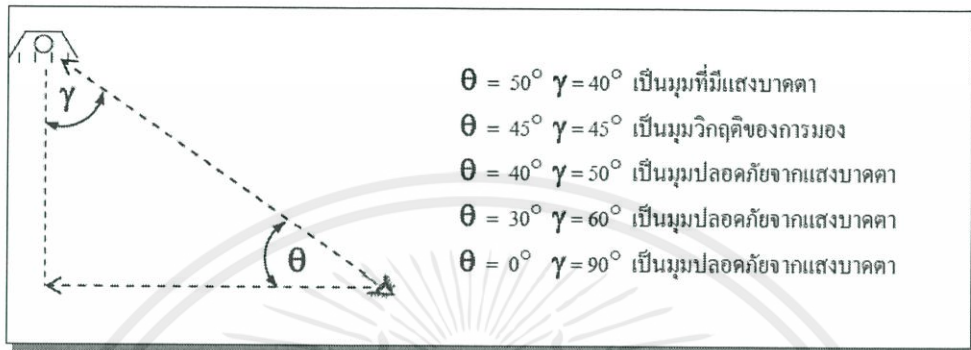
บริเวณทำงานกับแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆในบริเวณทำงาน หรือแสงธรรมชาติ แสงบาดตาชนิดนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงเนื่องจากเกิดความล้าในการมองเห็น

การที่มีแสงส่องเข้าตาขณะใช้งาน อาจเกิดจากการแหงนหน้ามากเกินไปและมองไปยังโคมไฟโดยบังเอิญ หรือการที่โคมไฟมีตัวกรองแสงที่ไม่สามารถป้องกันแสงเข้าตาได้เมื่อเงยหน้าขึ้นในระดับปกติ กรณีหลังนี้จัดว่าเป็นปัญหาในการออกแบบ และการเลือกใช้โคมไฟ โดยทั่วไปโคมไฟที่ได้มาตรฐานจะต้องไม่เกิดแสงบาดตาที่มุมเงยน้อยกว่า 45 องศา คือถ้าแหงนหน้าไม่เกิน 45 องศา โคมไฟที่ดีจะไม่ควรมีแสงบาดตา แต่หากแหงนหน้ามากกว่านั้นการที่มีแสงบาดตาถือว่าเป็นเรื่องปกติในที่นี้มีมุมที่เกี่ยวข้อง 2 มุมคือ

- มุมกำบัง (shielding angle,  $\theta$ ) คือ มุมที่เราเงยหน้ามองโคมไฟ นับจากแนวระดับสายตาจนถึง 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● มุมแสงบาดตา (glare angle,  $\gamma$ ) คือมุมกระจายแสงของโคมไฟที่วัดจากจุดใต้โคมไฟไปยังแนวสายตาที่มองมายังโคมไฟ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศา หากมีการเงยหน้ามองมายังโคมไฟในเขตของมุมนี้แล้วมีแสงบาดตาถือเป็นเรื่องปกติ แต่มุมที่มีขนาดมากกว่า 45 องศา จะเป็นเขตที่ไม่ควรมีแสงบาดตา เนื่องจากมุมแสงบาดตาและมุมก้ำบังแสงอยู่ในสามเหลี่ยมมุมฉาก ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมก้ำบังกับมุมแสงบาดตา [11]

จากรูปที่ 2.13 ที่มุม  $\gamma$  มากกว่า 45 องศา ควรปลอดภัยจากแสงบาดตา หมายความว่าค่าความเข้มของการส่องสว่างควรมีค่าน้อยลงหรือมีค่าสัมพันธ์กับมุมที่มากขึ้น เพื่อไม่ให้ความเข้มการส่องสว่างที่กระจายออกมาทำให้ตาพร่าได้ มีหลักการพิจารณาค่าของแสงที่เหมาะสม ดังต่อไปนี้

1) กำหนดคุณภาพการจำกัดแสงบาดตา ระดับคุณภาพที่ดีที่สุดคือ A มีพิกัดแกลร์ (G) 1.15 พร้อมทั้งระบุค่าความส่องสว่างที่ต้องการตามตารางที่ 2.1 จะได้เส้นกราฟความสว่าง a - h ที่อยู่ใต้ตาราง โดยกราฟนี้จะใช้เป็นฐานเปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างที่คำนวณได้

ตารางที่ 2.1 ระดับคุณภาพการจำกัดแสงบาดตากับค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม

Quality Class	G	Valid for Service Illuminance E (Lux)							
		a	b	c	d	e	f	g	h
A	1.15	2000	1000	500	$\leq 300$				
B	1.5		2000	1000	500	$\leq 300$			
C	1.85			2000	1000	500	$\leq 300$		
D	2.2				2000	1000	500	$\leq 300$	
E	2.55					2000	1000	500	$\leq 300$

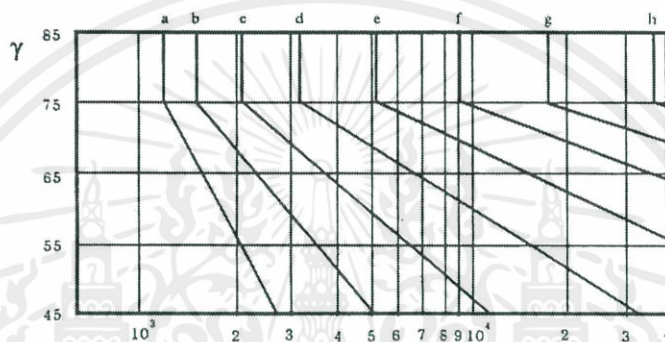
หมายเหตุ : ผลของแกลร์จะเริ่มจากค่าต่ำสุดคือ 0 จะไม่มีผลใด ๆ ส่วนที่ระดับ 5 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด จะมีผลเริ่มทำให้รำคาญและไม่อาจทนได้

2) กำหนดค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน เช่น ความส่องสว่างสำหรับห้องทำงานควรเป็น 500 lx

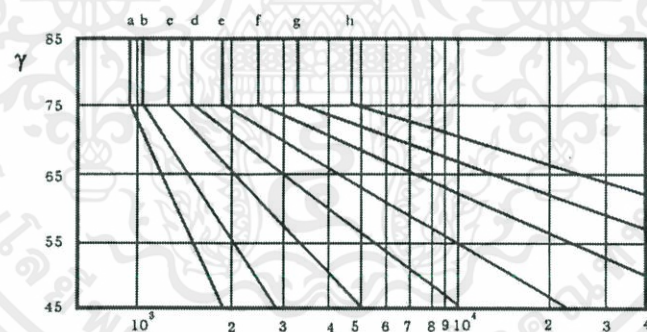
3) เลือกกราฟความสว่างที่ใช้พิจารณาให้ถูกต้องกับโคมไฟ 2 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 เป็นโคมที่ไม่กระจายแสงออกด้านข้าง เช่น ดาวนไลท์ หรือเป็นโคมไฟที่กระจายแสงออกด้านข้าง เช่น โคมฟลูออเรสเซนต์ แต่การใช้งานสายตาจะต้องมองขนานกับแนวยาวของโคม (มองที่ด้านหัว-ท้าย) ให้ใช้กราฟในรูปที่ 2.14

กลุ่มที่ 2 เป็นโคมที่กระจายแสงออกด้านข้างและการใช้งานสายตาจะมองขวางกับแนวยาวของโคม (มองที่ด้านข้าง) เช่น โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น ให้ใช้กราฟในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 กราฟความสว่างมาตรฐานของโคมไม่มีการกระจายแสงด้านข้าง [11]



รูปที่ 2.15 กราฟความสว่างมาตรฐานของโคมกระจายแสงด้านข้าง [11]

4) คำนวณค่าความสว่างของโคม เพื่อเขียนกราฟความสว่างและเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.3 ดังนี้

$$L = \frac{I(\gamma)}{A \cos \gamma} \quad (2.9)$$

A คือ พื้นที่ด้านหน้า/เลนส์ของโคม ( $m^2$ )

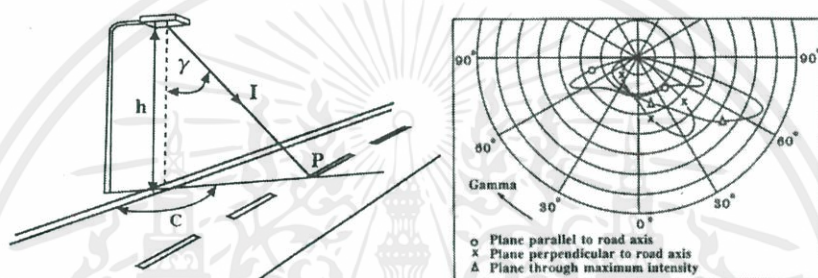
$I(\gamma)$  คือ ความเข้มการส่องสว่าง (cd) ที่มุมกระจายแสง  $45^\circ$   $55^\circ$   $65^\circ$  และ  $75^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การตัดสินคุณภาพ โดยกำหนดค่าความสว่างที่คำนวณได้จากมุม  $45^\circ$   $55^\circ$   $65^\circ$  และ  $75^\circ$  ลงในกราฟความสว่างมาตรฐาน หากค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า ถือว่าค่าความสว่างจากโคมไฟที่พิจารณาามีคุณภาพการจำกัดแสงบาดตาในระดับดีมาก (A) หรือระดับอื่น ๆ ตามที่กำหนดไว้แต่ต้น แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้สูงกว่าค่ามาตรฐาน ถือว่าโคมไฟมีคุณภาพการจำกัดแสงบาดตาต่ำกว่าระดับที่กำหนด

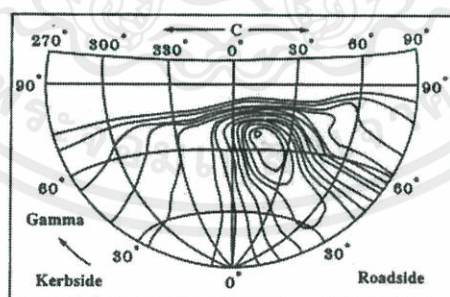
#### 2.4.7 กราฟการกระจายแสงของโคมไฟถนน

กราฟกระจายแสงของโคมไฟถนนที่ใช้ในการออกแบบ มีหลายลักษณะตามวิธีการคำนวณ เช่น ถ้าคำนวณด้วยวิธีจุดต่อจุด จะใช้กราฟการกระจายแสงในระบบ C- $\gamma$  ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.3.4



รูปที่ 2.16 ระบายและกราฟกระจายแสงระบบ C- $\gamma$  [11]

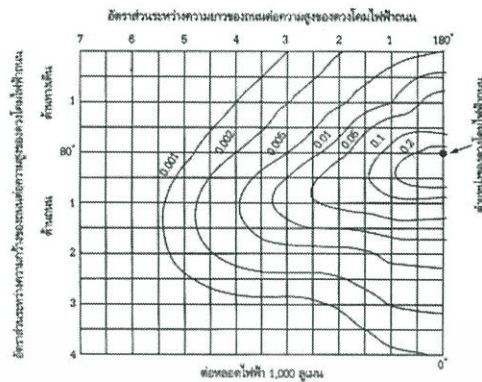
2.4.7.1 กราฟไอโซแคนเดลา (isocandela lighting distribution curve) ดังรูปที่ 2.17 จะแสดงการกระจายความเข้มในระบบ C- $\gamma$  เช่นกัน แต่จะแยกแยะให้เห็นระหว่างด้านหน้าโคมไฟหรือด้านถนน (roadside) กับด้านหลังโคมไฟหรือทางเท้า (kerb side)



รูปที่ 2.17 กราฟไอโซแคนเดลาที่ใช้คำนวณความส่องสว่างโคมไฟถนน [11]

2.4.7.2 กราฟไอโซลักซ์ หรือกราฟไอโซฟุตแคนเดิล (Isolux curve) ดังในรูปที่ 2.18 เป็นตัวอย่างกราฟไอโซฟุตแคนเดิล โดยกราฟแต่ละเส้นจะแสดงค่าความส่องสว่างที่เท่ากันบนพื้นที่ที่เกิดจากฟลักซ์ส่องสว่าง 1,000 ลูเมน กราฟนี้ใช้กับเสาสูง 30 ฟุต ถ้านำไปใช้กับความสูงของเสาและค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่ต่างไปจากนี้ เพื่อให้ได้ที่ถูกต้องจะต้องคูณด้วยแฟกเตอร์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 กราฟไอโซลักซ์สำหรับคำนวณความส่องสว่างไฟถนน [11]

2.4.8 IES file ไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น IES เป็นไฟล์ที่ได้มาจากการวัดค่าทางแสง เป็นที่นิยมในสังคมวิศวกรรมการส่องสว่าง ซึ่งเป็นไฟล์ที่ธรรมดา ที่ประกอบด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่างสำหรับโปรแกรมทางสถาปัตยกรรมที่สามารถ จำลองการส่องสว่างได้

## 2.5 หลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium Lamp)

หลอดโซเดียมความดันไอสูง (High-pressure Sodium bulb) เป็นหลอดไฟฟ้าที่ปล่อยประจุความเข้มสูงที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในงานที่ต้องการพารามิเตอร์ทางแสงสว่างมาก ๆ แต่สีของแสงจะไม่สมดุลเหมือนหลอดโลหะฮาไลด์ หลอดโซเดียมความดันไอสูงเป็นหลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในบรรดาหลอดไฟฟ้าปล่อยประจุความเข้มสูง (HID) ทั้งหมด หลอดโซเดียมความดันไอสูงเป็นหลอดไฟฟ้าปล่อยประจุความเข้มสูงที่ประกอบด้วยเปาะแก้วด้านนอกทำจากแก้วบอโรซิลิเกตและกระเปาะแก้วด้านในทำจากเซรามิกที่ทนอุณหภูมิสูงมาก

### 2.5.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดโซเดียมความดันไอสูง มีดังนี้

- กระเปาะแก้วด้านนอกของหลอดโซเดียมความดันไอสูง จะทำหน้าที่เป็นเปาะแก้วป้องกัน กระเปาะแก้วด้านในของหลอดโซเดียมความดันไอสูง และช่วยควบคุมอุณหภูมิของเปาะแก้วด้านในของหลอดให้คงที่ ระหว่างเปาะแก้วด้านนอกกับเปาะแก้วด้านในจะคั่นด้วยสุญญากาศ ซึ่งเป็นตัวป้องกันการพาความร้อนได้ดี แต่ไม่สามารถป้องกันการแผ่กระจายของรังสีความร้อน จึงเป็นเหตุให้ตัวกระเปาะแก้วด้านนอกร้อนในขณะที่หลอดโซเดียมความดันไอสูงกำลังทำงาน

- หลอดอาร์ของหลอดโซเดียมความดันไอสูง หมายถึง กระเปาะแก้วด้านในของหลอดโซเดียมความดันไอสูงจะทำจากวัสดุจำพวกเซรามิก ที่ทนอุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจากขณะหลอดทำงานจะมีความร้อนเกิดขึ้นและความดันจากการปล่อยประจุ (Discharge) ของหลอดโซเดียมความดันสูงเพื่อป้องกันการสึกกร่อนจากอัลคาไลน์ที่เกิดขึ้นจากไอโซเดียมในเปาะแก้วด้านในหลอดโซเดียมความดันสูง จะบรรจุก๊าซซีนอน โปรท และโซเดียมปนกันเข้าไปในหลอดโซเดียมความดันไอสูง

- **ก๊าซซีนอน (Xenon)** เป็นก๊าซเฉื่อยบรรจุอยู่ในหลอดอาร์เพื่อช่วยทำหน้าที่ในการแตกตัวของก๊าซโซเดียมให้เร็วขึ้น และเนื่องจากก๊าซนี้มีสภาพการแตกตัวได้เร็ว จึงทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในหลอดอาร์ของหลอดโซเดียมความดันสูงมากขึ้น มีค่าความดันภายในหลอดอาร์ประมาณ 200 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นที่มาของการเรียกหลอดไฟฟ้าชนิดนี้ว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูงสำหรับหลอดโซเดียมความดันต่ำ จะมีความดันภายในหลอดโซเดียมความดันต่ำประมาณ 2-3 มิลลิเมตรปรอทเท่านั้น

- **ไอปรอท (Mercury)** หมายถึงไอปรอทที่บรรจุเข้าไปในหลอดอาร์ของหลอดโซเดียมความดันไอสูง เมื่อเกิดการแตกตัวขึ้นภายในหลอดอาร์ของหลอดโซเดียมความดันไอสูง แล้วไอปรอทจะเป็นตัวเปล่งแสงสว่างสีน้ำเงินเขียวออกมา และเมื่อไปผสมกับแสงสว่าง สีที่ได้จากไอโซเดียม และได้แสงสว่างสีธรรมชาติ แต่พารามิเตอร์ทางแสงสว่างสีเหลือง และแสงสีส้มจะมีมากกว่าแสงสว่างสีอื่นๆ

- **โซเดียม (Sodium)** หมายถึง ก๊าซโซเดียมที่มีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัว และเปล่งแสงสว่างสีเหลืองสดออกมาเพียงสีเดียวเพื่อที่จะผสมกับแสงสว่างสีอื่นที่เกิดจากการแตกตัวของก๊าซชนิดอื่น

### 2.5.2 หลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันไอสูง

เมื่อเปิดสวิตช์บ่อนแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรหลอดโซเดียมความดันไอสูงแล้ว ตัวช่วยติดหลอดโซเดียมความดันไอสูง (Ignitor) จะเป็นตัวสร้างพัลส์ที่มีความถี่สูง เพื่อที่จะทำให้บัลลาสต์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อใช้ในการขับหลอด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้จะมีค่าประมาณ 2,500 - 3,000 โวลต์ แต่จะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นๆ และรวดเร็วมาก (ประมาณ 1 ไมโครวินาที) แล้วจะตกลงขณะเดียวกันระหว่างปลายทั้งสองของอิเล็กโทรด ก๊าซซีนอนก็จะเริ่มแตกตัวทำให้อุณหภูมิและความดันภายในหลอดอาร์ของหลอดโซเดียมความดันไอสูงนั้นสูงขึ้นเรื่อยๆ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหลอดอาร์นี้จะทำให้โซเดียมและปรอทเกิดการแตกตัวตาม ซึ่งจะทำให้แสงสว่างเริ่มสว่างขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสว่างจ้าที่สุดกระบวนการนี้จะใช้เวลาประมาณ 5 - 10 นาทีในการจุดหลอด

เนื่องจากรูปทรงของ Arc Tube เล็ก, เรียว, ยาว ทำให้การจุดหลอดไม่สามารถใช้ Starting Electrode ได้ จึงต้องใช้วงจร Electronic Starter ช่วยจุดหลอดเรียกว่า อิกลนิกเตอร์ (Ignitor) ร่วมกับ บัลลาสต์เพื่อจ่ายแรงดันสูง (High Voltage pulse) ประมาณ 2500 - 5000 โวลต์ เข้าที่ตัวหลอด ทำให้ก๊าซภายในเกิด breakdown และสามารถสตาร์ทหลอดได้โดยแสงจะเริ่มเปล่ง สีขาวอมฟ้า ฟ้าเหลือง และเหลืองทอง อันเป็นผลมาจากการที่ Sodium เริ่มแตกตัวภายใน Arc Tube กระบวนการที่เกิดขึ้น ใช้เวลานานราว 3-5 นาที ส่วนการ Restart ใช้เวลาประมาณ 1 นาที (สำหรับหลอดบางชนิดที่มี Ignitor ภายในตัว ไม่ต้องใช้ Ignitor ภายนอกช่วยจุดหลอดอีก)

### 2.5.3 ลักษณะการใช้งานหลอดโซเดียมความดันไอสูง

- 1) ใช้กับงานที่ไม่พิถีพิถันเรื่องความถูกต้องของสี เช่น โรงงานเหล็ก เป็นต้น

2) งานที่เหมาะสมใช้กับหลอดประเภทนี้ ได้แก่ โรงงานที่ไม่มีปัญหาเรื่องความต้องการของสี ไฟส่องบริเวณที่ไม่ใช่ย่านธุรกิจ ไฟถนน ไฟสวนสาธารณะ

3) หลอดโซเดียมความดันไอสูงบางประเภทได้มีการพัฒนาให้มีค่าความถูกต้องของสีสูงและเหมาะสมใช้กับงานได้กว้างขวางขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาคุณสมบัติของหลอดเป็นประเภทไป

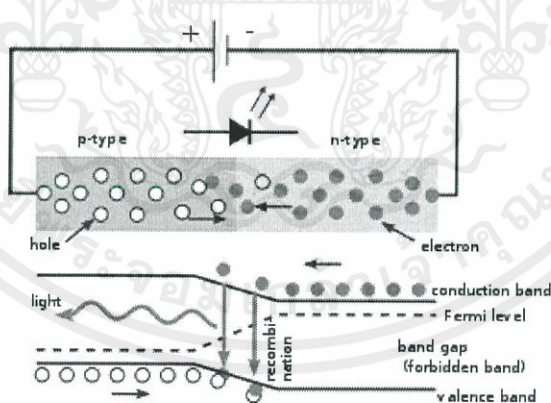
4) ประสิทธิภาพสูงที่สุดในตระกูลหลอดปล่อยประจุความดันไอสูง

5) หลอดประเภทนี้ให้สีเหมาะสมสำหรับงานทางด้านความปลอดภัย เพราะตามีความไวต่อการมองเห็นที่โตนสีเหลือง

## 2.6 หลอดแอลอีดี (LED)

LED ย่อมาจากคำว่า Light-Emitting Diode เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะปล่อยแสงสว่างออกมาทันที น้ำหนักเบา แสงสว่างที่เกิดขึ้นมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ โดยมีคุณลักษณะสำคัญ คือ มีรูปร่างที่กะทัดรัดและใช้กำลังไฟฟ้าน้อย

2.6.1 หลักการทำงานของหลอดแอลอีดี โดยการทำงานนั้นจะคล้ายๆกับการทำงานของไดโอด บางคนอาจจะเรียกหลอดแอลอีดีว่าไดโอดเปล่งแสง ซึ่งประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ประกอบกันมีผิวข้างหนึ่งเรียบเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อถูกไบแอสตรงจะทำให้ไอเลคตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลใน P การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ PN ทำให้เกิดกระแสไหล เป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไป และคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การทำงานของหลอดแอลอีดี [12]

สีของแสงที่เกิดจากรอยต่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างหลอดแอลอีดีทั้งชนิดที่เป็นของเหลวและก๊าซ เช่น ใช้แกเลียมฟอสไฟด์ (GALLIUM PHOSPHIDE, GaP) ทำให้เกิดแสงสีแดง ใช้แกเลียมอาซีนัดฟอสไฟด์ (GALLIUM ARSENIDE PHOSPHIDE, GaAsP) เกิดแสงสีเหลือง และเขยวการควบคุมพารามิเตอร์ทางแสงสว่างจะควบคุมกระแสที่ไหลผ่านหลอด LED หากกระแสที่ไหลสูงมากไปจะทำให้หลอดมีความสว่างมาก แต่หากป้อนกระแสสูงมากไปจะทำให้บริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อนปริมาณมากจนทำให้โครงสร้างหลอดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้

## 2.6.2 ชนิดของแอลอีดี แบ่งได้หลัก 2 ชนิด คือ

2.6.2.1 แอลอีดีขนาดเล็ก หรือ เรียกกันว่าเม็ดแอลอีดี (Miniature) ส่วนใหญ่เป็นแบบ single-die LEDs ประเภทนี้จะพบเห็นได้เป็นประจำในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น รีโมทโทรทัศน์ ไฟแสดงสถานะของทีวี จอคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ หรือแม้กระทั่งไม้ติดยุง ซึ่งจะสังเกตได้จากอุปกรณ์ใด หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าใดที่มีไฟแสดงสถานะสว่างแล้วแต่ใช้แอลอีดีขนาดเล็กนี้ในการทำงานทั้งสิ้น เพราะคุณสมบัติในการเปล่งแสงของมันนี่เอง รวมถึงยังมีขนาดเล็ก มีขนาดตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ไปจนถึง 8 มิลลิเมตร อีกทั้งยังใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกระแสจะมีค่าตั้งแต่ประมาณ 1 มิลลิแอมป์ ถึงสูงกว่า 20 มิลลิแอมป์ โดยปกติไม่จำเป็นต้องใช้แผงระบายความร้อน มีลักษณะแพ็คเกจที่ต้องติดตั้งผ่านรู และติดตั้งบนพื้นผิวพื้นผิว รูปทรงของแพ็คเกจทั่วไปมีทั้งรูปทรงโดม หรือแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมแบน

สามารถแบ่ง Miniature ได้ 3 แบบ ดังนี้

- Low current ถูกจำกัดอยู่ที่ 2 มิลลิแอมป์ ประมาณ 2 โวลต์ (4 มิลลิวัตต์ โดยประมาณ)
- Standard LED 20 มิลลิแอมป์ ตั้งแต่ประมาณ 40 มิลลิวัตต์ ถึง 90 มิลลิวัตต์
  - 9 ถึง 2.1 โวลต์ สำหรับสีแดง, สีส้ม, สีเหลือง และสีเขียว
  - 3.0 ถึง 3.4 โวลต์ สำหรับสีเขียว และสีน้ำเงิน
  - 2.9 ถึง 4.2 โวลต์ สำหรับสีม่วง, สีชมพู, สีม่วง และสีขาว
- Ultra-high-output 20 มิลลิแอมป์ ที่ประมาณ 2 หรือ 4-5 โวลต์ ถูกออกแบบมาให้เหมือนกับแสงอาทิตย์ ไฟ LED 5 โวลต์และ 12 โวลต์ เป็นไฟ LED ขนาดเล็กทั่วไปที่มีตัวต้านทาน เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อโดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ หรือ 12 โวลต์

## 2.6.2.2 High-power LEDs (HP-LEDs) หรือ high-output LEDs (HO-LEDs)

แอลอีดีชนิดนี้ เป็นผลมาจากความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ที่มีความสามารถในการเปล่งแสงที่มีความเข้ม และความสว่างสูงชันมาก ลักษณะของแอลอีดีชนิดนี้จะเป็นแผ่นชิป โดยทั่วไปมักจะมีสีเหลือง มีรูปทรง และขนาดที่แตกต่างกัน และในปัจจุบันแอลอีดีพลังงานสูง ได้ถูกนำมาผลิตเป็น หลอดไฟแอลอีดี และ โคมไฟแอลอีดี ที่มีมากมายหลากหลายแบบให้เราเลือกใช้ ซึ่งปัจจุบันไฟแอลอีดี มีประสิทธิภาพสูงชันมาก แถมยังราคาถูกลงด้วย ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้เป็นอย่างดี แต่ก็ควรเลือกใช้แอลอีดีที่ได้ มาตรฐานมอก. เพื่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน แอลอีดีชนิดนี้สามารถขับเคลื่อนได้ที่กระแสตั้งแต่หลายร้อยมิลลิแอมป์ ไปจนถึงมากกว่าแอมป์ แอลอีดีพลังงานสูง (HP-LEDs) หรือ แอลอีดีที่มีกำลังสูง (HO-LEDs) สามารถขับเคลื่อนได้ที่กระแสตั้งแต่หลายร้อย มิลลิแอมป์ ถึงมากกว่าแอมป์ เมื่อเทียบกับหลายสิบลิลลิแอมป์ สำหรับไฟแอลอีดีอื่น ๆ

### 2.6.3 รูปแบบของแอลอีดี

ปัจจุบันแอลอีดีมีหลายรูปแบบ หากแบ่งแอลอีดีตามลักษณะของ Package แบ่งได้ 4 แบบตามวิวัฒนาการ คือ

**2.6.3.1 DIP (Dual In-Line Package)** มีลักษณะเป็นแบบหลอดไดโอดเปล่งแสง มีขาสองข้าง มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างปานกลางแสงส่องสว่างไปไม่ไกล เหมาะกับการนำมาใช้ในหลอดไฟที่มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าน้อย แม้ว่าชิพ DIP จะใช้งานได้ในปัจจุบัน แต่ก็มีประสิทธิภาพต่ำกว่าชิพแอลอีดี รุ่นใหม่ซึ่งใช้สำหรับแอปพลิเคชันสมัยใหม่ ชิพเหล่านี้มักถูกใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชิพ DIP แอลอีดี มักจะให้แสงได้ประมาณ 4 ลูเมนต่อชิพ ซึ่งน้อยกว่าชิพรุ่นใหม่

**2.6.3.2 SMD (Surface mount device)** มีลักษณะเป็นแบบ Chip Surface Mount ไม่มีขา เหมือนหลอด DIP แอลอีดี ทำให้ไม่เปลืองพื้นที่ในการประกอบ และมีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูงกว่า แบบ DIP ในปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในการนำมาใช้สำหรับหลอด LED แบบ T8 Tube และหลอดแอลอีดี โคมดาวน์ไลท์แบบชิพแอลอีดี SMD เหล่านี้สามารถเปล่งแสงได้ตั้งแต่ 50 ถึง 100 ลูเมนต่อวัตต์ ซึ่งดีกว่าชิพ DIP อย่างมาก แต่ก็มีข้อควรระวัง คือ ชิพแอลอีดีจะปล่อยความร้อนออกมาควบคุมกับการให้แสงสว่าง ดังนั้น การออกแบบหลอดไฟแอลอีดี ที่ใช้เทคโนโลยี SMD จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบให้มี ระบบแผ่กระจายความร้อนอลูมิเนียม เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนจากภายใน ชิพแอลอีดีออกสู่ภายนอก ซึ่งถ้าหากชิพแอลอีดี SMD ได้รับการออกแบบเรื่องการระบายความร้อนอย่างเหมาะสมแล้ว จะทำให้แอลอีดี SMD มีอายุการใช้งานยาวนานมากถึงกว่า 50,000 ชั่วโมงเลยทีเดียว

**2.6.3.3 COB (Chip on board)** เป็นแบบ Multichip ให้แสงสว่างสูงมาก โดยเฉพาะเมื่อ ได้รับการพัฒนาร่วมกับเลนส์ Projector ยิ่งทำให้มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างที่สูงยิ่งขึ้นไปอีก (สามารถให้ค่าลูเมนต่อวัตต์ได้สูงกว่า 100 ลูเมนต่อวัตต์ ) ปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในการนำมาใช้งานในกลุ่มโคมไฟ LED HIGH BAY และ LED SPOT LIGHT แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความร้อนที่ปล่อยออกมาจากภายในชิพ COB ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีการออกแบบให้มีแผงระบายความร้อนอลูมิเนียม อลูมิเนียมขนาดใหญ่ เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนจากภายในชิพแอลอีดีออกสู่ภายนอก ซึ่งการออกแบบแผ่กระจายความร้อน ต้องได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหนัก ในพื้นที่ของประเทศในเขตร้อน อย่างเช่น ประเทศไทย และประเทศในเขต AEC โซน ซึ่งมีความสำคัญมาก และหากเราเลือกใช้ โคมไฟ LED High Bay ที่มีสเปคต่ำไม่ได้รับการออกแบบด้านการระบายที่เหมาะสม จะส่งผลเสียอย่างรุนแรง โดยเฉพาะการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งอาจทำให้โคมไฟ LED HIGH BAY ดับ ทั้งแผง ซึ่งเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเป็นประจำในการใช้งานในโรงงานของประเทศไทย และประเทศในเขต AEC โซน

**2.6.3.4 MOB (Multi Chip on Board)** พัฒนาต่อยอดมาจาก Chip COB LED มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูงมาก แต่ราคา ก็สูงมากเช่นเดียวกัน ปัจจุบันไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ แต่เหมาะกับการศึกษาในเชิงอดมคติ

## 2.6.4 ข้อดี และข้อเสียของหลอดแอลอีดี

### 2.6.4.1 ข้อดีของหลอดแอลอีดี

- แสงจากหลอดแอลอีดีมีอัตราการกระพริบที่สูงมาก (แทบจะไม่มีการกระพริบ) จึงออกมาเป็นธรรมชาติ สบายตา ถนอมสายตา เหมาะสำหรับงานแสงสว่างทั่วไป

- มีอายุการใช้งานนานกว่า ข้อมูลจากการทดสอบของผู้ผลิตหลอดยืนยันว่าการใช้งานอย่างถูกวิธีและเหมาะสม สามารถที่จะทำให้ หลอดแอลอีดี มีอายุใช้งานได้ถึง 60,000 ชั่วโมง โดยความสว่างไม่ลดลง เมื่อเทียบกับหลอดไส้ ที่มีอายุการใช้งานเพียงแค่ 1,000 ชั่วโมง หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์มีอายุการใช้งานประมาณ 10,000 ชั่วโมง เท่านั้น ถือว่า หลอดแอลอีดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก

- หลอดแอลอีดีให้แสงในทิศทางตรง
- หลอดแอลอีดีทนต่อแรงกระแทก สั่นสะเทือน และทนการกัดกร่อนได้ดี
- ประหยัดพลังงาน
- หลอดแอลอีดีติดตั้งได้ในพื้นที่จำกัด และใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ติดไฟได้
- หลอดแอลอีดีไม่เป็นอันตราย ไม่มีสารปรอท หรือสารพิษ ในการบรรจุ ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตรายทั้งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
- หลอดแอลอีดีมีการบำรุงรักษาต่ำ
- หลอดแอลอีดีใช้งานในที่เย็นจัดได้ หลอดไฟแอลอีดี สามารถใช้งานในที่เย็นจัดได้ถึง - 40 องศาเซลเซียส โดยไม่ต้องมีการอุ่นไส้ และยังสามารถที่จะเปิดติดได้ทันที
- หลอดแอลอีดีไม่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

### 2.6.4.2 ข้อเสียของหลอดแอลอีดี

- ราคาหลอดไฟแอลอีดีค่อนข้างสูง
- ความไวต่ออุณหภูมิ ประสิทธิภาพแอลอีดีส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อมของสภาพแวดล้อมการทำงาน การที่เร่งอุณหภูมิของแอลอีดี จะทำให้ลดอายุการใช้งาน และอาจจะทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงจำเป็นต้องติดตั้งแผงระบายความร้อน (Heat Sink) ที่เหมาะกับการใช้งาน

## 2.7 อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี (LED Driver)

อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี (LED Driver) เป็นอุปกรณ์ที่มีแหล่งจ่ายไฟภายในตัวเองที่ควบคุมการใช้พลังงานที่จำเป็นสำหรับไฟแอลอีดี หรืออาร์เรย์ของไฟแอลอีดี ไดโอดเปล่งแสงเป็นอุปกรณ์ที่มีพลังงานต่ำ อุปกรณ์แสงสว่างกับอายุการใช้งานที่ยาวนานและใช้พลังงานต่ำด้วยเหตุนี้จึงมีความต้องการใช้อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าโดยเฉพาะ

อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี เหมือนโปรแกรมควบคุมในรถยนต์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา การเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิของหลอดไฟแอลอีดี โดยที่ไม่มีอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีจะทำให้ร้อนเกินไป และไม่มีประสิทธิภาพเกิดความเสียหาย และเสื่อมประสิทธิภาพ เพื่อ

ทำให้แน่ใจว่าฟังก์ชันของแอลอีดี จะสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ จึงต้องมีอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่คอยจ่ายกำลังไฟฟ้าในระดับที่คงที่ให้แก่ตัวแอลอีดี

อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี ให้แรงดันที่ต่ำตรงกับความต้องการของไฟแอลอีดี โดยหลอดไฟแอลอีดี แต่ละตัวทำงานที่แรงดันตั้งแต่ 1.5 ถึง 3.5 โวลต์ และรับกระแสสูงสุดได้ 30 มิลลิแอมป์ ภายในหลอดไฟอาจประกอบด้วยหลายหลอดแอลอีดีที่ต่ออนุกรม และขนานร่วมกัน และต้องการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงรวมระหว่าง 12 และ 24 โวลต์ อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีจะปรับแรงดันไฟฟ้าสลับ และลดระดับเพื่อให้เหมาะกับความต้องการของหลอดแอลอีดี ซึ่งหมายความว่า จะแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีช่วงจาก 120 โวลต์ถึง 277 โวลต์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ

การป้องกันสำหรับไฟแอลอีดีอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี ให้การป้องกันหลอดแอลอีดีกับความผันผวนของกระแสและแรงดันไฟฟ้า อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีทำให้แน่ใจว่า แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดแอลอีดี ยังคงอยู่ในช่วงการทำงานของแอลอีดี โดยที่ไม่มีความผันผวนในการจ่ายไฟฟ้า การป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงการให้แรงดันมากเกินไป หรือกระแสที่ต่ำเกินไปที่จะช่วยลดแสงสว่างที่ออกมา

อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี หากแบ่งตามลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ

- **Internal LED driver** อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีเหล่านี้มักจะอยู่ภายในหลอดเดียวกันกับหลอดไฟแอลอีดีที่ จะทำให้มันง่ายเมื่อเปลี่ยนหลอดไฟ
- **External LED driver** อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีนี้จะตั้งแยกต่างหากจากไฟแอลอีดี และมักจะใช้สำหรับการใช้งานเช่น ไฟถนน เป็นต้น ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีแยกต่างหากซึ่งจะทำการเปลี่ยนตัวอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีง่าย และมีราคาถูกเมื่อจะทำการเปลี่ยนตัวอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี ส่วนใหญ่ของการผิดปกติของหลอดไฟ LED เกิดจากความผิดปกติในอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี และจะง่ายกว่าเมื่อมีการเปลี่ยน หรือซ่อมแซมตัว Internal LED driver กับ External LED driver การเลือกอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี อีกสิ่งหนึ่งที่ควรทราบคือโหมดการทำงานของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีในโหมดแรงดันและกระแส แอลอีดีไดรเวอร์จะมีทั้งกระแสไฟฟ้าคงที่หรือแรงดันไฟฟ้าคงที่
  - **Constant Current driver** จะให้กระแสขาออกที่มีค่าคงที่ และอาจมีความหลากหลายของแรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนไป ตัวอย่างของโปรแกรมควบคุมกระแสให้คงที่เท่ากับ 700 มิลลิแอมป์และจะมีช่วงแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 4-13 โวลต์
  - **Constant Voltage driver** จะให้แรงดันไฟฟ้าคงที่และกระแสเอาต์พุตสูงสุด แอลอีดีเหล่านี้ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพเพียงตัวเดียวโดยปกติจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ หรือ 24 โวลต์ ในตัวอย่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกคือ 24 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าขาออกสูงสุด 1.04 แอมป์

## 2.8 การผลิตระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์

### 2.8.1 อุปกรณ์ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์

#### 2.8.1.1 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Panel)

สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ หรือแสงจากหลอดไฟฟ้าให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) โซลาร์เซลล์ประดิษฐ์ขึ้นจากการนำสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด คือ P-Type และ N-Type มาต่อกันทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ โซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอนจะใช้สารซิลิกอนมาทำให้ไม่บริสุทธิ์ (Dope) โดยการเติมธาตุในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 5 ในตารางธาตุลงไป P-Type มีคุณสมบัติของอะตอมเป็นช่องว่างซึ่งเรียกว่า โฮล (Hole) ส่วน N-Type มีคุณสมบัติของอะตอมเป็นอิเล็กตรอนเกินขึ้นมา 1 ตัว เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในก้อนผลึก เมื่อนำสารกึ่งตัวนำ P-Type และ N-Type ที่มาต่อกันแล้วทำให้รอยต่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า โซลาร์เซลล์ สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- **แผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน หรือโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells)** ทำมาจากซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูงเป็นผลึกซิลิกอนเชิงเดี่ยว (mono-Si) หรือบางทีก็เรียกว่า Single Crystalline (single-Si) โดยเริ่มมาจากแท่งซิลิกอนทรงกระบอก จากนั้นจึงนำมาตัดให้เป็นสี่เหลี่ยม และลบมุมทั้งสี่ออก เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสีเข้ม

- **แผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกรวม หรือโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)** เป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำมาจากผลึกรวมจากซิลิกอนบริสุทธิ์รวมถึงแท่งซิลิกอนที่เหลือทิ้งจากการผลิต นำมาหลอมรวมในเบ้าสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่นๆ (Wafer) แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่มีการตัดมุม ทำให้มีราคาถูกกว่าแบบผลึกเดี่ยว โดยทั่วไปเรียกว่า ผลึกรวม หรือโพลีคริสตัลไลน์ (polycrystalline, p-Si) แต่บางครั้งก็เรียกว่า มัลติ-คริสตัลไลน์ (multi-crystalline ,mc-Si) สีของแผงจะออกน้ำเงินไม่เข้มมาก

- **แผงโซลาร์เซลล์ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous silicon : a-Si)** หลักการโดยทั่วไปของการผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดอะมอร์ฟัส หรือฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell, TFSC) คือ การนำเอาสารที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นกระแสไฟฟ้ามาฉาบเป็นฟิล์มหรือชั้นบางๆ ซ้อนกันหลายชั้น เช่น สารประกอบซิลิกอนและสารอื่นๆที่อยู่ในสถานะก๊าซ มาเคลือบเป็นฟิล์มบางบนแผ่นฐาน เช่น แก้วหรือพลาสติก จึงเรียก โซลาร์เซลล์ชนิดนี้ว่า ฟิล์มบาง หรือ thin film ซึ่งสารฉาบที่ว่ามีด้วยกันหลายชนิด ชื่อเรียกของ แผงโซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบางจึงแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่นำมาใช้ ได้แก่ อะมอร์ฟัส Amorphous silicon (a-Si) บางชนิด เช่น Hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) ทำให้โปร่งแสงได้ ปัจจุบันแผ่นโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบางมีพัฒนาการด้านการผลิตมากมายหลายแบบ และสามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์ได้หลากหลาย และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้สารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน เช่น โซลาร์เซลล์ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride, CdTe) โซลาร์เซลล์ชนิดคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมเซเลไนด์ (Copper Indium Gallium Selenide ,CIGS) และโซลาร์เซลล์ชนิดแกลเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide, GaAs) เป็นต้น บางชนิดสามารถทำให้ปิดวงจร ได้ตามการติดตั้ง ด้านประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบาง นั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนการผลิตต่ำมาก แต่ประสิทธิภาพต่ำ และอายุการใช้งานสั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นฟิล์มฉาบ

ตารางที่ 2.2 ข้อดี และข้อเสียของโซลาร์เซลล์แต่ละประเภท

ประเภทโซลาร์เซลล์	โมนocrystalไลน์	โพลีคริสตัลไลน์	อะมอร์ฟิส
ข้อดี	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 15-20เปอร์เซ็นต์ เพราะผลิตมาจากซิลิคอนเกรดดีที่สุด</li> <li>2. ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เกือบ 4 เท่าของชนิดฟิล์มบาง</li> <li>3. ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าชนิดโพลีคริสตัลไลน์เมื่ออยู่ในภาวะแสงน้อย</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ราคาถูกกว่าโมนocrystalไลน์</li> <li>2. มีประสิทธิภาพในการใช้งานในที่อุณหภูมิสูงดีกว่า ชนิดโมนocrystalไลน์เล็กน้อย</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีราคาถูกกว่า เพราะสามารถผลิตจำนวนมากได้ง่ายกว่า ชนิดผลึกซิลิคอน และใช้งานหลากหลาย</li> <li>2. ในที่อากาศร้อนมากๆ แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง มีผลกระทบน้อยกว่า</li> <li>3. ไม่มีปัญหาเรื่องเมื่อแผงสกปรกแล้ว จะทำให้วงจรไหม้</li> </ol>
ข้อเสีย	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีราคาแพงที่สุดในบางครั้งการติดตั้งด้วยแผงโซลาร์เซลล์ชนิด thin film อาจมีความคุ้มค่ามากกว่า</li> <li>2. ถ้ามีความสกปรกหรือถูกบังแสงในบาง</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยอยู่ที่13-16เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเทียบกับชนิดโมนocrystalไลน์</li> <li>2. ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งมากกว่าแบบโมนocrystalไลน์เมื่อต้องการประสิทธิภาพเท่ากัน</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีประสิทธิภาพต่ำ</li> <li>2. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำ</li> <li>3. ไม่เหมาะนำมาใช้ตามหลังคาบ้าน เพราะมีพื้นที่จำกัด</li> <li>4. การรับประกันสั้นกว่าชนิดผลึกซิลิคอน</li> </ol>

**2.8.1.2 เครื่องควบคุมการประจุ (solar control charger)** มีหลักการทำงาน หรือหน้าที่จ่ายกระแสไฟเมื่อแรงดันแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำกว่าที่ตั้งค่าไว้ และทำการตัดการจ่ายกระแสไฟเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่สูงตามที่ได้กำหนดไว้เหมือนกันเพื่อป้องกันการชาร์จเกิน ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายอายุการใช้งานเสื่อม และใช้งานได้ไม่คุ้มค่า คุณสมบัติของเครื่องควบคุมการประจุโดยทั่วไปในช่วงเวลากลางคืนยังคงคอยปกป้องไม่ให้ไฟจากแบตเตอรี่ย้อนขึ้นไปยังตัวแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวแผงโซลาร์เซลล์อีกด้วย และเป็นตัวสวิตช์อัตโนมัติที่ใช้จ่ายไฟให้หลอดเวลาที่ไม่มีแสงมากระทบแผงโซลาร์เซลล์ อีกนัยก็คือใช้แทนสวิตช์แสง (Photo Switch)

เครื่องควบคุมการประจุจะต่อระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับแบตเตอรี่ และหลอดทำงานโดยจะดูว่าแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่อยู่ในระดับใด ถ้าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่ตั้งไว้ ตัวเครื่องควบคุมการชาร์จจะทำการปลดโหลดออกจากระบบโดยทันที (Load disconnect) เพื่อป้องกันการคลายประจุของแบตเตอรี่ที่มากเกินไป และอาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น เครื่องควบคุมการประจุ มีตั้งแต่ขนาดกระแส 10A – 60A และ แรงดัน 12V 24V 48V หรือ 96V และมี 2 ประเภท คือ PWM (Pulse Width Modulation) และ MPPT (Maximum Power Point Tracking)

- **PWM (Pulse Width Modulation)** หลักการทำงาน คือ ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ให้คงที่ด้วยระบบดิจิทัล (Digital) เพื่อให้ประหยัดพลังงาน และสามารถควบคุมการประจุไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ให้แบตเตอรี่ไม่เสื่อมเร็ว มีฟังก์ชันไฟแสดงสถานะการทำงานที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ ระดับการเก็บประจุของแบตเตอรี่ การจ่ายไฟกระแสตรงให้เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่กำลังต่อเชื่อมวงจร มีระบบการตัดไฟอัตโนมัติ ในกรณีไฟแบตเตอรี่ใกล้หมด เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสีย เนื่องจากการใช้ไฟเกินกำลัง

- **MPPT (Maximum Power Point Tracking)** หลักการทำงาน คือ มีระบบไมโครโพรเซสเซอร์ หรือตัวจับสัญญาณ คอยควบคุมดูแลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงโซลาร์เซลล์ เปรียบเทียบกับแรงดันกระแสในแบตเตอรี่ และเลือกสัญญาณไฟฟ้าที่สูงที่สุดจากแผงเพื่อประจุลงในแบตเตอรี่ให้เต็มทีตลอดเวลา ดังนั้นจึงหมดห่วงเมื่อใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ ขณะที่สภาพแสงแดดภายนอกไม่ค่อยคงที่ แสงแดดอ่อนๆ ในช่วงเช้าหรือ ช่วงเย็น หรือตอนครึ้มๆ ก่อนและหลังฝนตก

**2.8.1.3 แบตเตอรี่ (Battery)** สามารถแบ่งตามลักษณะของการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ได้สองแบบด้วยกัน คือ

- **แบตเตอรี่คายประจุน้อย (Shallow-Cycle Battery)** คือ แบตเตอรี่ที่ออกแบบมาให้ปล่อยประจุไฟฟ้าได้ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ของประจุไฟฟ้ารวมก่อนจะทำการชาร์จประจุใหม่ การปล่อยประจุไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็นแอมแปร์.ชั่วโมง (Ah) เช่น 100 Ah หมายถึงแบตเตอรี่สามารถปล่อยประจุกระแสไฟฟ้า 100 หน่วยได้ 1 ชั่วโมง (ในความเป็นจริงไม่สามารถทำอย่างนั้นได้ เพราะเมื่อปล่อยประจุจากแบตเตอรี่จนหมด แบตเตอรี่จะเสียทันที) ตัวอย่างถ้ามีแบตเตอรี่แบบคายประจุ (Shallow cycle battery) ที่สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้ 100 แอมแปร์.ชั่วโมงอยู่หนึ่งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ตัวนี้ควรที่จะปล่อยประจุไฟฟ้า หรือใช้กระแสไฟฟ้า ได้เพียง 10-20 แอมแปร์.ชั่วโมง หลังจากนั้นจะต้องทำการชาร์จประจุให้เต็มก่อนการคายประจุครั้งต่อไป ถ้าการปล่อยประจุมากเกินไปกว่าที่กำหนดไว้ เช่นทำการปล่อยประจุที่ 50 แอมแปร์.ชั่วโมง จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่สั้นลง เสื่อมเร็วอย่างมาก เช่น ตามสเปคอายุการใช้งานของแบตเตอรี่สามารถชาร์จได้ 3000 ครั้ง อาจจะลดเหลือเพียงแค่ 1000 ครั้ง ดังนั้นการออกแบบระบบโดยรวมควรคำนึงถึงลักษณะการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วย

- **แบตเตอรี่คายประจุมาก (Deep-Cycle Battery)** คือแบตเตอรี่สามารถปล่อยประจุได้ถึง 60-80 เปอร์เซ็นต์ของประจุมก่อนที่จะทำการชาร์จประจุใหม่ ส่วนมากแล้วจะนำมาใช้กับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัย แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีราคาที่สูงกว่าแบบแรกมาก แต่ใช้เพียงไม่กี่ตัวก็สามารถทดแทนประจุไฟฟ้ารวมจากแบตเตอรี่แบบแรกได้ แบตเตอรี่แบบนี้จะมีความคุ้มค่าในระยะยาว แบตเตอรี่ที่ใช้เก็บสำรองไฟฟ้าในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ จะต้องเป็นแบบที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มาก สามารถจ่ายไฟฟ้าออกได้เป็นเวลานาน มีความทนทาน แบตเตอรี่ที่เหมาะสมคือแบบ Deep-Cycle Battery ซึ่งแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาให้สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้มาก ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของประจุไฟฟ้าทั้งหมด ก่อนทำการชาร์จประจุใหม่ ส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัย แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีราคาที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป มีอายุการใช้งาน 4- 5 ปี

แบตเตอรี่คายประจุมาก สามารถแบ่งตามแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- 1) แบตเตอรี่คายประจุมากชนิดน้ำ (Flooded type deep cycle battery) เป็นชนิดที่มีใช้งานมากที่สุด ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่ก็เป็นชนิดที่ต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น การเติมน้ำกลั่นหรือ การทำความสะอาดขั้วแบตเตอรี่

- 2) แบตเตอรี่คายประจุมากชนิดแห้ง หรือชนิดมีวาล์วปรับแรงดันภายใน (Valve Regulated Lead Acid: VRLA) เป็นแบตเตอรี่ที่มีโครงสร้างเป็นระบบปิดไม่ต้องการการบำรุงรักษา (Free Maintenance) ควบคุมแรงดันของสารละลายด้วยวาล์วปรับแรงดันที่อยู่ภายใน

ค่าของแบตเตอรี่ที่ต้องนำมาคำนวณ

- **ขนาดความจุของแบตเตอรี่ ( Ampere minute/hour : Ah)** ซึ่งผู้ผลิตแจ้งไว้ เป็นค่าที่วัดการคายประจุที่ในอัตราการคายกระแสเป็นเวลาชั่วโมง เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 100 แอมแปร์.ชั่วโมง หมายถึง แบตเตอรี่นี้สามารถจ่ายไฟที่อัตรา 10 แอมแปร์ ได้นาน 10 ชั่วโมง (เป็นการคำนวณแบบง่ายๆ อัตราที่แน่นอนต้องพิจารณาที่กราฟคุณสมบัติ) ค่าแอมแปร์.ชั่วโมง ที่บริษัทแจ้งจะเป็นค่าที่คิดจากการประจุที่ 20 ชั่วโมง

- **ค่าในการนำเอาความจุที่มีอยู่ออกมาใช้งาน (Depth Of Discharge : DOD)** ค่าที่บอกถึงความสามารถของแบตเตอรี่ คือ อาจจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ Ah ก็ได้ ยกตัวอย่าง เช่น แบตเตอรี่เต็มความจุ คือ 100เปอร์เซ็นต์ แต่สามารถนำเอาออกมาใช้งานได้เพียง 35เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือ 65เปอร์เซ็นต์ เก็บสำรองไว้เพื่อรักษาแบตเตอรี่เอาไว้ นั่นคือแบตเตอรี่ลูกนี้มี DOD 35% ค่านี้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดได้ถึง 60 เฮอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้ขนาดของแบตเตอรี่ไม่ใหญ่มาก แต่จะมีผลกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ (Use Cycle)

**2.8.1.4 อินเวอร์เตอร์ หรืออินเวอร์เตอร์ (inverter)** เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเลือกตามขนาดกำลังวัตต์รวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดที่รวมไว้ โดยให้ขนาดกำลังวัตต์ของอินเวอร์เตอร์มากกว่า กำลังวัตต์รวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าประมาณ 30-40เปอร์เซ็นต์ เพื่อรักษาประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ เช่น โทรทัศน์ใช้ไฟฟ้า 60 วัตต์ ควรเลือกซื้ออินเวอร์เตอร์ ขนาด 100 วัตต์ ปัจจุบันมีอินเวอร์เตอร์อยู่ 2 แบบตามระบบที่ติดตั้ง คือ

- **Off grid inverter** คือ ระบบที่ทำงานด้วยตัวของมันเอง เป็นระบบปิดที่ไม่มีไฟฟ้าของการไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ระบบนี้จะมีการใช้แบตเตอรี่มาสำรองไฟ คือ เมื่อแผงโซลาร์เซลล์รับพลังงานจากแสงแดดแล้วจะส่งไปที่ตัวโซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ เพื่อจำกัดกระแสชาร์จและแรงดันให้พอเหมาะ สำหรับแบตเตอรี่ที่ทำกรชาร์จจนกระทั่งเต็ม ระบบนี้มีทั้งระบบกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งต้องผ่านตัวอินเวอร์เตอร์อีกทีหนึ่ง ระบบนี้เหมาะกับสถานที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ เช่น ในชนบทที่ห่างไกลความเจริญไม่มีไฟฟ้าใช้ สวน ไร่ นา บ้าน หรือรีสอร์ทตามไหล่เขาที่ไฟเข้าไม่ถึง ไม่คุ้มที่จะเดินลากสายไฟยาวๆ เข้ามาใช้เนื่องจากต้นทุนสูง ระบบนี้จึงเหมาะสมที่สุด หรือถ้าใช้ในเมืองที่มีไฟฟ้าใช้อยู่แล้วระบบนี้ก็ยังมีมีความสำคัญ คือ ทำเป็นระบบไฟฟ้าสำรอง เมื่อไฟดับ สามารถใช้ไฟฟ้าในบ้านได้อยู่ เช่น ระบบสำคัญๆ ระบบแสงสว่าง บั๊มน้ำ ตู้เย็น พัดลม

- **On grid inverter** คือ ระบบได้ไฟจากแผงโซลาร์เซลล์ แล้วต่อตรงเข้าระบบอินเวอร์เตอร์แบบพิเศษ ( Grid Tie Inverter ) แล้วได้ไฟกระแสสลับเข้าระบบไฟฟ้าภายในบ้าน ทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มาก เพราะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการแปลงไฟ เพราะไม่ต้องใช้วิธีแปลงลงแบตเตอรี่แล้วต้องแปลงขึ้นเป็นไฟฟ้าใช้ในบ้านอีก และระบบนี้ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ทำให้ประหยัดลดต้นทุนไปได้มาก ข้อเสียของระบบนี้คือมีไฟใช้เฉพาะในเวลากลางวันเมื่อมีแสงแดดเท่านั้น และเมื่อไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับลง ระบบจะทำการปิดตัวเอง

อินเวอร์เตอร์มีอีก 2 แบบตามลักษณะของคลื่น คือ แบบสแควร์เวฟ (Modifile sinewave) มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์แต่มีลักษณะเป็นขั้นบันได ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเกือบทุกประเภท มีราคาถูก และแบบไซน์เวฟ (Pure sinewave) มีสัญญาณเป็นรูปไซน์เวฟ 100เปอร์เซ็นต์ ผลิตไฟฟ้าออกมาได้เหมือนไฟบ้าน เหมาะกับการใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกประเภทที่ใช้กับไฟบ้าน มีราคาค่อนข้างสูง

## 2.8.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญในระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้โซลาร์เซลล์มีสภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผง แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

(1) ความเข้มของแสง กระแสไฟจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากโซลาร์เซลล์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า หรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก

(2) อุณหภูมิ กระแสไฟจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีของแผงโซลาร์เซลล์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าโซลาร์เซลล์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ  $V_{oc}$ ) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากโซลาร์เซลล์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ลดลง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ( $0.5\% \times 5$  องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของโซลาร์เซลล์ที่  $V_{oc}$  จะลดลง 0.525 V ( $21 \text{ V} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 V (21V) แผงชนิดโมโนคริสตัลไลน์ และโพลีคริสตัลไลน์จะมีแรงดัน กระแส และขนาดไม่แตกต่างกัน แต่แผงชนิดโมโนคริสตัลไลน์ จะมีค่า Temperature coefficients of  $P_{max}$  น้อยกว่าแผงแบบโพลีคริสตัลไลน์ ทำให้มีราคาแพงกว่า 10-15 เปอร์เซ็นต์

## 2.9 แผงระบายความร้อน

แผงระบายความร้อน หรือฮีตซิงก์ (Heat sink) ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นชิ้นส่วนซึ่งทำหน้าที่ลดอุณหภูมิขณะทำงานของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเพิ่มพื้นที่สัมผัสอากาศ ทำให้การพาความร้อนจากตัวอุปกรณ์สู่อากาศโดยรอบทำได้เร็วขึ้น โดยปกติจะมีการติดตั้งแผงระบายความร้อนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความร้อนสูง เช่นทรานซิสเตอร์กำลัง, ไดโอดเปล่งแสงบางชนิด, หลอดเลเซอร์ และในคอมพิวเตอร์ มักจะมีการติดตั้งแผงระบายความร้อนที่หน่วยประมวลผลกลางกับที่หน่วยประมวลผลกราฟิกส์

### 2.9.1 วัสดุที่นิยมนำมาทำแผงระบายความร้อน

ในปัจจุบันมีอยู่ 3 รูปแบบคือ อะลูมิเนียม, ทองแดง และทองแดงกับอะลูมิเนียม ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

2.9.1.1 อะลูมิเนียม โดยคุณสมบัติของอะลูมิเนียมจะนำความร้อนได้ไม่ดีเท่าทองแดง แต่มีน้ำหนักเบา, มีราคาถูกกว่าและขั้นตอนการผลิตง่ายกว่าจึงทำให้เป็นที่นิยมมากกว่าทองแดง

2.9.1.2 ทองแดง มีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดีกว่าอะลูมิเนียม แต่ด้วยขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก การประกอบครีบต้องใช้การเชื่อม มีน้ำหนักมากและราคาแพงจึงทำให้เป็นที่นิยมเฉพาะกลุ่มบุคคลที่ชื่นชอบการโอเวอร์คล็อกซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนมากกว่าปกติและต้องการการระบายความร้อนที่รวดเร็ว ซึ่งฮีตซิงก์ทองแดงทำหน้าที่ได้ดีกว่า

2.9.1.3 ท่องแดงกับอะลูมิเนียม โครงสร้างส่วนใหญ่มักจะมีแกนกลางที่สัมผัสผิวหน้าของซีพียูทำจากทองแดง และครีบทำจากอะลูมิเนียม ซึ่งผิวสัมผัสระหว่างทองแดงและอะลูมิเนียมจะมีสารช่วยนำความร้อนอยู่เพื่อให้ผิวสัมผัสแนบสนิทและถ่ายเทความร้อนได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าแบบอะลูมิเนียมทั้งชิ้น, ราคาประหยัด และน้ำหนักเบากว่าแบบทองแดงทั้งชิ้น

2.9.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) คือ การถ่ายเทของพลังงานความร้อน ประโยชน์ของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีความสำคัญในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ไม่ว่าจะเป็นการใช้ความร้อนในการหุงต้มอาหาร กระบวนการแปรรูปที่เกี่ยวข้องกับความร้อนและความเย็นในโรงงานแปรรูปอาหาร เช่น กระบวนการแช่เย็น การแช่แข็ง การฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน การอบแห้ง และการระเหย กระบวนการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวกลางให้ความร้อน หรือความเย็นการถ่ายโอนความร้อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งในมีค่าแตกต่างกันโดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ ในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลางการถ่ายโอนความร้อน

การถ่ายเทความร้อน สามารถจำแนก ได้ออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

2.9.2.1 การนำความร้อน (Heat conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน ในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

2.9.2.2 การพาความร้อน (Heat convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ในสสารสองสถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยจะมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น เนื่องจากเมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นต่ำลงและสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) ก็จะลงมาแทนที่ ปรากฏการณ์นี้มีตัวอย่าง คือ การเกิดลมบก ลมทะเล เป็นต้น การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านของแข็งหรือผ่านของไหลที่อยู่กับที่ อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การนำความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา การพาความร้อน แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

- การพาความร้อนแบบธรรมชาติ หรือแบบอิสระ (Natural Convection)

- การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดๆ ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลเอง

- แรงลอยตัวเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ที่มีอุณหภูมิของของไหลแตกต่างกัน ใน 2 บริเวณ

- การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบลม

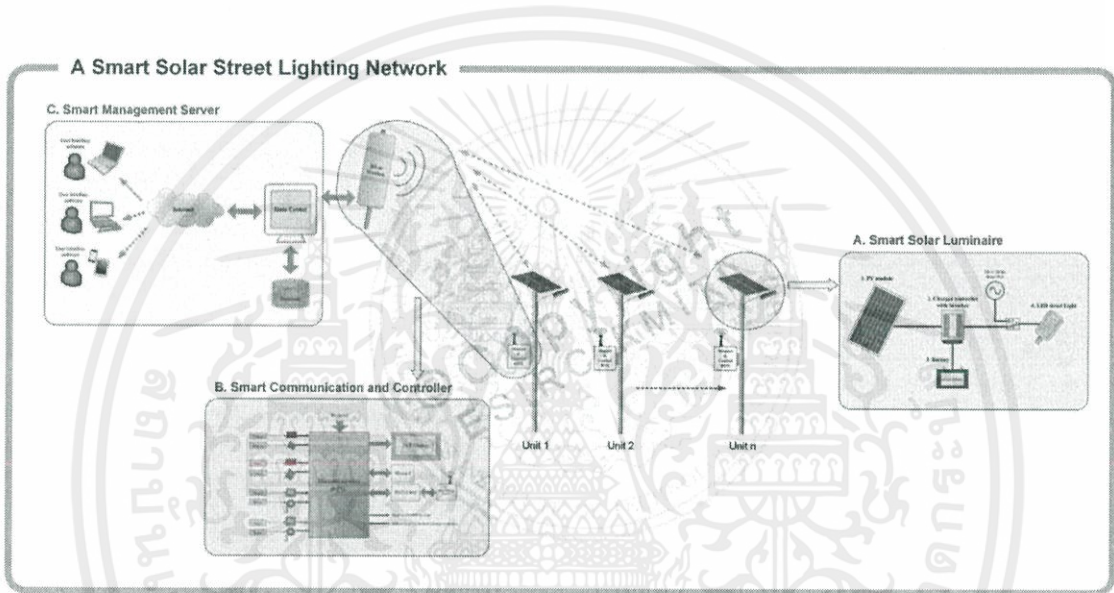
2.9.2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $-270^{\circ}\text{C}$  หรือ  $0\text{ K}$  (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว เช่น การตากปลาแห้ง ตากเสื้อผ้ากลางแจ้ง ทั้งนี้การแผ่รังสี คือการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องผ่านตัวกลางใดๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีของวัตถุ และผิววัตถุด้วย

### บทที่ 3

## การออกแบบและประกอบสร้าง

### 3.1 ภาพรวมของระบบโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

ระบบโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ หมายถึง โครงข่ายของชุดอุปกรณ์ไฟถนนที่จะออกแบบขึ้นให้ทำงานร่วมกันผ่านเครือข่ายไร้สาย โดยสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ชุดควบคุมการทำงานและการบริหารจัดการข้อมูลต่างๆได้อย่างเป็นระบบ โดยแสดงภาพรวมทั้งระบบได้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

#### 1) ส่วน A: การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ (Smart Solar Luminaire)

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีของหลอดชนิด LED หรือ OLED ร่วมกับการทำงานของระบบเก็บสะสมพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์คือ แบตเตอรี่ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่วางไว้ และยังสามารถทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ ที่นำเสนอในภาพรวมของงานระบบได้อย่างสมบูรณ์โดยมีสมมติฐานในการออกแบบโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำงานในด้านต่างๆ ของโคมไฟที่ออกแบบกับโคมไฟถนนแบบดั้งเดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

#### 2) ส่วน B: การออกแบบชุดควบคุม (Smart Communication and controller)

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบตัวกลางในการสื่อสาร ระหว่างโคมไฟถนนที่ออกแบบ (ส่วน A) และ ส่วนบริหารจัดการแบบรวมศูนย์ (ส่วนที่ C) โดยจะเรียกชื่องานในส่วนนี้โดยย่อว่าเป็น การออกแบบชุดควบคุม หน้าที่หลักของการทำงานของชุดควบคุมที่นำเสนอในส่วนนี้มี 4 ประเด็นย่อย คือ (1) การควบคุมการทำงานของโคมไฟถนนที่ออกแบบแต่ละชุดให้เป็นไปตามฟังก์ชันการทำงานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

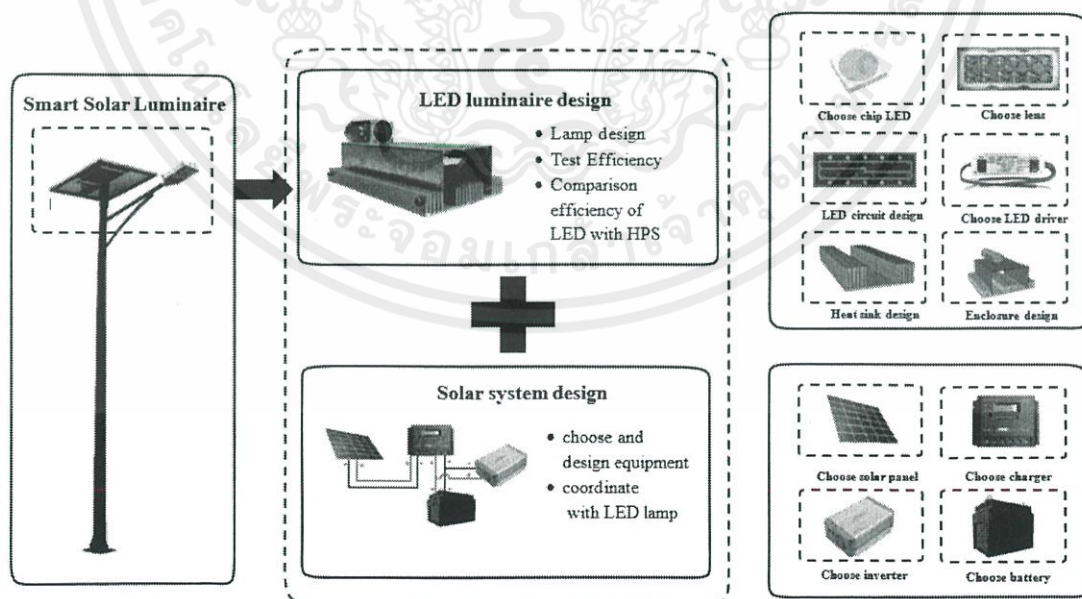
ออกแบบไว้ (2) หน้าที่ในการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สำคัญเพื่อประมวลผล และ บันทึกข้อมูลที่เป็นประโยชน์ (3) หน้าที่ในการแสดงผลการวัด การวิเคราะห์ ผ่านทางหน้าจอแสดงผลที่แต่ละตู้ควบคุม และ (4) หน้าที่ในการรับคำสั่งจากส่วนที่ 3 (ส่วน C) เพื่อส่งต่อการทำงานให้กับส่วนที่ 1 (ส่วน A) รวมไปถึงหน้าที่ในการส่งข้อมูลการวัด และการวิเคราะห์ให้กับส่วนที่ 3 (ส่วน C) ผ่านทางเครือข่ายสื่อสารไร้สายต่อไปด้วย

### 3) ส่วน C: การออกแบบระบบบริหารจัดการแบบรวมศูนย์ (Smart Management Server)

ในส่วนนี้จะเป็นการเขียนหรือสร้างละมุนภัณฑ์คอมพิวเตอร์ (Computer Software) ขึ้นมาเพื่อใช้ในการบริหารจัดการระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ในส่วนที่ 1 (ส่วน A) และ ส่วนที่ 2 (ส่วน B) โดยจะทำหน้าที่เป็นทั้งสมองและคลังข้อมูลของระบบที่จะสามารถควบคุมดูแล จัดการและบริหาร รวมไปถึงการแสดงผลและสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆทั้งระบบแบบทางไกล (Remote Control) ผ่านทางโครงข่ายการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication Network) ที่ออกแบบไว้ได้ เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าและแนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคต

โดยปฏิญานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับ การออกแบบ *ส่วน A: การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ (Smart Solar Luminaire)* ซึ่งรายละเอียดจะถูกอธิบายในหัวข้อที่ 3.2 ถึง 3.4 ต่อไป

### 3.2 ภาพรวมของการออกแบบส่วน A: การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ (Smart Solar Luminaire)



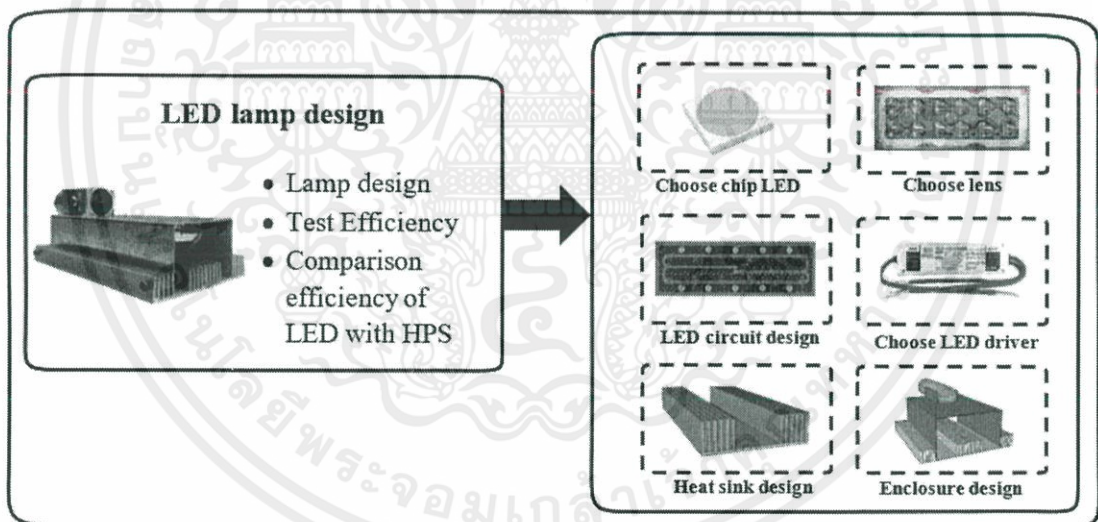
รูปที่ 3.2 ภาพรวมของการออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีของหลอดแอลอีดี ร่วมกับการทำงานของระบบเก็บสะสมพลังงานคือแบตเตอรี่ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่วางไว้และยังต้องสามารถทำงานร่วมกับระบบอื่นๆ ที่นำเสนอในภาพรวมของงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์โดยมีสมมติฐานในการออกแบบ คือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำงานในด้านต่างๆ ของโคมไฟที่ออกแบบกับโคมไฟอ้างอิงที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังรูปที่ 3.2 จะแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

- (1) การออกแบบโคมไฟแอลอีดี ซึ่งจะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ 3.3 และ
- (2) การออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำงานร่วมกับโคมไฟแอลอีดีที่ออกแบบ ซึ่งจะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ 3.4

### 3.3 การออกแบบโคมไฟแอลอีดี

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบโคมไฟแอลอีดี เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งโคมไฟถนนของกรมทางหลวง และสามารถนำมาทดแทนโคมไฟแบบดั้งเดิมที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบัน โดยรายละเอียดของงานที่จะต้องทำในส่วนนี้ แสดงดังรูปที่ 3.3

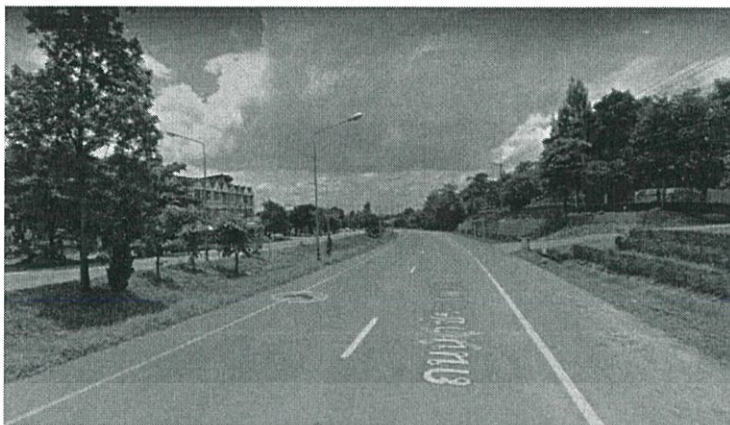


รูปที่ 3.3 การออกแบบโคมไฟแอลอีดี

#### 3.3.1 ข้อมูลทั่วไปและรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนที่มีอยู่ในปัจจุบัน

##### 3.3.1.1 รูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนที่มีอยู่ในปัจจุบัน

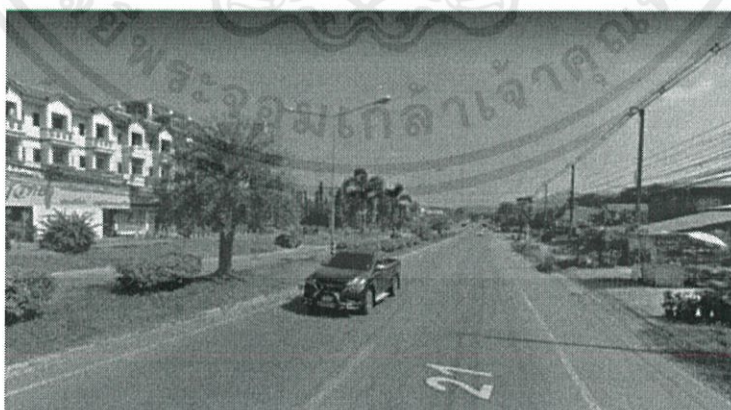
การออกแบบเริ่มจากการศึกษาข้อมูลการติดตั้งโคมไฟถนนของถนนทางหลวงสายหลักที่มีลักษณะการติดตั้งหลากหลายรูปแบบ จากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่บนถนนทางหลวงสายหลักจะใช้โคมไฟโซเดียมความดันสูง และติดตั้งในรูปแบบกึ่งคูที่เกาะกลาง มีช่องทางการจราจร 4 ช่องจราจร แสดงตัวอย่างรูปแบบการติดตั้งดังรูปที่ 3.4 ถึง 3.15



รูปที่ 3.4 ถนนสาย 11 อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง  
(4 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งเดียว)



รูปที่ 3.5 ถนนสาย 12 อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร  
(4 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งคู่)

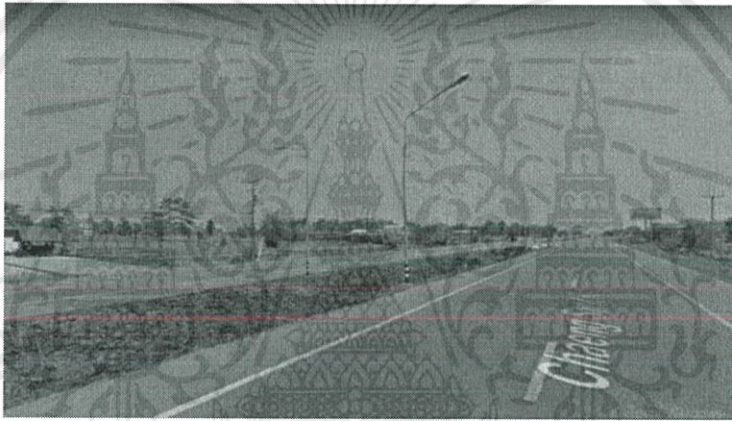


รูปที่ 3.6 ถนนสาย 21 อำเภอเมือง จังหวัดเลย  
(4 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งคู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ถนนสาย 22 อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี  
(4 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งคู่)



รูปที่ 3.8 ถนนสาย 23 อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม  
(4 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งเดี่ยว)



รูปที่ 3.9 ถนนสาย 24 อำเภอเมืองอุบลราชธานี  
(6 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งคู่)

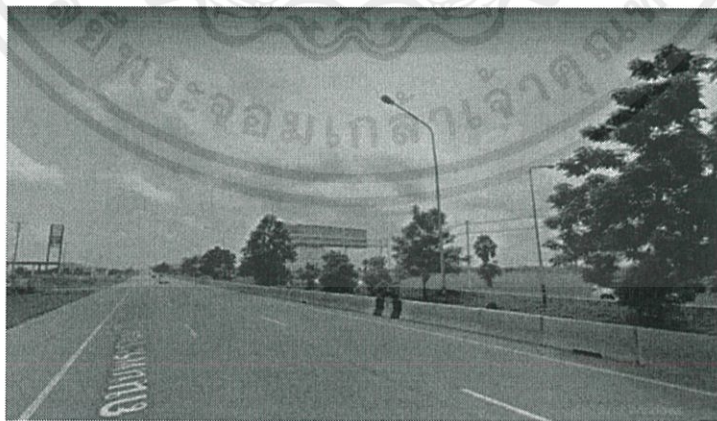
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ถนนสาย 36 อำเภอเมือง จังหวัดระยอง  
(6 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งเดียว)



รูปที่ 3.11 ถนนสาย 33 อำเภอเมืองสุพรรณบุรี  
(4 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งคู่)

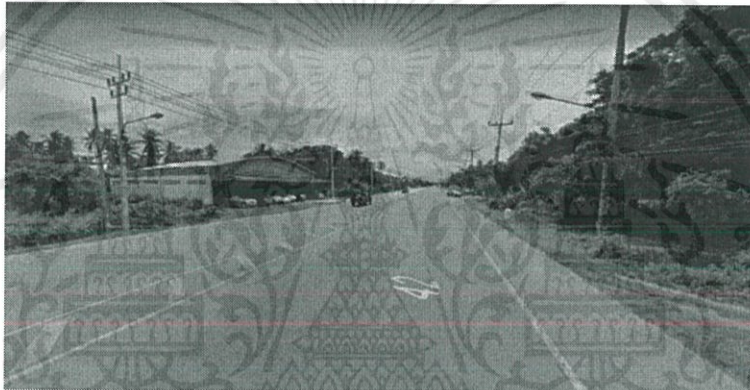


รูปที่ 3.12 ถนนสาย 35 อำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี  
(6 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งเดียว)

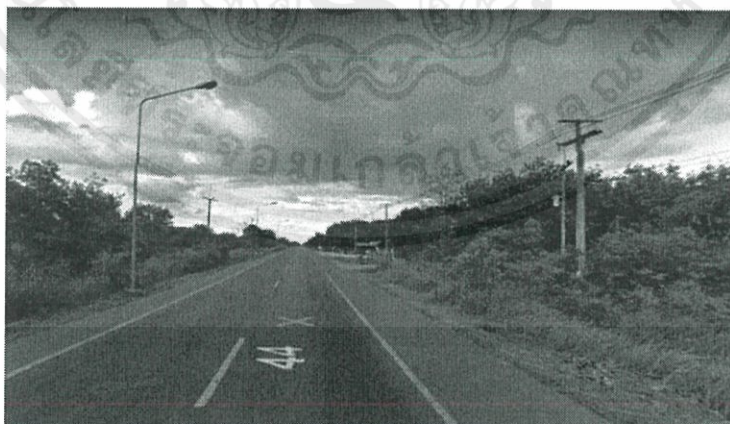
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ถนนสาย 41 อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง  
(6 ช่องจราจร ติดตั้งเกาะกลาง โคมไฟกิ่งเดียว)



รูปที่ 3.14 ถนนสาย 42 อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี  
(4 ช่องจราจร ติดตั้งตรงข้าม โคมไฟกิ่งเดียว)



รูปที่ 3.15 ถนนสาย 44 อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี  
(2 ช่องจราจร ติดตั้งข้างเดียว โคมไฟกิ่งเดียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.2 การศึกษาโคมไฟถนนโซเดียมความดันไอสูงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

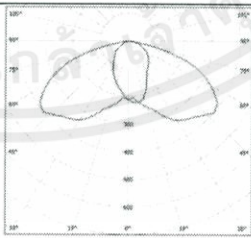
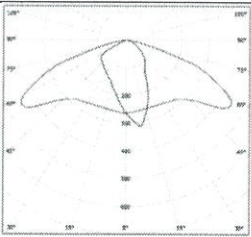
จากข้างต้น เพื่อออกแบบโคมถนนแอลอีดี จึงต้องศึกษาลักษณะของโคมไฟถนนที่ใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงว่ามีประสิทธิภาพทางแสง และทางไฟฟ้าเป็นอย่างไร โดยการนำมาจำลองการติดตั้งในโปรแกรม Dialux 4.13 ซึ่งเป็นการจำลองถนนสายหลักที่มีรถปานกลาง และกำหนดลักษณะการติดตั้งตามที่กรมทางหลวงกำหนด ดังตารางที่ ข.1 ภาคผนวก ข พร้อมทั้งนำไปเปรียบเทียบคุณภาพแสงให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งโคมไฟถนนของกรมทางหลวง ดังตารางที่ ข.6 ภาคผนวก ข

ลักษณะการติดตั้งถูกกำหนด ดังนี้

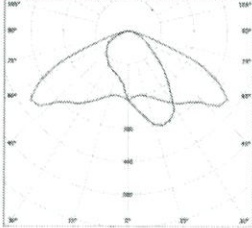
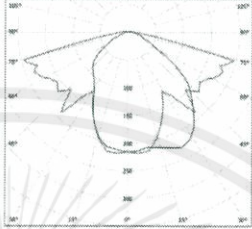
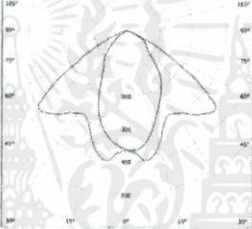
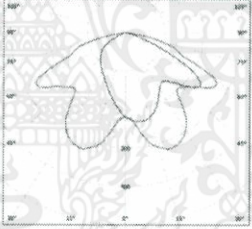
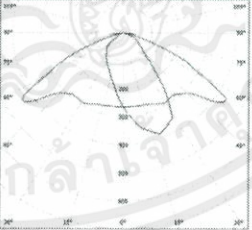
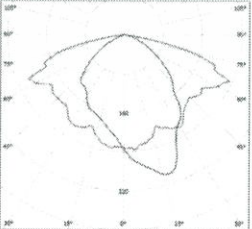
1. ความสูงเสา : 9 เมตร
2. จำนวนช่องจราจร : 4 ช่องจราจร  
(ทางไป 2 ช่องจราจร และทางกลับ 2 ช่องจราจร)
3. ระยะห่างเสา : 32 เมตร
4. ความกว้างช่องจราจร : 3.5 เมตร
5. ความกว้างเกาะกลางถนน : 2.5 เมตร
6. ความกว้างไหล่ทาง : 2.5 เมตร

โคมไฟโซเดียมความดันไอสูงของผู้ผลิตที่นิยมใช้กันทั่วไปจำนวน 10 ผู้ผลิตในปัจจุบันจะถูกนำมาจำลอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางแสง และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าก่อนการออกแบบโคมไฟถนนแอลอีดี ดังตารางที่ 3.1 จะแสดงลักษณะการกระจายแสงของแสงของโคมไฟถนนแต่ละผู้ผลิต

ตารางที่ 3.1 กราฟการกระจายแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูงแต่ละผู้ผลิต

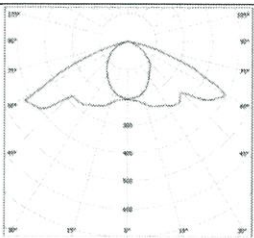
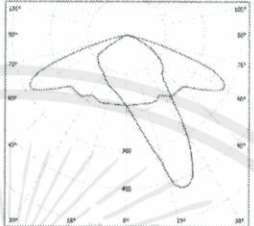
รายชื่อผู้ผลิต	กราฟการกระจายแสง
<p>Mazinoor</p> <p>มุมการกระจายแสง</p> <p>150 องศา</p>	
<p>FAEL</p> <p>มุมการกระจายแสง</p> <p>150 องศา</p>	

ตารางที่ 3.1 กราฟการกระจายแสงของหลอดโซเดียมความดันสูงแต่ละผู้ผลิต(ต่อ)

รายชื่อผู้ผลิต	กราฟการกระจายแสง
DEFA	
NLC	
Beghelli	
WE-EF	
Ge wiss	
Heper	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 กราฟการกระจายแสงของหลอดโซเดียมความดันไอสูงแต่ละผู้ผลิต(ต่อ)

รายชื่อผู้ผลิต	กราฟการกระจายแสง
Kyro มุมการกระจายแสง 150 องศา	
Gramox	

ผลการจำลองการติดตั้งโคมไฟถนน จะเป็นไปตามตารางที่ 3.2 และ 3.3 โดยกำหนดให้แต่ละโคมไฟที่ติดตั้งต้องมีค่าความสว่าง ( $L_{av}$ )  $1.5 \text{ cd/m}^2$  ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานในตารางที่ ก.6 ภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.2 พลักซ์การส่องสว่างของหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ติดตั้งผ่านมาตรฐานไฟถนน

ผู้ผลิต	พลักซ์การส่องสว่างที่ออกแบบ (lm/w)	พลักซ์การส่องสว่างที่ออกมา (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/w)	กำลังไฟฟ้า (W)
FAEL	15,900	12,066	97	164.05
MAZINOOR	17,900	14,589	98	182.11
KYRO	20,000	15,061	117	171.41
GE WISS	19,800	15,798	97	203.92
DEFA	21,200	17,554	110	192.36
HEPER	21,700	16,261	106	204.83
GLAMOX	22,600	17,260	82	276.00
NLC	23,700	17,641	110	215.79
BEGHELLI	25,100	16,394	101	248.67
WE-EF	21,700	16,318	99	219.31

ตารางที่ 3.3 ผลลัพธ์ของหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ติดตั้งตามมาตรฐานไฟถนน

รายชื่อผู้ผลิต	ห้องจรรยาวิชา				ห้องจรรยาซ้าย			
	U <sub>0</sub> ≥0.4	U <sub>1</sub> ≥0.7	TI ≤10	SR ≥0.5	U <sub>0</sub> ≥0.4	U <sub>1</sub> ≥0.7	TI ≤10	SR ≥0.5
FAEL	0.43	<b>0.54</b>	8	0.7	0.43	<b>0.54</b>	8	0.7
MAZINOOR	0.6	<b>0.67</b>	7	0.71	0.6	<b>0.67</b>	7	0.71
KYRO (I)	0.49	<b>0.59</b>	5	0.8	0.49	<b>0.46</b>	5	0.8
GE WISS	0.61	<b>0.52</b>	9	0.75	0.61	<b>0.52</b>	8	0.75
DEFA	0.6	<b>0.52</b>	6	0.84	0.6	<b>0.52</b>	6	0.84
HEPER	0.49	<b>0.67</b>	8	0.87	0.48	<b>0.64</b>	8	0.87
GLAMOX	0.68	<b>0.68</b>	10	0.65	0.68	<b>0.68</b>	10	0.65
NLC	0.53	<b>0.61</b>	15	0.87	0.53	<b>0.61</b>	15	0.87
BEGHELLI	<b>0.23</b>	<b>0.19</b>	1	0.77	<b>0.23</b>	<b>0.19</b>	1	0.77
WE-EF	0.52	<b>0.51</b>	6	0.74	0.52	<b>0.51</b>	6	0.74

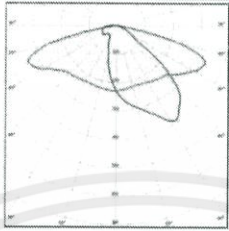

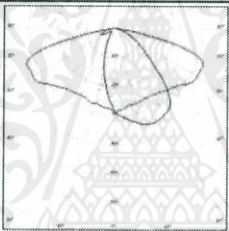
จากผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นว่าลักษณะกราฟการกระจายแสงของโคมไฟที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งบนถนนจะต้องมีลักษณะกราฟการกระจายมุม C0-180 (การกระจายแสงด้านข้างโคม) จะมีมุมทางแสงที่ 150-160 องศา และมีมุม C90-270 (การกระจายแสงด้านหน้าโคม) จะมีทิศการกระจายแสงส่วนใหญ่ไปทางด้านหน้าโคม และผลจากตารางที่ 3.3 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟแต่ละผู้ผลิต ดังตารางที่ 3.1

### 3.3.2 การออกแบบพิกัด และขนาดของอุปกรณ์ในส่วนโคมไฟฟ้า

#### 3.3.2.1 การเลือกเลนส์

ชิปแอลอีดีที่มีมุมการกระจายแสงที่ค่อนข้างตรงไม่มีกระจายดั่งเช่นกับหลอดไฟประเภทอื่น ดังนั้นจึงออกแบบการกระจายแสงของตัวชิปแอลอีดี โดยการใส่เลนส์ เพื่อให้การกระจายแสงของตัวชิปแอลอีดีให้มีการกระจายไปในมุมที่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด จากกราฟการกระจายแสงของโคมไฟโซเดียมความดันไอสูงที่ได้ทำการวิเคราะห์มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกแบบโคมไฟถนน ควรเลือกเลนส์ที่มีกราฟการกระจายแสงที่มีคุณสมบัติตามที่วิเคราะห์และศึกษา ซึ่งLEDiL เป็นผู้ผลิตที่จำหน่ายเลนส์สำหรับไฟถนนในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะ (ในผู้ผลิตอื่นๆ ก็มีการจำหน่ายแต่ไม่สามารถยืนยันการกระจายได้ เนื่องจากไม่มี IES file มาจำลองการติดตั้ง)

ตารางที่ 3.4 ลักษณะของเลนส์

ชนิดของเลนส์	จำนวนชิปที่ บรรจุได้ต่อ แผง (ชิป)	กราฟการกระจาย	ขนาด (mm.)	ราคา (บาท)	จำนวน ที่ใช้ (แผง)	ราคา รวม (บาท)
STRADA-2X2- ME	4		50 x 50	203	8	1624
STRADA-IP- 8MX-T2-C-PC	8		90 x 90	290	5	1450
STRADA-IP- 2X6-DWC	12		173.0 x 71.4	287	3	861

จากตารางที่ 3.4 ชุดเลนส์หลอดไฟแอลอีดีที่ถูกพิจารณาเลือกมา คือ LEDIL STRADA-IP-2X6-DWC มีลักษณะดังรูปที่ 3.16 แบบที่สามารถบรรจุชิปได้ 12 ชิปต่อแผง เพราะมีกราฟการกระจายแสงที่ดี มีราคาที่เหมาะสม และคุ้มค่าในการลงทุน



รูปที่ 3.16 LEDIL STRADA-IP-2X6-DWC Lens

### 3.3.2.2 การเลือกชิปแอลอีดี

ชิปแอลอีดี มี 2 ชนิดหลัก คือ แบบ Low power LEDs ซึ่งมีขนาดเล็ก ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อีกทั้งการเปล่งแสงที่มีความเข้ม และความสว่างไม่สูงมากเหมาะกับการใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นไฟแสดงสถานะ โดยปกติไม่จำเป็นต้องใช้แผงระบายความร้อน ชิปแอลอีดีอีกประเภทหนึ่ง คือ High power LEDs ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้ามาก ทำให้มีการเปล่งแสงที่มีความเข้ม และความสว่างสูงชัน ลักษณะของแอลอีดีชนิดนี้จะเป็นแผ่นชิป และแอลอีดียังแบ่งตามลักษณะแพ็คเกจเป็น 4 แบบในปัจจุบัน คือ DIP package (มีกำลังไฟฟ้าต่ำ) ส่วน SMD package, COB package และ MCOB package จะมีกำลังไฟฟ้าสูง เนื่องจากในหนึ่งชิปจะมีแอลอีดีภายในหลายตัว แต่ MCOB package เป็นเทคโนโลยีใหม่ของไฟ LED Multi Chip on Board พัฒนามาจาก Chip COB LED มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูง แต่ราคาก็สูงมากเช่นเดียวกัน ปัจจุบันไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ แต่เหมาะกับการศึกษาในเชิงอุดมคติ ซึ่งตามเป้าหมายที่ต้องการออกแบบคอมไฟถนน แอลอีดี ให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างเป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง ดังนั้น แอลอีดีที่เหมาะสมที่จะนำมาพิจารณาในการสร้างคอมไฟถนนแอลอีดี คือ แอลอีดีประเภท High-power LEDs ในลักษณะแพ็คเกจแบบ SMD package มีลักษณะของชิปแอลอีดี ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 High-power LEDs แบบ SMD package

#### คุณสมบัติของ SMD package

1. มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากมีปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างต่อกำลังไฟฟ้าสูง
2. มีขนาดที่เล็กทำให้ประหยัดพื้นที่ในการใช้งาน
3. สามารถจัดเรียงให้มีการกระจายแสงได้ดี เพราะว่ามีขนาดเล็กและช่วยในการกระจายความร้อน ทำให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น
4. มีอายุการใช้งานมากกว่า 50,000 ชั่วโมง
5. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

หากเทียบระหว่าง SMD package กับ COB package จะเห็นได้ว่า SMD package มีประสิทธิภาพมากกว่า COB package เนื่องจากมีปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างต่อกำลังไฟฟ้าหมายถึง การที่ชิปจะสามารถเปล่งแสงออกมาได้มากขึ้น และมีกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า SMD package สามารถจัดเรียงแบบกระจาย เพื่อให้มีการกระจายแสงได้ดีขึ้น อีกทั้งเป็นผลให้แผงระบายความร้อนหรือฮีทซิงค์ จะมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากอย่าง COB package ที่มีแอลอีดีภายในชิปรวมอยู่เป็นจุดเดียว ซึ่งเป็นผลให้ต้องออกแบบแผงระบายความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ขนาดของแผงระบายความร้อนก็จำเป็นต้องใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้มีการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการสร้างของแผงระบายความร้อนเล็กน้อย และกรณีที่ชิปตัวใดตัวหนึ่งในตัว COB package เสีย จะทำให้แสงในชิปดับทั้งหมด

จากเลนส์ที่เลือกตามหัวข้อ 3.3.1.1 สามารถบรรจุชิปแอลอีดีที่มีขนาด 5x5 มิลลิเมตร ซึ่งชิปแอลอีดีที่เหมาะสมกับเลนส์ และเป็นผู้ผลิตนิยมใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน แสดงดังตารางที่ 3.5 โดยชิปแอลอีดีทุกผู้ผลิตจะมีอุณหภูมิสีของแสง 4000 K และดัชนีความถูกต้องของสี 80 และการคำนวณฟลักซ์ความส่องสว่างของชิปแอลอีดีในแต่ละผู้ผลิตต่อ 1 แผงวงจร (12 ชิปแอลอีดี) จะแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 การเปรียบเทียบราคา ฟลักซ์การส่องสว่าง และกำลังวัตต์ต่อชิป

ผู้ผลิต	ฟลักซ์การส่องสว่างต่อตัว (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/w)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้าต่อชิป (W)	ราคาต่อชิปซื้อที่ขั้นต่ำ 100ชิป (Baht)
LUMILED L150-4080502400000	610	138	0.160	24.5	3.92	30.72
Cree JR5050AWT-000000000H0HQ230E	609	146	0.480	8.75	4.2	52.22
Osram GW P9LT31.EM-PSPU-XX55-1	638	158	0.150	31.5	4.725	42.84

ตารางที่ 3.6 ฟลักซ์การส่องสว่างต่อเลนส์ 1 แผงของแต่ละผู้ผลิต

ผู้ผลิต	ลักษณะวงจรบนแผงวงจร	ค่ากระแส และแรงดันที่ Normalized light output 70%		กำลังไฟฟ้าต่อแผง (W)	ฟลักซ์ความส่องสว่างต่อแผง (lm)
		กระแส (mA)	แรงดัน (V)		
LUMILED L150-4080502400000	ต่อขนาน 2 กิ่ง แต่ละกิ่งจะต่ออนุกรม 6 ชิป	0.107	23.4	30.0	5,124

ตารางที่ 3.6 พลักซ์การส่องสว่างต่อเลนส์ 1 แฉงของแต่ละผู้ผลิต (ต่อ)

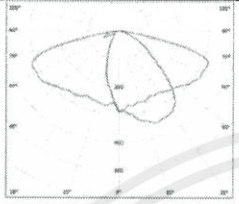
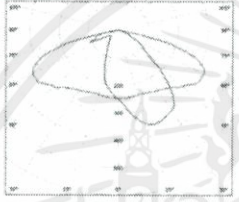
ผู้ผลิต	ลักษณะวงจรรบน แฉงวงจรร	ค่ากระแส และแรงดันที่ Normalized light output 70%		กำลัง ไฟฟ้า ต่อ แฉง (W)	พลักซ์ความ ส่องสว่างต่อ แฉง (lm)
		กระแส (mA)	แรงดัน (V)		
Cree JR5050AWT- 000000000H0HQ230E	ต่ออนุกรม 12 ชิป	0.275	8.4	27.7	5,116
Osram GW P9LR35.PM-M2M3- XX57-1-180-R18	ต่อขนาน 3 กิ่ง แต่ ละกิ่งจะต่ออนุกรม 4 ชิป	0.100	29.8	35.8	5,360

3.3.2.2.1 การจำลองลักษณะการกระจายแสงของเลนส์ในโปรแกรม Dialux  
อัตราส่วนแสงจากชิปแอลอีดี หรือ L.O.R กำหนดที่ 70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไม่  
สามารถให้ชิปแอลอีดีทำงานที่ 100% เพราะจะทำให้ชิปแอลอีดีร้อนมากจนเกินไป ส่งผลให้อายุการ  
ใช้งานสั้นลง เสื่อมประสิทธิภาพ และค่าพลักซ์การส่องสว่างลดลง ต่อมาจึงทำการจำลองชิป  
แอลอีดีแต่ละผู้ผลิต เมื่อใส่เลนส์ที่ได้เลือกไว้ในโปรแกรม Dialux จะเป็นผลลัพธ์เป็นไป  
ตามตารางที่ 3.7 ,3.8 และ 3.9

ตารางที่ 3.7 ค่าความส่องสว่างต่อเลนส์ 1 แฉง และจำนวนแฉงที่ใช้

ผู้ผลิต	กราฟการ กระจายแสง	พลักซ์การส่อง สว่างที่ ออกแบบต่อ แฉง (lm)	พลักซ์การ ส่องสว่างที่ ออกมาต่อ แฉง (lm)	กำลังไฟฟ้า ต่อแฉง (W)	จำนวน แฉงที่ ใช้ (แฉง)
LUMILED		5,124	4,812	30.0	4

ตารางที่ 3.7 ค่าความส่องสว่างต่อเลนส์ 1 แผง และจำนวนแผงที่ใช้ (ต่อ)

ผู้ผลิต	กราฟการกระจายแสง	ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกแบบต่อแผง (lm)	ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกมาต่อแผง (lm)	กำลังไฟฟ้าต่อแผง (W)	จำนวนแผงที่ใช้ (แผง)
CREE		5,116	4,798	27.7	4
OSRAM		5,360	5,164	35.8	4

ตารางที่ 3.8 ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ซ้าย

ค่าพารามิเตอร์ทางแสง	ค่ามาตรฐาน	ผู้ผลิต		
		LUMILED	CREE	OSRAM
ความสว่างเฉลี่ย ( $L_{av}$ , (cd/m <sup>2</sup> ))	≥1.5	1.74	1.72	1.76
ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง ( $U_0$ )	≥0.4	0.59	0.59	0.60
ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ )	≥0.7	0.77	0.79	0.75
ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน ( $T_i$ , (%))	≤10	12	12	10
อัตราส่วนโดยรอบ (SR)	≥0.5	0.81	0.81	0.87
ความส่องสว่างเฉลี่ย ( $E_{av}$ , (lux))	≥21.5	25	25	27
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{min}$ , (lux))	-	44	45	44
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{max}$ , (lux))	-	0.349	0.338	0.389

ตารางที่ 3.9 ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ขวา

ค่าพารามิเตอร์ทางแสง	ค่ามาตรฐาน	ผู้ผลิต		
		LUMILED	CREE	OSRAM
ความสว่างเฉลี่ย ( $L_{av}$ , (cd/m <sup>2</sup> ))	≥1.5	1.74	1.72	1.76
ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง ( $U_0$ )	≥0.4	0.59	0.59	0.60
ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ )A	≥0.7	0.77	0.79	0.75
ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน ( $T_i$ , (%))	≤10	12	12	10
อัตราส่วนโดยรอบ (SR)	≥0.5	0.81	0.81	0.87
ความส่องสว่างเฉลี่ย ( $E_{av}$ , (lux))	≥21.5	25	25	27
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{min}$ , (lux))	-	44	44	44
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{max}$ , (lux))	-	0.349	0.338	0.389

### 3.3.2.2.2 การคำนวณจุดคุ้มทุนของแต่ละผู้ผลิต

การคำนวณจุดคุ้มทุนของแต่ละผู้ผลิต เป็นการเปรียบเทียบความคุ้มทุนระหว่างการใช้โคมไฟที่ใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟที่ใช้หลอดแอลอีดีที่ใช้ชิปต่างผู้ผลิต จำนวน 3 ผู้ผลิตที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน เพื่อเลือกใช้ชิปแอลอีดีมาประกอบเป็นโคมไฟถนนแอลอีดีให้มีประสิทธิภาพ และคุ้มทุนมากที่สุด จะถูกแสดงดังตารางที่ 3.10 3.11 และ 3.12 โดยในตารางที่ 3.12 จะมีค่าอุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้องโดยประมาณ 2,000 บาท

ตารางที่ 3.10 เปรียบเทียบราคาชิปแอลอีดีที่ใช้ต่อประสิทธิภาพการส่องสว่าง

ผู้ผลิต	จำนวนชิป	ราคาต่อชิปซื้อที่ชั้นต่ำ 100 ชิป	ราคาชิปที่ใช้	ฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมด	กำลังไฟฟ้าทั้งหมด	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของทั้งหมด	ราคาต่อ 1lm/w
	(ชิป)	(บาท)	(บาท)	(lm)	(w)	(lm/w)	(บาท)
LUMILED L150- 4080502400000	48	30.72	1,474.5	20496	120.0	170.8	8.63
Cree MHBBWT-0000- 000C0BD440E	48	52.22	2,506.5	20464	110.8	184.7	13.57
Osram GW P9LT31.EM- PSPU-XX55-1	48	42.84	2,056.3	21440	143.2	149.7	13.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.10 จะเปรียบเทียบราคาที่เป็น 1 lm/w ของทุกโคม โดยคิดจากอัตราส่วนของราคาตามจำนวนของชิปที่ใช้จริงทั้งโคมต่อประสิทธิภาพการส่องสว่างของทั้งโคม เมื่อนำราคาชิปแอลอีดี ฟลักซ์การส่องสว่าง และกำลังไฟฟ้าของทั้งโคมที่ออกแบบด้วยชิปแอลอีดีแต่ละผู้ผลิตมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าโคมไฟที่ใช้ชิป LUMILED จะมีความเหมาะสมที่สุด เพราะว่ามีราคาเมื่อเทียบกับที่ 1 lm/w ที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 3.11 เปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อ 1 โคม

เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่หน่วยละ 3.5 บาท	โคมไฟดั้งเดิม 250 วัตต์	LUMILED L150-40805 02400000	Cree MHBBWT- 0000- 000C0BD440E	Osram GW P9LT31.EM- PSPU-XX55-1
จำนวนชั่วโมงเปิดใช้งาน	12 ชม/วัน	12 ชม/วัน	12 ชม/วัน	12 ชม/วัน
กำลังไฟฟ้า	285 วัตต์	130.4 วัตต์	120.4 วัตต์	155.6 วัตต์
1 วันใช้ไฟ (หน่วย)	3.42 หน่วย	1.56 หน่วย	1.44 หน่วย	1.87 หน่วย
ค่าไฟ 1 วัน	11.97 บาท	5.46 บาท	5.04 บาท	6.55 บาท
ค่าไฟ 1 ปี	4,369.1 บาท	1,992.9 บาท	1,839.6 บาท	2,390.8 บาท
ค่าไฟที่ลดลงต่อ 1 ปี	-	2,376.2 บาท	2,529.5 บาท	1,978.3 บาท

ตารางที่ 3.12 เปรียบเทียบจำนวนปีที่คุ้มทุนที่ราคาต่อชิปซื้อที่ขั้นต่ำ 100 ชิป

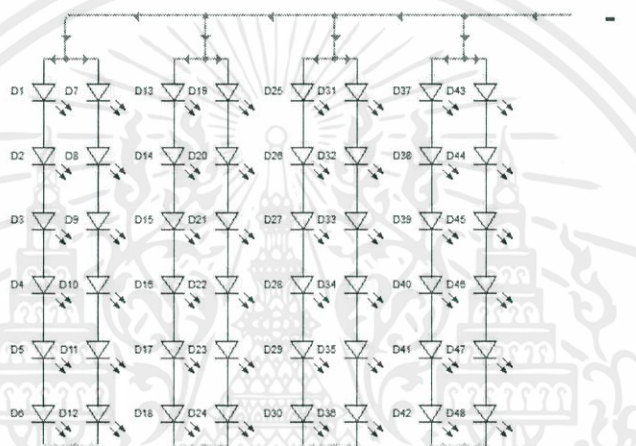
ผู้ผลิต	ราคาชิป 48 ชิป (บาท)	ราคาเลนส์ 4 แผง (บาท)	ราคาอุปกรณ์ ชิปแอลอีดี (บาท)	ราคาแผ่น พีซีบี (บาท)	ราคาโคมไฟ ทั้งหมด (บาท)	ค่าไฟที่ลดลง ต่อ 1 ปี (บาท)	จำนวนปีที่คุ้ม ทุน (ปี)
LUMILED L150- 3070502400000	1,474.5 (48ชิป)	1147.92 (4แผง)	1586.71	2,150	8,359.1	2,376.2	3.52
CREE MHBBWT-0000- 000C0BD440E	2,506.5 (48ชิป)	1147.92 (4แผง)	1586.71	2,150	9,391.1	2,529.5	3.71
OSRAM GW P9LT31.EM- PSPU-XX55-1	2056.3 (48ชิป)	1147.92 (4แผง)	1586.71	2,150	8,940.95	1,978.3	4.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.11 และ 3.12 จะเป็นการเน้นย้ำว่า ชิปแอลอีดีของผู้ผลิต LUMILED เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในโคมไฟถนนที่ออกแบบ เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับชิปแอลอีดีจากผู้ผลิตอื่นที่จำนวนชิปแอลอีดีที่เท่ากัน และอุปกรณ์ร่วมเดียวกัน

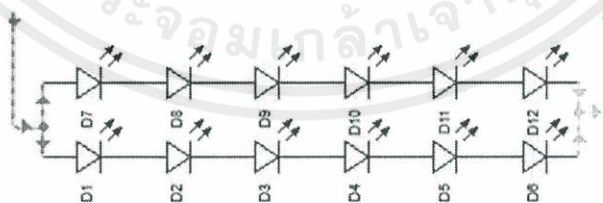
### 3.3.2.3 การออกแบบวงจรของชิปแอลอีดี และแผ่นพิมพ์วงจร (PCB)

การออกแบบวงจรของชิปแอลอีดีถูกออกแบบโดยการต่อชิปแอลอีดีทั้งหมด 48 ชิป ในหนึ่งแผงวงจรจะต่อขนานกัน 2 แถว แต่ละแถวจะต่อชิปแอลอีดีอนุกรมกัน 6 ชิป และนำแผงต่อขนานกัน 4 แผง ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 วงจรชิปแอลอีดีที่ออกแบบ

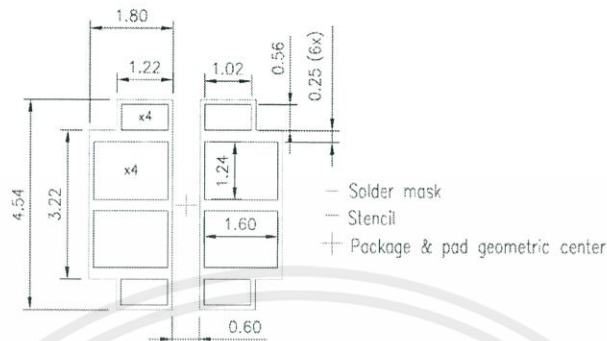
จากวงจรที่ถูกออกแบบมานั้นจะถูกแบ่งออกเป็นแผ่นพิมพ์วงจร 4 แผ่น โดยแต่ละแผงวงจรจะประกอบด้วยชิปแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกัน 6 ชิป ขนานกัน 2 แถว จะแสดงดังรูปที่ 3.19



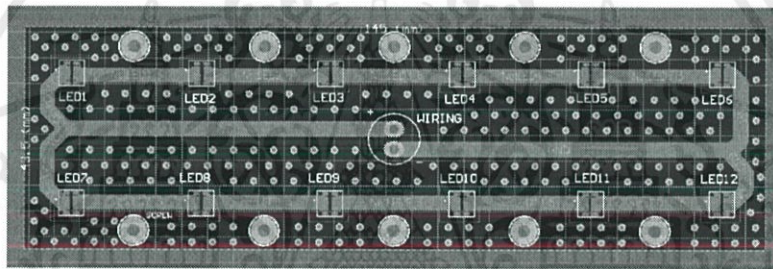
รูปที่ 3.19 วงจรชิปแอลอีดีต่อ 1 แผงวงจร

จากนั้นทำการออกแบบลายพิมพ์วงจร โดยลายพิมพ์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ถูกกำหนดมาดังรูปที่ 3.20 เมื่อสร้างลายวงจรรออกมาจะได้แผ่นพิมพ์วงจรที่สามารถนำไปติดตั้งอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.21 โดยบนแผ่นพิมพ์วงจรจะถูกออกแบบให้ประกอบด้วย plate through hole ทั้งทั้งแผ่น เพื่อ

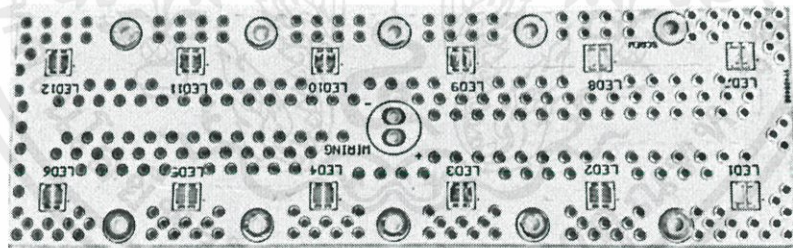
เพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจากชิปแอลอีดีสู่แผงระบายความร้อนได้ง่าย และรวดเร็ว ยิ่งขึ้น และจากลายวงจรพิมพ์ที่ออกแบบจะได้แผ่นพิมพ์วงจร ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.20 ลายพิมพ์ปิดกรีของชิปแอลอีดี



รูปที่ 3.21 ลายพิมพ์วงจรบนแผ่นพิมพ์วงจร



รูปที่ 3.22 แผ่นพิมพ์วงจรที่ได้หลังการออกแบบ

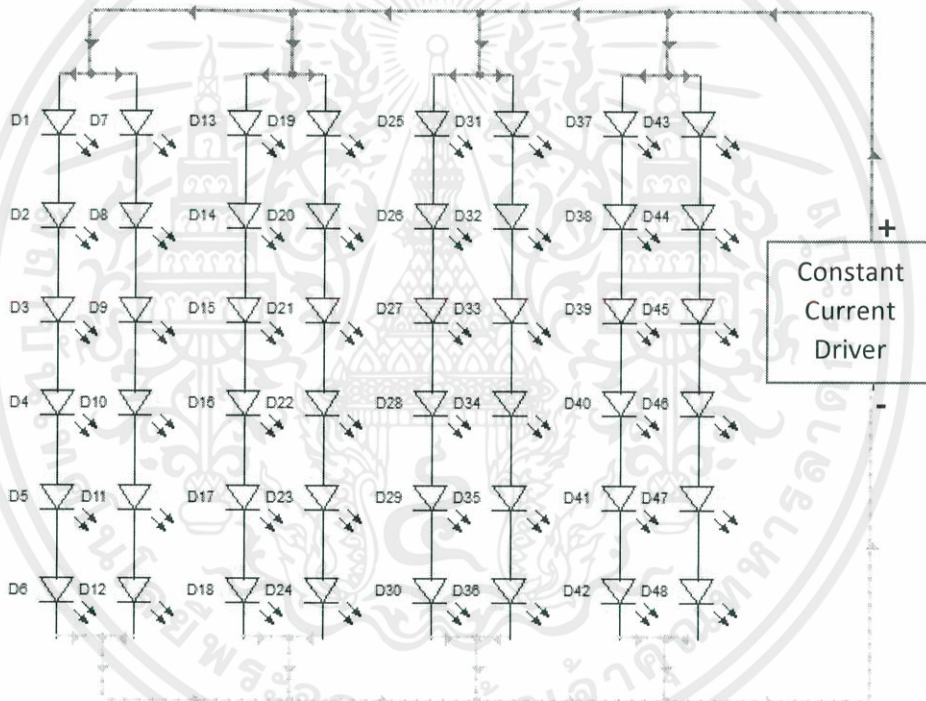
ซึ่งแผ่นพิมพ์วงจรมี 2 ชนิดเหมาะสมกับวงจรแอลอีดี คือ แผ่นพิมพ์วงจรแบบธรรมดาทั่วไป และแผ่นพิมพ์วงจรแบบอลูมิเนียม โดยแผ่นพิมพ์วงจรแบบธรรมดามีราคาที่เหมาะสมและความสะดวกในการซื้อหา ฉนวนทำมาจากเส้นใยแก้วถักทอกันเป็นแผ่นแล้วจึงอัดเป็นแผ่นด้วยส่วนผสมของอีพอกซีเรซิน เคลือบแผ่นทองแดงบางๆติดกันด้วยกาว ส่วนแผ่นพิมพ์วงจรแบบอลูมิเนียม มีฟังก์ชันการกระจายความร้อนที่ดีกว่าแผ่นพิมพ์วงจรแบบธรรมดา โดยทั่วไปประกอบด้วยสามชั้น คือ ชั้นวงจร (พอยล์ทองแดง) ชั้นฉนวนกันความร้อนและชั้นฐานโลหะ ซึ่งตามข้อเสนอแนะของชิปแอลอีดีแนะนำให้ใช้แผ่นพิมพ์วงจรแบบอลูมิเนียมจะทำให้แอลอีดีมีประสิทธิภาพทางแสงดี ดังรูป

ที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.4 การเลือกอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี

เมื่อพิจารณาเลือกประเภทของชิปแอลอีดี และเลนส์ที่จะใช้ในการสร้างโคมไฟแอลอีดี พร้อมทั้งออกแบบลักษณะการต่อวงจรของชิปแอลอีดี สิ่งที่ควรพิจารณาต่อ คือ อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการควบคุมกระแสของแอลอีดี เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดกับชิปแอลอีดี เนื่องจากขณะใช้งานชิปแอลอีดีแล้ว จะเกิดความร้อนควบคู่ออกมาด้วย ส่งผลให้เมื่ออุณหภูมิของชิปแอลอีดีเพิ่มสูงขึ้น แรงดันของตัวแอลอีดีจะลดลงตาม เป็นผลให้กระแสที่ไหลเข้าชิปแอลอีดีเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นก่อนการจ่ายกระแสให้กับแอลอีดีควรต่ออุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีซึ่งมีลักษณะคล้ายบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหม้อแปลงสำหรับหลอดไฟที่มีแรงดันต่ำนั้นเข้าไปควบคุมกระแสที่จ่ายไปยังแอลอีดีให้คงที่ จำลองการต่อร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีกับวงจรหลอดแอลอีดี แสดงได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วงจรชิปแอลอีดีกับอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี

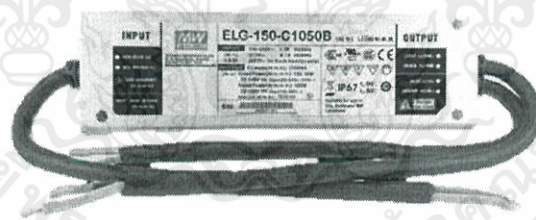
การพิจารณาอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี เริ่มพิจารณาจากการศึกษาประเภท และความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีทั้ง 2 ชนิด คือ Internal Drivers และ External Drivers อีกทั้งยังแบ่งตามลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีได้ 2 แบบ คือ Constant Current Drivers และ Constant Voltage Drivers ซึ่งจากการพิจารณาแรงดันขาออกของวงจรที่ได้ออกแบบไว้ จึงเลือกใช้อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีแบบ External Drivers ทำงานในโหมด Constant Current เนื่องจากโคมไฟแอลอีดีที่เราออกแบบนั้นต้องถูกใช้กลางแจ้ง อีกทั้งวงจรแอลอีดีนั้นมีชิปเป็นจำนวนมาก จึงไม่เหมาะหากจะติดตั้งอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีลงไปภายในวงจรด้วย

ดังนั้นอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่ใช้ควรจะเป็น External Drivers และเป็นแบบ Constant Current

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้ อีกทั้งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังชิปแอลอีดีมีผลต่อการเปล่งแสง และอายุการใช้งานของชิปแอลอีดีถ้าจ่ายกระแสให้กับตัวชิปเต็มกำลัง จะทำให้ชิปแอลอีดีเปล่งแสงออกมาได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ชิปจะเกิดความร้อนสูง ดังนั้น อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่เลือกใช้ควรเป็นอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่จ่ายกระแสต่ำกว่าพิกัดการทำงานของชิปแอลอีดีที่ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ชิปแอลอีดีจะมีอุณหภูมิของชิปไม่สูงมากเกินไป เพื่อยืดอายุการใช้งานให้กับตัวชิปแอลอีดี

เมื่อทราบประเภทของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่จะใช้งานแล้ว จึงทำการเลือกอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่เหมาะสมกับวงจรที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาเข้า แรงดันและกระแสขาออกของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี เนื่องจากแรงดันขาออกของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี จะเป็นแรงดันเดียวกันกับที่จ่ายไปยังแอลอีดี ต่อมาพิจารณากำลังไฟฟ้าขาออก ซึ่งควรที่จะมีค่าแรงดันขาออกเท่ากับกำลังไฟฟ้าของวงจรแอลอีดีด้วย ความปลอดภัยของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีก็เป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาการจัดอันดับ IP ก็มีผลต่อการพิจารณา เนื่องจากอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่ใช้จะต้องอยู่กลางแจ้งที่ต้องพบเจอกับฝุ่นและน้ำอย่างแน่นอน ดังนั้นแล้วอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีควรจัดอยู่ใน IP66 หรือ IP67 จึงจะเหมาะสม รวมถึงอีกหนึ่งในการพิจารณาเลือกชิปแอลอีดี คือ ประสิทธิภาพ ค่าตัวประกอบกำลังและความสามารถอื่นๆ ที่อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีสามารถทำได้ เช่น ความสามารถในการหรี่แสงแอลอีดีของอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีเป็นหนึ่งในความสามารถที่ถูกนำมาพิจารณาในที่นี้ อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่พิจารณา มา คือ Meanwell ELG-150-C1050B มีลักษณะดังรูปที่ 3.24 และมีข้อมูลของอุปกรณ์ ดังตารางที่ 3.13



รูปที่ 3.24 Meanwell ELG-150-C1050B LED Driver

ตารางที่ 3.13 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีแต่ละบริษัท

รุ่น	อินพุต		เอาต์พุต			ประสิทธิภาพ (%)	ราคา (บาท)
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)		
ELG-150-C1050B	200~305	0.9	72~143	1.05	150.15	92	1,586.71

เหตุผลที่เลือก Meanwell เนื่องเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์ขับแอลอีดีที่ได้รับความนิยม และมีราคาอุปกรณ์ที่ไม่สูงมาก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่หลากหลายพร้อมรับกับโหลดที่เป็นที่ต้องการ และเพื่อให้พร้อมรับกับวงจรทุกชิปแอลอีดีที่ถูกเลือกมาในหัวข้อที่ 3.3.1.2 ELG-150-C1050B จึงมีความคุ้มค่าคุ้มค่า และเหมาะสมที่จะนำมาใช้มากที่สุด

จากโดยปกติแล้วชิปแอลอีดีจะทำงานที่แรงดัน 24.5 โวลต์ กระแส 160 มิลลิแอมป์ จะทำให้ค่าความสว่างที่ 610 ลูเมนต่อชิป เมื่อต่อขนานกัน 8 แดว โดยแต่ละแดวจะต่อชิปแอลอีดีอนุกรมกัน 6 ชิป อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีที่เลือกมาสามารถจ่ายกระแสคงที่ที่ 1.05 แอมป์แรงดัน 72-143 โวลต์ เมื่อนำอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีมาต่อกับวงจรแอลอีดี จะลดกระแสอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีเป็น 0.86 แอมป์ แต่ละชิปแอลอีดีได้รับกระแส 107.5 มิลลิแอมป์ และแรงดัน 23.3 โวลต์ และเมื่อรวมกำลังไฟฟ้าที่ชิปใช้ กับกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีใช้ จะทราบว่าทั้งโคมไฟจะใช้กำลังไฟฟ้า 130.4 วัตต์

### 3.3.2.5 การออกแบบแผงระบายความร้อน

ค่าความต้านทานความร้อนของแผงระบายความร้อนสามารถคำนวณหาโดยคิดรวมค่าความร้อนจากแผ่นลายวงจรพิมพ์ 1 แผ่น และชิปแอลอีดี 12 ชิป ดังนี้

- แผ่นลายวงจรพิมพ์แบบอลูมิเนียม

1. ค่าความต้านทานความร้อนของชิป ( $R_J$ ) ดูจากเอกสารข้อมูลของตัวชิปแอลอีดี มีค่า 2 เคลวินต่อวัตต์ ขนาดของชิปแอลอีดี คือ กว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5.18 มิลลิเมตร คิดเป็นพื้นที่ 25.9 ตารางมิลลิเมตร 1 แผ่น PCB ใช้ชิปแอลอีดี 12 ชิป ค่าความต้านทานความร้อนต่อแบบขนานกัน

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{J\text{-total}}} &= \frac{1}{R_J} + \frac{1}{R_J} + \dots + \frac{1}{R_J} \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \\ R_{J\text{-total}} &= 0.167 \text{ K/W} \end{aligned}$$

2. ค่าความต้านทานความร้อนของแผ่น PCB ( $R_C$ ) กว้าง 43.5 มิลลิเมตร ยาว 145 มิลลิเมตร คิดเป็นพื้นที่ 6307.5 ตารางมิลลิเมตร

a) ค่าความต้านทานความร้อนของทองแดง โดยทองแดงของแผ่น PCB มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 380 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และมีความหนาของแผ่น 35 ไมโครเมตร คิดเฉพาะพื้นที่ที่วางชิปแอลอีดี

$$\begin{aligned} R &= \frac{L}{kA} = \frac{35 \times 10^{-6}}{380 \times 25.9 \times 10^{-6}} = 0.00355 \text{ K/W} \\ \frac{1}{R_{CU\text{-total}}} &= \frac{1}{R_{CU}} + \frac{1}{R_{CU}} + \dots + \frac{1}{R_{CU}} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{CU-total} = 0.000355 \text{ K/W}$$

b) ค่าความต้านทานความร้อนของอลูมิเนียม โดยอลูมิเนียมของแผ่น PCB มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 200 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และมีความหนา 1.6 มิลลิเมตร

$$R = \frac{L}{kA} = \frac{1.6 \times 10^{-3}}{200 \times 6307.5 \times 10^{-6}} = 0.00126 \text{ K/W}$$

∴ ค่าความต้านทานความร้อนของแผ่น PCB = 0.000355 + 0.00126 = 0.00161 K/W

3. ค่าความต้านทานความร้อนของกาวซิลิโคน ( $R_g$ ) ใช้เป็นตัวยึดติดระหว่างแผ่น PCB กับแผงระบายความร้อน เลือกใช้ arctic silver มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 8.9 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน หนา 0.1 มิลลิเมตร

$$R = \frac{L}{kA} = \frac{1 \times 10^{-3}}{8.9 \times 6307.5 \times 10^{-6}} = 0.01781 \text{ K/W}$$

4. ค่าความต้านทานความร้อนของแผงระบายความร้อน ( $R_{th}$ )

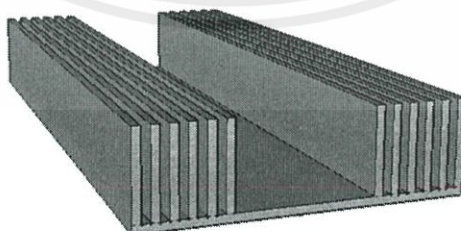
$$\text{จาก } T_J = P_D \times R_{JA} + T_a$$

$$\text{และ } R_{JA} = R_J + R_T + R_g + R_{th}$$

โดยอุณหภูมิของชิปแอลอีดี 75 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายนอก 35 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} R_{th} &= \frac{T_J - T_a}{P_D} - R_J - R_T - R_g \\ &= \frac{75 - 35}{2.97 \times 12} - 0.167 - 0.00161 - 0.01781 \\ &= 0.936 \text{ K/W} \end{aligned}$$

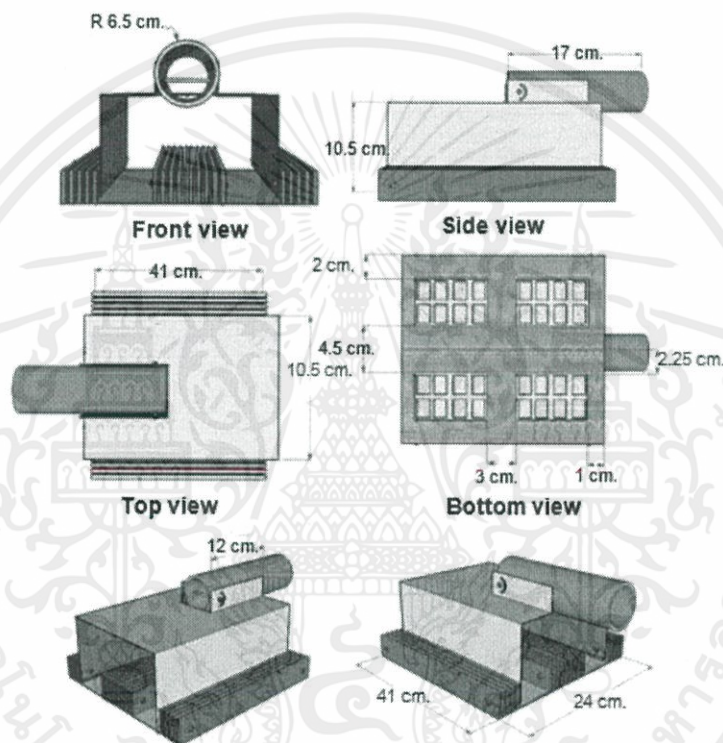
ดังนั้น ควรเลือกแผงระบายความร้อนเมื่อติดตั้งอุปกรณ์บนแผ่นลายวงจรพิมพ์แบบอลูมิเนียมที่มีค่าความต้านทานความร้อนของแผงระบายความร้อน 0.936 K/W ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แผงระบายความร้อน

### 3.3.2.6 การออกแบบลักษณะของโคมไฟถนนแอลอีดี

โคมไฟถนนแอลอีดีถูกออกแบบให้มีขนาดที่พอเหมาะ สามารถประกอบชิ้นส่วนอื่นที่ได้ออกแบบไว้ได้ทั้งหมดบนตัวโคม ซึ่งประกอบด้วยแผ่นพิมพ์วงจรที่ประกอบชิปแอลอีดี และต่อร่วมกับเลนส์ จำนวน 4 แผงบนด้านหน้าโคมไฟ ส่วนด้านหลังโคมไฟมีลักษณะเป็นแผงระบายความร้อน เพื่อระบายความร้อนให้กับชิปแอลอีดีขณะทำงาน อีกทั้งยังต่ออุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีไว้กับตัวโคมไฟแอลอีดี นอกจากนี้เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุน และง่ายต่อการหาอุปกรณ์มาประกอบโคมไฟแอลอีดีจึงออกแบบลักษณะของโคมไฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.26



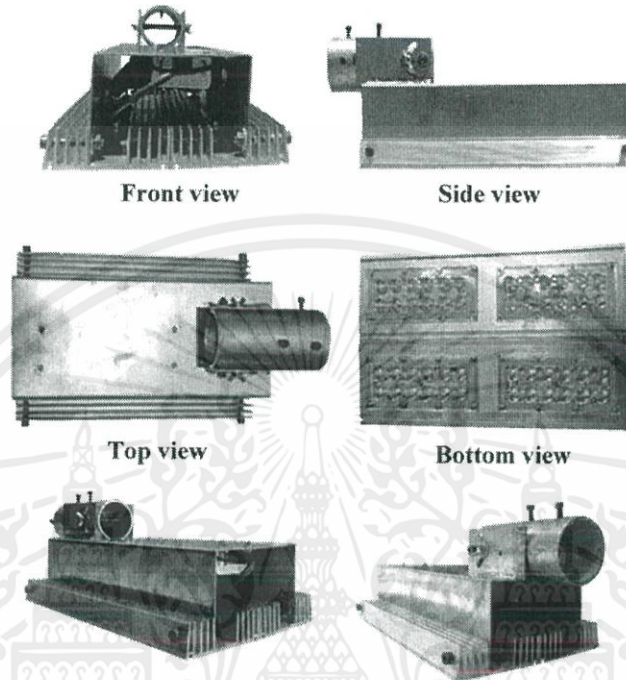
รูปที่ 3.26 การออกแบบโคมไฟถนนแอลอีดี

### 3.3.2.7 การบูรณาการวงจรแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน

การออกแบบที่กล่าวมาข้างต้นตั้งแต่หัวข้อที่ 3.3.1.1 ถึง 3.3.1.8 เมื่อนำมาประกอบรวมกันจะได้โคมไฟแอลอีดีที่มีขนาด 0.240×0.410×0.180 เมตร และมีองค์ประกอบดังนี้

- ชิปแอลอีดี จำนวน 48 ชิป ต่อเป็นวงจรขนาน 8 กิ่ง แต่ละกิ่งอนุกรม 6 ชิป พร้อมอุปกรณ์ขับแอลอีดีที่ตรงตามความต้องการของวงจร
- เลนส์ จำนวน 4 แผง ซึ่งภายในประกอบมีชิปเรียงตัวเป็นวงจรบนแผ่นพิมพ์วงจรที่ออกแบบ (ต่อวงจรขนาน 2 กิ่ง แต่ละกิ่งต่ออนุกรม 6 ชิป) 12 ชิปแอลอีดี

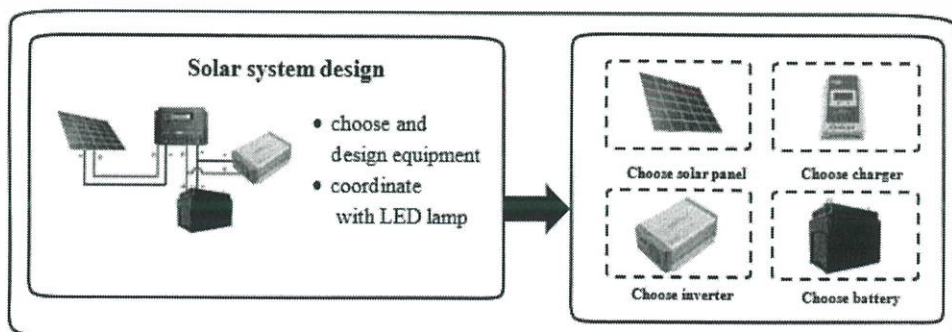
- แผงระบายความร้อน ขนาด 4x16 นิ้ว จำนวน 2 แผง ประกอบเป็นคอมไฟถนนแอลอีดีตามที่ออกแบบและชิปแอลอีดี เลนส์ และอุปกรณ์ขับแอลอีดีลงบนตัวคอมไฟได้ลักษณะเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 คอมไฟถนนแอลอีดี

#### 3.4 การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทำงานร่วมกับคอมไฟแอลอีดีที่ออกแบบ

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำงานร่วมกับคอมไฟแอลอีดีที่ออกแบบเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับคอมไฟถนนแอลอีดีแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้า โดยระบบโซลาร์เซลล์ออกแบบมาให้สามารถจ่ายพลังงานให้กับคอมไฟถนนแอลอีดีต่อวันเท่านั้น หากไม่มีการชาร์จเกิดขึ้น เนื่องจากอาจไม่มีแสงอาทิตย์ในบางวัน เช่น วันที่ฝนตก คอมไฟถนนแอลอีดีจะใช้พลังงานจากระบบของการไฟฟ้าแทน ดังรูปที่ 3.28 จะแสดงมีรายละเอียดของงานที่จะต้องทำในส่วนนี้



รูปที่ 3.28 การออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับใช้ในงานวิจัยเท่านั้น มิใช่ผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 การเลือกแผงโซลาร์เซลล์

การออกแบบพิจารณาการใช้โซลาร์เซลล์กับโคมไฟแอลอีดีแทนการใช้ไฟจากการไฟฟ้า เริ่มจากการทดสอบโคมไฟฟาดนแอลอีดี (ชิปแอลอีดีกับอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี) จะใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 132.9 วัตต์ และต้องถูกใช้งานในเวลากลางวัน (18.00 - 6.00 น.) รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง ซึ่งในเวลา 18.00 – 22.00 น. จะใช้โคมไฟถนนแอลอีดีเต็มประสิทธิภาพของโคมไฟ เนื่องจากในช่วงเวลานี้ยังมีการสัญจรที่หนาแน่น ส่วนในเวลา 22.00 – 02.00 น. โคมไฟจะถูกหรี่แสงลงให้เหลือการส่องสว่างเพียง 40 เปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพโคมไฟทั้งหมด เพื่อเป็นการประหยัดงานในช่วงที่การสัญจรปานกลาง และช่วงเวลา 02.00 – 05.00 น. เป็นช่วงการสัญจรน้อย โคมไฟจะถูกหรี่แสงลงให้เหลือการส่องสว่างเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพโคมไฟทั้งหมด และโคมไฟถนนแอลอีดีกลับมาทำงานเต็มประสิทธิภาพของโคมไฟอีกครั้งในช่วง 05.00 – 06.00 น. เนื่องจากในช่วงเวลานี้จะกลับมามีการสัญจรที่หนาแน่นอีกครั้ง ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการตลอดเพื่อจ่ายให้โคมไฟแอลอีดีทั้ง 12 ชั่วโมง คำนวณได้จาก

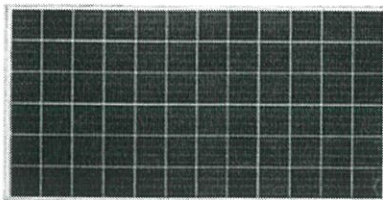
$$\begin{aligned} \text{พลังงานไฟฟ้าต่อวัน} &= \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{จำนวนชั่วโมง} \\ &= (132.9 \times 5) + (53.16 \times 4) + (26.58 \times 3) \\ &= 956.88 \text{ วัตต์. ชั่วโมง} \end{aligned}$$

เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในแต่ละวันแล้วก็จะสามารถคำนวณหาขนาดแผงโซลาร์เซลล์ได้โดยกำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในแต่ละวันหารด้วยชั่วโมงที่มีแสงแดดในที่นี่จะประมาณ 5 ชั่วโมงที่จะสามารถให้ความเข้มแสงต่อแผงโซลาร์เซลล์ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ เมื่อคำนวณจะได้

$$\begin{aligned} \text{ขนาดแผงโซลาร์เซลล์} &= \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวัน}}{\text{ชั่วโมงที่มีแสงแดด}} \\ &= \frac{956.88}{5} \\ &= 191.38 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ขนาดมากกว่า 200 วัตต์

แผงโซลาร์เซลล์ที่ถูกพิจารณาเลือกมาเป็นโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline เพราะ Mono Crystalline และ Poly Crystalline ทั้งสองแบบมีคุณภาพที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ที่ขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากัน แผงโซลาร์เซลล์แบบ Mono Crystalline จะมีขนาดเล็กกว่า เหมาะสำหรับการติดตั้งที่ต้องการประหยัดพื้นที่ แต่ขณะเดียวกันก็มีราคาที่สูง เมื่อเทียบความเหมาะสม และความคุ้มค่า แผงโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline ที่มีราคาที่ประหยัดกว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบ Mono Crystalline จึงเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แผงโซลาร์เซลล์

### 3.4.2 การเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จ

การเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จโดยเลือกจากกระแส และแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ กำลังไฟฟ้าของเครื่องควบคุมการชาร์จจะต้องมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ดังนั้น ควรเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จที่มีกำลังไฟฟ้ามากกว่า 200 วัตต์ ซึ่งเครื่องควบคุมการชาร์จมี 2 ประเภท แบ่งตามลักษณะการทำงาน คือ PWM กับ MPPT ซึ่งเครื่องควบคุมการชาร์จ MPPT จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อทำงานเวลาที่มีแสงน้อย ทำให้กำลังโดยรวมที่ได้จะลดลงมาก ดังนั้นถ้าใช้อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จแบบ PWM ในบางครั้งการชาร์จแบตเตอรี่อาจไม่เต็มความจุ จึงเลือกใช้เครื่องควบคุมการชาร์จ MPPT ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 เครื่องควบคุมการชาร์จ MPPT

### 3.4.3 การเลือกอินเวอร์เตอร์

ขนาดอินเวอร์เตอร์ (INVERTER) สามารถคำนวณหาได้จากกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้ โดยขนาดของอินเวอร์เตอร์จะต้องมีกำลังไฟฟ้ามากกว่ากำลังไฟฟ้าของโหลด ซึ่งโหลดที่ใช้มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 132.9 วัตต์ จึงเลือกควรเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีกำลังไฟฟ้ามากกว่า อินเวอร์เตอร์มีอยู่ 2 แบบ คือ Pure Sine Wave กับ Modifier Sine Wave จากการพิจารณาแบบ Pure Sine Wave มีความปลอดภัยต่ออุปกรณ์มากกว่าเหมาะกับอุปกรณ์ทุกประเภท จึงเลือกใช้แบบ Pure Sine Wave ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 อินเวอร์เตอร์ Pure Sine Wave

### 3.4.4 การเลือกแบตเตอรี่

การเลือกแบตเตอรี่ สามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน จาก

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของแบตเตอรี่} &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้}}{\text{แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่} \times \text{ความลึกของการคายประจุ} \times \text{ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์}} \\ &= \frac{956.88}{12 \times 0.8 \times 0.86} \\ &= 115.90 \text{ แอมป์.ชั่วโมง} \end{aligned}$$

แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบตเตอรี่ที่สามารถคายประจุน้อย (Shallow cycle Battery) และ แบตเตอรี่ที่สามารถคายประจุมาก (Deep cycle Battery) ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้เก็บสำรองไฟฟ้าในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ จะต้องเป็นแบบที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มาก สามารถจ่ายไฟฟ้าออกได้เป็นเวลานาน มีความทนทาน แบตเตอรี่ที่เหมาะสมคือแบบ Deep-Cycle Battery ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาให้สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้มาก ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของประจุไฟฟ้าทั้งหมด แต่แบตเตอรี่แบบ Shallow cycle สามารถปล่อยประจุได้เพียง 10-20 เปอร์เซ็นต์ จึงควรเลือกใช้แบตเตอรี่แบบคายประจุมาก ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แบตเตอรี่แบบคายประจุมาก

สามารถสรุปพิกัดของอุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 3.124 และแสดงชนิดพร้อมพิกัดของอุปกรณ์ที่เลือกใช้ ดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.14 พิกัดของอุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ

อุปกรณ์	พิกัดของอุปกรณ์
แผงโซลาร์เซลล์	มากกว่า 191.38 วัตต์
เครื่องควบคุมการชาร์จ	มากกว่า 200 วัตต์
อินเวอร์เตอร์	มากกว่า 130.4 วัตต์
แบตเตอรี่	115.90 แอมป์.ชั่วโมง

ตารางที่ 3.15 ชนิดและพิกัดของอุปกรณ์ที่เลือกใช้

อุปกรณ์	ชนิดของอุปกรณ์	พิกัดของอุปกรณ์	ราคาของอุปกรณ์
แผงโซลาร์เซลล์	Polycrystalline solar panel	200 วัตต์	5,500 บาท
เครื่องควบคุมการชาร์จ	MPPT	200 วัตต์	2,300 บาท
อินเวอร์เตอร์	Pure sine wave	200 วัตต์	3,000 บาท
แบตเตอรี่	Deep cycle Battery	120 แอมป์.ชั่วโมง	5,400 บาท

เมื่อทราบพิกัด และราคาของอุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และนำไปใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ โคมไฟถนนแอลอีดีจะสามารถลดค่าใช้จ่ายของค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในแต่ละวันได้ แต่หากในวันนั้นไม่มีแสงอาทิตย์ที่เพียงพอต่อการจ่ายพลังงานให้คอมพิวเตอร์ โคมไฟถนนแอลอีดีก็จะสามารถปรับเปลี่ยนระบบไปใช้พลังงานจากการไฟฟ้าแทนได้



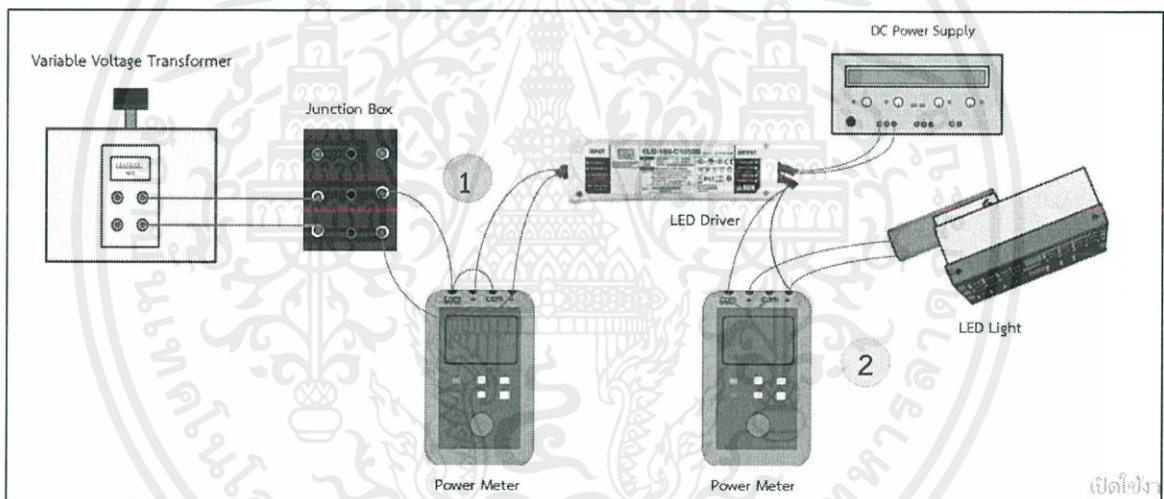
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบโคมไฟถนนแอลอีดีต้นแบบที่สร้างขึ้น เพื่อตรวจสอบ และปรับปรุงคุณภาพของโคมไฟแอลอีดีที่ได้ออกแบบให้เป็นไปตามที่ออกแบบ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) การทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้า 2) การทดสอบคุณภาพทางแสง และ 3) การทดสอบอุณหภูมิขณะทำงานของหลอด และ 4) การทดสอบการทำงานเมื่อต่อร่วมกับระบบจริง

#### 4.1 การทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้า

เป็นการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังของโคมไฟถนนแอลอีดีที่ได้ออกแบบไว้ ทั้งทางด้านอินพุต คือ ก่อนเข้าไดร์เวอร์แอลอีดีจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และเอาต์พุต คือ จากอุปกรณ์ขับแอลอีดีเข้าสู่วงจรชิปแอลอีดีจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

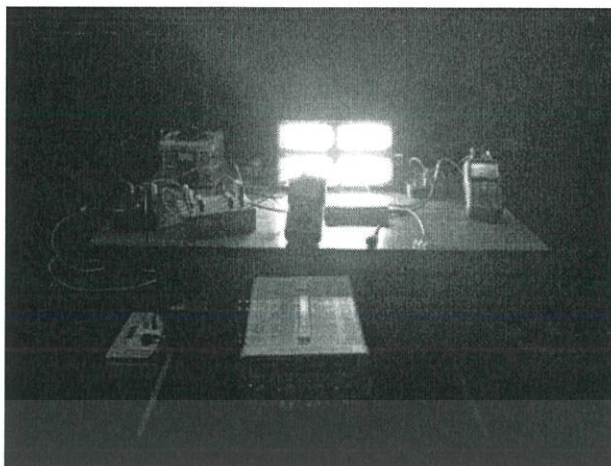


รูปที่ 4. 1 ไดอะแกรมการทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 1 ต่ วงจรการทดสอบพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าตามรูปที่ 4.1 เพื่อวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทั้งก่อนเข้าอุปกรณ์ขับแอลอีดี และวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ออกจากอุปกรณ์ขับแอลอีดี โดยวงจรการทดสอบจริงเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.2

ขั้นตอนที่ 2 จ่ายแรงดันที่ 220 โวลต์ให้ฝั่งอินพุตของอุปกรณ์ขับแอลอีดี และอุปกรณ์ขับแอลอีดีจะถูกปรับให้จ่ายกระแส 860 มิลลิแอมป์ โดยใช้ฟังก์ชันการหรี่แสงของอุปกรณ์ขับแอลอีดีร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ขั้นตอนที่ 3 บันทึกผลค่าพารามิเตอร์ ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 3.1



รูปที่ 4. 2 การทดสอบคุณภาพทางไฟฟ้า

ตารางที่ 4. 1 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโคมไฟแอลอีดี

พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	
	อินพุตของโคมไฟ (ไฟฟ้ากระแสสลับ)	เอาต์พุตของไดร์เวอร์แอลอีดี (ไฟฟ้ากระแสตรง)
	1	2
กระแสไฟฟ้า (A)	0.601	0.860
แรงดันไฟฟ้า (V)	220	141.7
กำลังไฟฟ้าจริง (W)	132.9	121.9
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)	133.7	-
กำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR)	17.1	-
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.99	-
ประสิทธิภาพ	0.917	

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ค่ากำลังไฟฟ้าของโคมไฟแอลอีดีมีค่า 132.9 วัตต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ และใช้พลังงานน้อยกว่าโคมไฟแบบดั้งเดิมถึง 53 เปอร์เซ็นต์ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่า 0.99 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงให้เห็นว่าโคมไฟแอลอีดีมีประสิทธิภาพทำให้เกิดพลังงานที่สูญเสียน้อย

#### 4.2 การทดสอบคุณภาพทางแสง

การทดสอบคุณภาพทางแสงจะทดสอบโดยใช้เครื่องโกนโไฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการทางแสงขมภูอินไหว ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อสร้าง IES file ซึ่งจะบอกข้อมูลที่จำเป็นของโคมไฟตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.8 ก่อนนำ IES file ไปจำลองรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนนในโปรแกรม Dialux

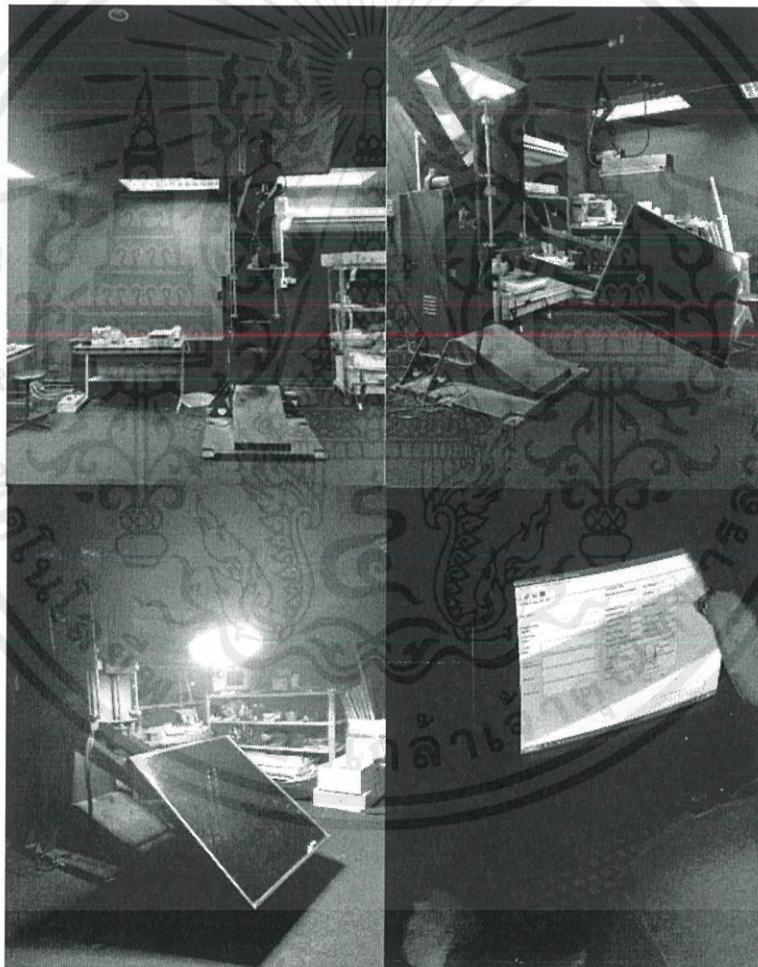
เพื่อตรวจสอบว่าโคมไฟที่ออกแบบมีคุณลักษณะเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่ รวมถึงผ่านตามาตรฐานกรมทางหลวงกำหนด การทดสอบเพื่อสร้าง IES file ดังรูปที่ 4.3

#### 4.2.1 การทดสอบเพื่อสร้าง IES file

ขั้นตอนที่ 1 ต่อวงจรการทดสอบ ดังรูปที่ 4.1 โดยติดตั้งโคมไฟถนนแอลอีดีกับเครื่องโกนีโอโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการทางแสงชมภูอินทิว

ขั้นตอนที่ 2 จ่ายแรงดันที่ 220 โวลต์ให้ฝั่งอินพุตของอุปกรณ์ขับแอลอีดี และอุปกรณ์ขับแอลอีดีจะถูกปรับให้จ่ายกระแส 860 มิลลิแอมป์ โดยใช้ฟังก์ชันการหรี่แสงของอุปกรณ์ขับแอลอีดีร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ขั้นตอนที่ 3 เก็บค่าพารามิเตอร์ทางแสงในห้องปฏิบัติการทางแสง ได้ผลการทดสอบความเข้มการส่องสว่างในระนาบ  $C - Y$  แสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4. 3 การทดสอบโคมเพื่อสร้าง IES file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 2 ผลการทดสอบความเข้มการส่องสว่างในระนาบ C -  $\gamma$ 

Luminous Intensity Distribution (Candela)													
$\gamma \backslash c$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197
5	196	202	205	212	217	215	220	125	216	212	204	201	195
10	196	207	213	228	237	234	243	232	236	227	212	205	194
15	199	217	226	247	256	256	264	254	254	243	222	212	195
20	202	226	240	265	276	277	284	276	273	259	232	219	197
25	212	244	261	287	289	287	286	286	285	279	250	233	203
30	221	262	282	308	301	297	288	296	298	300	268	247	208
35	241	298	311	329	295	284	254	282	291	316	292	281	225
40	273	340	354	355	265	238	189	238	266	348	339	316	254
45	296	359	397	354	217	170	125	171	221	342	367	324	264
50	288	363	402	321	149	110	91	110	157	315	373	336	259
55	286	371	399	288	101	81	68	82	107	283	376	348	262
60	281	359	381	240	67	61	48	61	72	232	360	342	263
65	258	315	334	167	47	42	35	42	48	160	320	293	240
70	199	217	262	81	34	30	26	30	33	75	245	189	182
75	101	93	151	38	24	21	17	21	24	35	131	79	87
80	28	24	54	24	17	13	11	13	16	22	44	22	25
85	13	12	22	14	12	11	7.61	11	11	13	20	12	13
90	8.39	6.66	9.56	7.61	7.57	7.64	4.76	6.72	6.66	6.69	8.64	5.76	7.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเข้มการส่องสว่างในระนาบ C -  $\gamma$  (ต่อ)

Luminous Intensity Distribution (Candela)												
$\gamma \backslash c$	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
0	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197
5	191	187	178	174	176	170	176	174	179	188	192	196
10	184	178	160	151	155	143	156	154	161	179	188	196
15	178	163	138	124	126	115	127	125	140	166	185	199
20	172	148	116	97	97	86	97	99	119	153	181	202
25	170	135	102	84	82	74	83	86	105	143	183	212
30	169	123	87	70	67	63	68	72	91	132	184	221
35	176	114	75	61	56	50	57	63	79	123	195	241
40	189	112	67	50	48	45	49	50	72	123	212	273
45	182	109	58	46	44	42	44	45	65	123	216	296
50	171	97	51	43	41	45	42	43	57	112	243	288
55	169	82	46	47	47	63	45	44	50	97	199	286
60	164	72	48	77	78	110	76	72	46	86	191	281
65	146	69	68	109	133	146	116	106	62	82	165	258
70	98	64	90	109	131	121	132	110	88	76	112	199
75	46	51	77	85	97	85	99	88	89	56	52	101
80	21	41	55	52	56	35	61	54	65	43	22	28
85	12	30	26	24	25	16	28	30	31	31	14	13
90	5.76	12	7.76	7.79	9.64	4.89	11	7.87	8.77	14	5.84	8.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ IES file โดยโปรแกรม Dialux

เมื่อได้ IES file ของโคมไฟต้นแบบแล้ว จะนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Dialux เพื่อดูค่าพารามิเตอร์ทางแสงที่สำคัญ รวมถึงกราฟคุณลักษณะต่างๆ ที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของโคมไฟต้นแบบ การจำลองถนนสายหลักโดยติดตั้งโคมไฟถนนแอลอีดีในรูปแบบกึ่งคูที่เกาะกลาง มีช่องทางการจราจร 4 ช่องจราจร และกำหนดลักษณะการติดตั้งตามที่กรมทางหลวงกำหนด ดังตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก พร้อมทั้งนำไปเปรียบเทียบคุณภาพแสงให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งโคมไฟถนนของกรมทางหลวง ดังตารางที่ ก.6 ภาคผนวก ก ลักษณะการติดตั้งถูกกำหนด ดังนี้

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. ความสูงเสา                              | : 9 เมตร      |
| 2. จำนวนช่องจราจร                          | : 4 ช่องจราจร |
| (ทางไป 2 ช่องจราจร และทางกลับ 2 ช่องจราจร) |               |
| 3. ระยะห่างเสา                             | : 32 เมตร     |
| 4. ความกว้างช่องจราจร                      | : 3.5 เมตร    |
| 5. ความกว้างเกาะกลางถนน                    | : 2.5 เมตร    |
| 6. ความกว้างไหล่ทาง                        | : 2.5 เมตร    |

เมื่อนำ IES file มาจำลองการติดตั้งไฟถนนในโปรแกรม Dialux จะทำให้ทราบค่าคุณสมบัติเฉพาะของโคมไฟแอลอีดี ดังต่อไปนี้

- 1) ประสิทธิภาพการส่องสว่างของโคมไฟ
- 2) ลักษณะการกระจายแสง
- 3) ลักษณะการส่องสว่างบนท้องถนน
- 4) การเปรียบเทียบตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง

##### 4.2.2.1 ประสิทธิภาพการส่องสว่างของโคมไฟ

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพทางแสงของโคมไฟแอลอีดีว่าเมื่อสร้างขึ้นจริงจะมีผลลัพธ์เป็นไปตามที่ออกแบบ

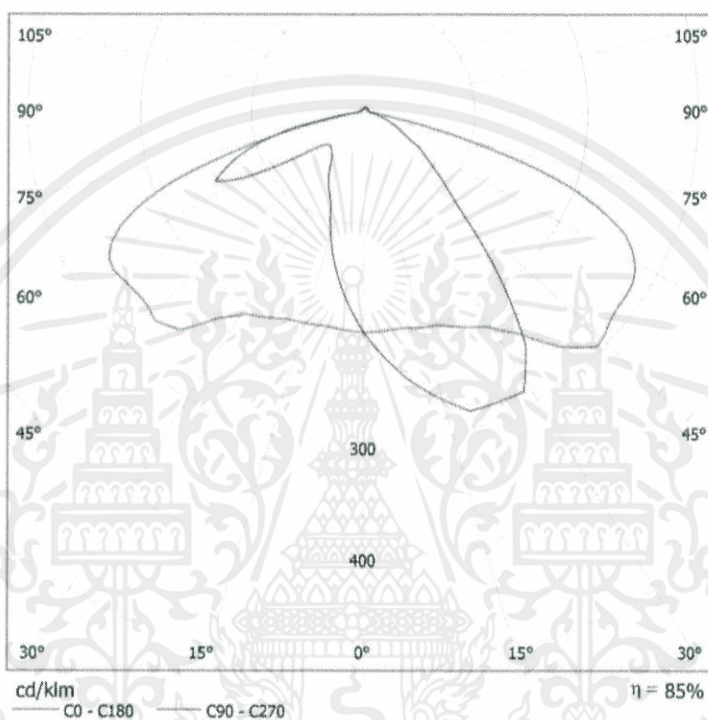
#### ตารางที่ 4. 3 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ทางแสงของโคมไฟแอลอีดี

พารามิเตอร์ทางแสง	พิกัดของโคมไฟแอลอีดี
ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกแบบ	20,496 lm
ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกจริง	17,375 lm
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง	153 lm/w
อัตราส่วนแสงออกมา	84.77%

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกแบบ 20,496 ลูเมน เมื่อนำไปทดสอบคุณภาพทางแสง จะได้ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกจริง 17,375 ลูเมน ทำให้อัตราส่วนแสงออกมาเป็น 84.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพของเลนส์และความร้อนของชิปแอลอีดี

#### 4.2.2.2 ลักษณะการกระจายแสง

เป็นกราฟที่บ่งบอกลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟแอลอีดี ซึ่งจะแบ่งการกระจายออกเป็น 2 รูปแบบ คือ กราฟระนาบ C0 – 180 และกราฟระนาบ C90 – 270

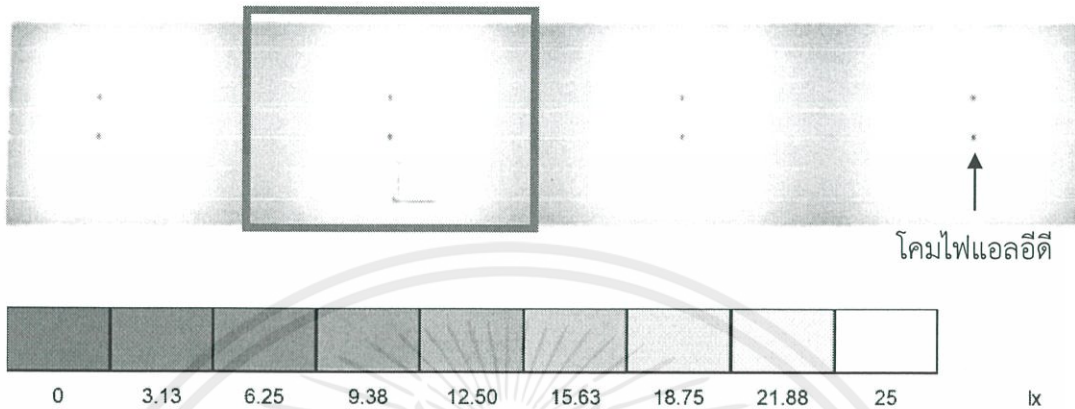


รูปที่ 4. 4 กราฟการกระจายแสง

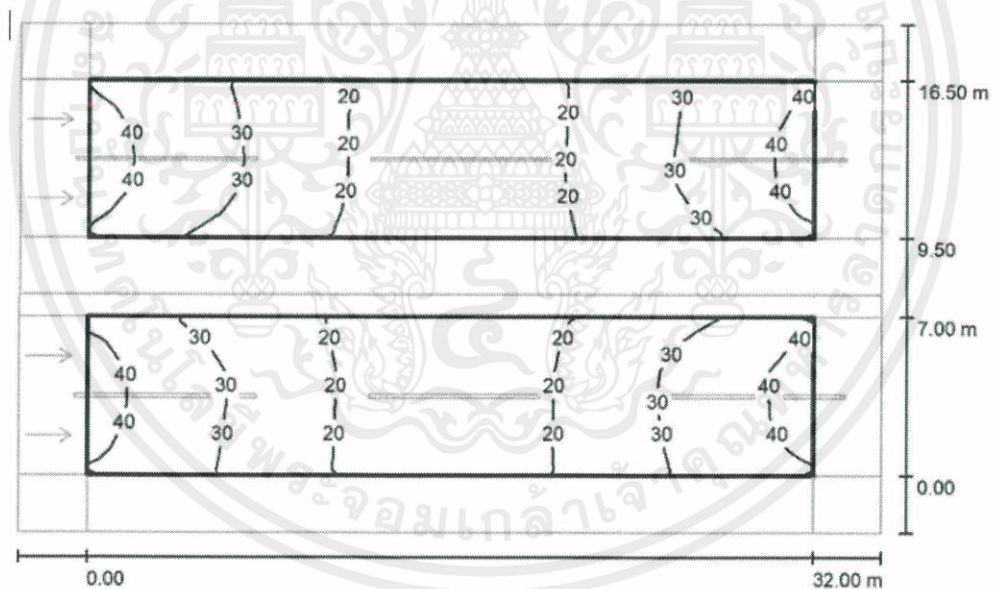
จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า กราฟในแนวระนาบ C0 – 180 เป็นลักษณะการกระจายแสงในแนวขนานกับแนวถนน ซึ่งกราฟมีลักษณะสมมาตรกันทั้งซ้ายและขวาของโคมไฟแอลอีดีและมีมุมการกระจายแสงประมาณ 150 องศา ส่วนกราฟในแนวระนาบ C90 – 270 เป็นลักษณะการกระจายแสงในแนวตั้งฉากกับแนวถนน ซึ่งกราฟมีลักษณะไม่สมมาตรกันเนื่องจากเป็นกราฟที่บอกลักษณะการกระจายแสงในด้านหน้าโคมไฟและหลังโคมไฟ ซึ่งกราฟในด้านหน้าโคมไฟจะต้องมีการกระจายแสงที่มากกว่าด้านหลังโคม

### 4.2.2.3 ลักษณะการส่องสว่างบนท้องถนน

กราฟแต่ละเส้นจะแสดงค่าความส่องสว่างที่เท่ากันบนพื้นที่ระหว่างเสา ที่เกิดจาก  
ฟลักซ์การส่องสว่างจากโคมไฟ



รูปที่ 4.5 แถบสีแสดงความส่องสว่างบนท้องถนน



รูปที่ 4.6 กราฟไอโซไลน์แสดงความส่องสว่างบนท้องถนน

จากรูปที่ 4.5 จะแสดงความสามารถในการส่องสว่างเป็นแถบสีที่เห็นได้ว่าพื้นที่บน  
ถนนที่อยู่ใกล้กับโคมไฟที่ติดตั้งจะมีความส่องสว่างมากที่สุด และความส่องสว่างจะลดลงตาม  
ระยะห่างของโคมไฟที่ติดตั้ง ส่วนในรูปที่ 4.6 เป็นการขยายรูปที่ 4.5 ในกรอบสีแดงให้เห็นได้ชัดยิ่งขึ้น  
ถึงลักษณะของการกระจายความส่องสว่างในรูปของกราฟไอโซไลน์ที่บอกเป็นค่าความส่องสว่างบน  
พื้นผิวถนน แทนการบอกเป็นแถบสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.4 การเปรียบเทียบตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง

1) คุณสมบัติทางแสงเทียบกับมาตรฐาน โดยค่าพารามิเตอร์ทางแสงต่างๆที่กำหนดในมาตรฐานกรมทางหลวง มีค่าอธิบายอยู่ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3

ตารางที่ 4. 4 ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ซ้าย

ค่าที่ต้องการเปรียบเทียบ	ค่ามาตรฐาน	ค่าจากการจำลอง
ความสว่างเฉลี่ย ( $L_{av}$ , (cd/m <sup>2</sup> ))	≥1.5	1.69
ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง ( $U_0$ )	≥0.4	0.60
ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ )	≥0.7	0.73
ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน ( $T_i$ , (%))	≤10	10
อัตราส่วนโดยรวม (SR)	≥0.5	0.83
ความส่องสว่างเฉลี่ย ( $E_{av}$ , (lux))	≥21.5	29
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{min}$ , (lux))	-	16
ความส่องสว่างสูงสุด ( $E_{max}$ , (lux))	-	46

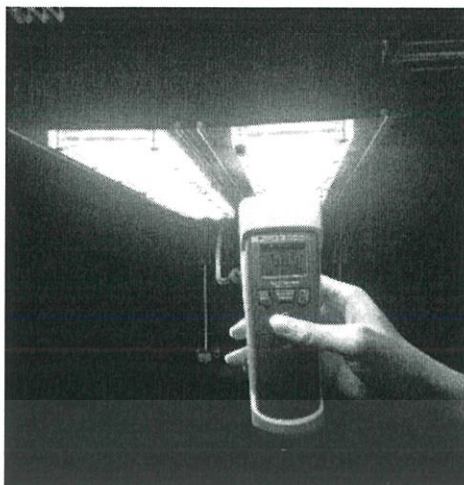
ตารางที่ 4. 5 ค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ขวา

ค่าที่ต้องการเปรียบเทียบ	ค่ามาตรฐาน	ค่าจากการจำลอง
ความสว่างเฉลี่ย ( $L_{av}$ , (cd/m <sup>2</sup> ))	≥1.5	1.73
ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง ( $U_0$ )	≥0.4	0.58
ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ )	≥0.7	0.71
ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน ( $T_i$ , (%))	≤10	10
อัตราส่วนโดยรวม (SR)	≥0.5	0.83
ความส่องสว่างเฉลี่ย ( $E_{av}$ , (lux))	≥21.5	29
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{min}$ , (lux))	-	16
ความส่องสว่างสูงสุด ( $E_{max}$ , (lux))	-	46

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าจากการจำลองการติดตั้งไฟถนนในโปรแกรม Dialux มีค่าที่เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

#### 4.3 การทดสอบอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์

การทดสอบอุณหภูมิของอุปกรณ์ที่ทำงานทุก 10 นาที และทดสอบจนกว่าอุณหภูมิจะคงที่ เพื่อให้ทราบถึงอุณหภูมิสูงสุดขณะที่โคมไฟถนนแอลอีดีทำงาน โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้



รูปที่ 4. 7 การทดสอบอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 1 ต่อบริการทดสอบ ดังรูปที่ 4.1

ขั้นตอนที่ 2 จ่ายแรงดันที่ 220 โวลต์ให้ฝั่งอินพุตของอุปกรณ์ขับแอลอีดี และอุปกรณ์ขับแอลอีดีจะถูกปรับให้จ่ายกระแส 860 มิลลิแอมป์ โดยใช้ฟังก์ชันการหรี่แสงของอุปกรณ์ขับแอลอีดีร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ขั้นตอนที่ 3 วัดค่าอุณหภูมิที่ขับแอลอีดีด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดดังรูปที่ 4.7 และบันทึกผล แสดงอุณหภูมิการทำงานของโคมไฟถนนแอลอีดีแสดงดังตารางที่ 4.5 และแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟได้ดังรูปที่ 4.6

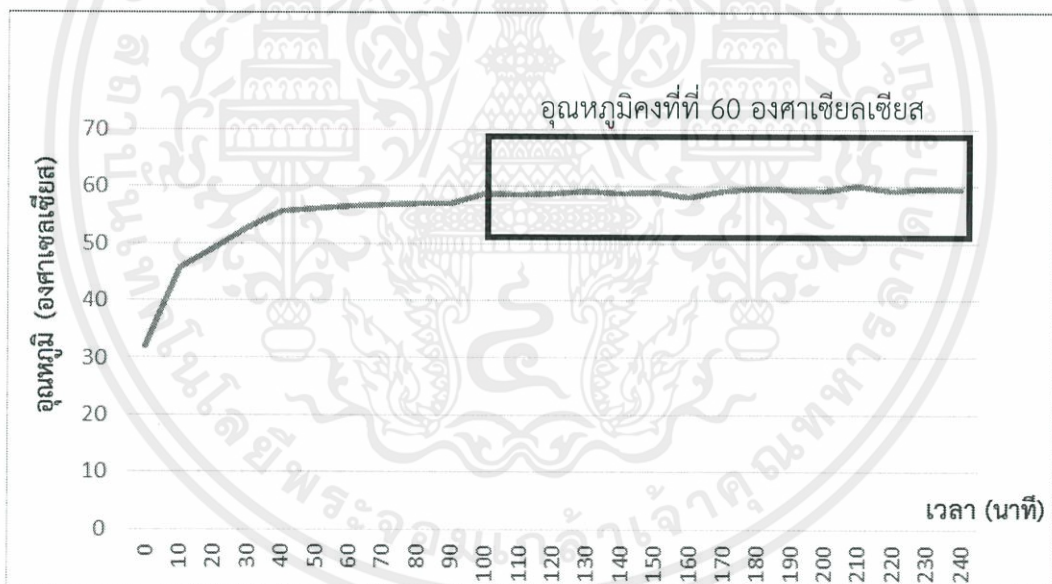
ตารางที่ 4. 6 อุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์ที่อุณหภูมิห้อง

เวลา (นาท)	อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)
0	32
10	45.7
20	49.2
30	52.7
40	55.6
50	56.1
60	56.5
70	56.8
80	56.9
90	57.1
100	58.7
110	58.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์ที่อุณหภูมิห้อง (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)
120	58.9
130	59.2
140	58.8
150	59.1
160	58.2
170	59.2
180	59.8
190	59.4
200	59.3
210	60.1
220	59.3
230	59.6
240	59.5



รูปที่ 4.8 กราฟอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์

จากตารางที่ 4.6 และกราฟที่ 4.6 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อคอมไพเลอร์แอลอีดีเริ่มทำงานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 60 องศาเซลเซียส และจะคงที่ที่อุณหภูมินี้ต่อไป เป็นผลของการเลือกใช้แผ่นพิมพ์วงจร และการออกแบบแผงระบายความร้อน ทำให้ชิปแอลอีดีทำงานที่อุณหภูมิไม่สูงเกินที่ชิปแอลอีดีจะรับไหว รวมไปถึงอุปกรณ์อื่นที่เป็นส่วนประกอบในคอมไพเลอร์ยังสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิเท่านี้ต่อเนื่องไป โดยไม่เกิดความเสียหายของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การเปรียบเทียบโคมไฟแบบดั้งเดิมกับโคมไฟแอลอีดี

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าโคมไฟแอลอีดีที่ออกแบบมีประสิทธิภาพและสามารถใช้งาน ได้จริง รวมทั้งคุณภาพทางแสงและทางไฟฟ้าเป็นไปตามที่ออกแบบซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโคมไฟ โคมโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์

##### 4.4.1 การเปรียบเทียบคุณภาพทางไฟฟ้า

โดยทั่วไปโคมไฟโซเดียมความดันไอสูงที่ติดตั้งอยู่บนท้องถนนมีกำลังไฟฟ้า 285 วัตต์ แต่โคมไฟแอลอีดีที่ออกแบบมีกำลังไฟฟ้า 132.9 วัตต์ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าลดลง 53.36 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น ซึ่งหากเลือกติดตั้งโคมไฟแบบ แอลอีดีแทนการติดตั้งโคมไฟโซเดียมความดันไอสูงเป็นผลให้ใช้พลังงานลดลง เมื่อใช้พลังงานลดลง ค่าใช้จ่ายก็จะลดลงด้วย โดยจะแสดงการเปรียบเทียบไว้ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อ 1 โคม

เปรียบเทียบค่าไฟฟ้า ที่หน่วยละ 3.5 บาท	โคมไฟโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์	โคมไฟแอลอีดี
จำนวนชั่วโมงเปิดใช้งาน	12 ชม/วัน	12 ชม/วัน
กำลังไฟฟ้า	285 วัตต์	132.9 วัตต์
1 วันใช้ไฟ (หน่วย)	3.42 หน่วย	1.59 หน่วย
ค่าไฟ 1 วัน	11.97 บาท	5.57 บาท
ค่าไฟ 1 ปี	4,369.1 บาท	2,033.1 บาท
ค่าไฟที่ลดลงต่อ 1 ปี	-	2,336.0 บาท

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบราคาและความคุ้มทุน

ประเภทโคมไฟถนน	ราคาโคม (บาท)	ค่าไฟฟ้า 1 ปี (บาท)	ค่าไฟที่ประหยัดได้ 1 ปี (ปี)	จำนวนปีที่ คุ้มทุน (ปี)
โคมไฟถนนดั้งเดิม (HPS)	6,500	4,369.1	-	-
โคมไฟถนนแอลอีดี	8,400	2,033.1	2,336.0	3.59
โคมไฟถนนแอลอีดี พลังงานแสงอาทิตย์	24,600	0	4,369.1	5.63

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้โคมไฟโซเดียมความดันไอสูงจะจ่ายค่า ไฟฟ้า 4,369.1 บาทต่อปี แต่เมื่อใช้โคมไฟแอลอีดีจะจ่ายค่าไฟ 2,033.1 บาทต่อปี ทำให้ค่าไฟฟ้า ลดลง 2,336 บาทต่อปี ซึ่งราคาโคมไฟแอลอีดีที่ออกแบบมีราคา 8,400 บาท ถ้าทำการติดตั้งโคมไฟ

แอลอีดีแทนโคมไฟแบบดั้งเดิม จะคุ้มทุนภายใน 3.6 ปี และเมื่อนำโคมไฟแอลอีดีใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะคุ้มทุนภายใน 5.63 ปี

#### 4.4.2 การเปรียบเทียบคุณภาพทางแสง

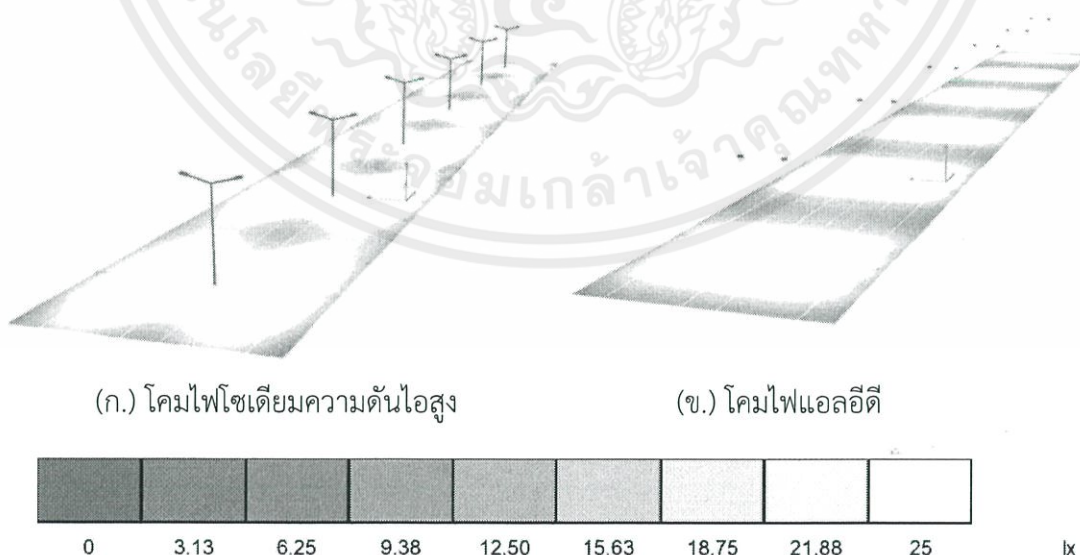
โดยทั่วไปโคมไฟโซเดียมความดันไอสูงที่ติดตั้งอยู่บนท้องถนนมีฟลักซ์การส่องสว่างสูงกว่ามาตรฐานเกินความจำเป็น ทำให้กำลังไฟฟ้าสูง แต่โคมไฟแอลอีดีที่ออกแบบมีฟลักซ์การส่องสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งานและเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเป็นไปตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4. 9 เปรียบเทียบคุณภาพทางแสง

พารามิเตอร์ทางแสง	โคมไฟโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์	โคมไฟแอลอีดี
ฟลักซ์การส่องสว่าง	28,000 lm	20,496 lm
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง	98 lm/w	153 lm/w
อัตราส่วนแสงที่ออกมา	81.74%	84.77%

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าถึงแม้โคมไฟโซเดียมความดันไอสูง มีฟลักซ์การส่องสว่างที่สูงกว่าโคมไฟแอลอีดี แต่ประสิทธิภาพการส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า และ อัตราส่วนแสงที่ออกมา ของโคมไฟแอลอีดีมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ซึ่งจากการนำ IES file ของโคมไฟโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟแอลอีดีมาจำลองรูปแบบการติดตั้งโคมไฟถนน ในโปรแกรม Dialux ซึ่งจะได้ลักษณะการกระจายแสงบนท้องถนนดังรูปที่ 4.9 และได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดไว้ตามตารางที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4. 9 ลักษณะการกระจายแสงบนท้องถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 10 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ซ้าย

ค่าที่ต้องการเปรียบเทียบ	ค่ามาตรฐาน	โคมไฟโซเดียม ความดันไอสูง 250 วัตต์	โคมไฟแอลอีดี
ความสว่างเฉลี่ย ( $L_{av}$ , ( $cd/m^2$ ))	$\geq 1.5$	2.33	1.69
ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง ( $U_0$ )	$\geq 0.4$	0.60	0.60
ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ )	$\geq 0.7$	0.67	0.73
ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน ( $Ti$ , (%))	$\leq 10$	7	10
อัตราส่วนโดยรวม (SR)	$\geq 0.5$	0.71	0.83
ความส่องสว่างเฉลี่ย ( $E_{av}$ , (lux))	$\geq 21.5$	39	29
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{min}$ , (lux))	-	18	16
ความส่องสว่างสูงสุด ( $E_{max}$ , (lux))	-	58	46

ตารางที่ 4. 11 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางแสงของเลนส์ขวา

ค่าที่ต้องการเปรียบเทียบ	ค่า มาตรฐาน	โคมไฟโซเดียม ความดันไอสูง 250 วัตต์	โคมไฟแอลอีดี
ความสว่างเฉลี่ย ( $L_{av}$ , ( $cd/m^2$ ))	$\geq 1.5$	2.33	1.73
ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง ( $U_0$ )	$\geq 0.4$	0.60	0.58
ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ )	$\geq 0.7$	0.67	0.71
ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน ( $Ti$ , (%))	$\leq 10$	7	10
อัตราส่วนโดยรวม (SR)	$\geq 0.5$	0.71	0.83
ความส่องสว่างเฉลี่ย ( $E_{av}$ , (lux))	$\geq 21.5$	39	29
ความส่องสว่างต่ำสุด ( $E_{min}$ , (lux))	-	18	16
ความส่องสว่างสูงสุด ( $E_{max}$ , (lux))	-	58	46

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ของโคมไฟโซเดียมความดันไอสูง มีค่าความสว่างเฉลี่ยและความส่องสว่างเฉลี่ยสูงกว่ามาตรฐานเกินความจำเป็น และความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนนที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งต่างจากโคมไฟแอลอีดีที่มีค่าพารามิเตอร์ทางแสงทุกค่าที่เป็นไปตามมาตรฐาน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปผลการทดสอบออกมาได้ว่า โคมไฟถนนแอลอีดีต้นแบบสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ โดยค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโคมไฟถนนแอลอีดีต้นแบบจะใช้กำลังไฟฟ้า 132.9 วัตต์ ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าโคมไฟแบบดั้งเดิมได้ถึง 53.36 เปอร์เซ็นต์ ค่าพารามิเตอร์ทางแสงทั้งความส่องสว่างของโคมไฟ และลักษณะการกระจายของแสงที่เป็นตามการคำนวณ และการจำลองผ่านโปรแกรม Dialux ก่อนการสร้างโคมไฟ รวมไปถึงค่าความร้อนที่จะไปลดทอนประสิทธิภาพของการส่องสว่างของโคมไฟ และอายุการใช้งานของอุปกรณ์จากการออกแบบทำให้มีผลทางความร้อนเป็นไปในทางที่ดี ซึ่งชิปแอลอีดีสามารถทำงานได้ต่อเนื่องที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียสตลอดเวลา และจากผลการทดสอบทั้งหมดจะสามารถบอกได้ว่า โคมไฟถนนแอลอีดีที่ออกแบบสามารถนำมาใช้ทดแทนโคมไฟแบบดั้งเดิมได้จริง อีกทั้งเมื่อนำโคมไฟถนนแอลอีดีที่ออกมาติดตั้งทดแทนจะสามารถคุ้มทุนได้ภายใน 3.6 ปี นอกจากนี้โคมไฟถนนแอลอีดีต้นแบบยังถูกออกแบบมาให้ใช้งานร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แทนการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้า แต่หากเกิดสภาวะที่ไม่สามารถผลิตพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบ จะมีระบบควบคุมในส่วนที่ 2 ในระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะมาช่วยควบคุมปรับเปลี่ยนแหล่งจ่ายพลังงานจากการใช้พลังงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานของการไฟฟ้าแทน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การบัดกรีชิปแอลอีดีลงบนแผ่นพีซีบี ควรใช้วิธีการเป่าลมร้อนโดยใช้เครื่องบัดกรีแบบอบลมร้อน (Solder reflow oven)

5.2.2 แผงระบายความร้อน ควรเลือกใช้แผงที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สามารถระบายความร้อนของชิปแอลอีดีให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสม

5.2.3 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ควรวางในตำแหน่งที่เหมาะสม เพราะจะทำให้การชาร์จประจุของแบตเตอรี่ มีประสิทธิภาพต่ำ

5.2.4 เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และแปรเปลี่ยนตามฤดูกาล ถ้าในช่วงความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำแบตเตอรี่จะไม่สามารถชาร์จประจุได้เพียงพอ ต่อการจ่ายไฟฟ้าให้โคมไฟแอลอีดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Suntiti Yoomak, Chaiyan Jettanasen, Atthapol Ngaopitakkul, Sulee Bunjongjit and Monthol Leelajindakraierk., “Comparative study of lighting quality and power quality for LED and HPS luminaires in a roadway lighting system”, 2017 journal, 2017, P 542-557
- [2] Youssef Hassan, Mohamed Orabi, Mohamed Ismeil and Abdulaziz Alshreef., “Study the Effect of Series and Parallel LEDs Connections on the Output Current Ripple for LED Driver of Solar Street Lighting”, 2017 Conference Paper, P 19-21, 2017
- [3] Witoon Prommee and Napaporn Phuangpornpitak., “Illuminance and Luminance for LED Street Light Optic Designs: Comparison between Big Lens and Small Lens”, 2016 GMSARN International Journal, 2016. P 41-46
- [4] Rick Frosch., “Constant-Voltage vs. Constant-Current LED Drivers”, 2013 White paper, 2013
- [5] Ethan Biery, Thomas Shearer, Roland Ledyard, Dan Perkins and Manny Feris., “Controlling LEDs”, 2014 Technical white paper, 2014
- [6] Aenel Murtuza, Ms. Mehtab Fatima, Sudhanshu Kumar and Rishabh Anand., “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SOLAR BASED SMART STREET LIGHTNING SYSTEM”, 2017 IEEE International Conference On Smart Technology for Smart Nation, 2017, P 283-287
- [7] Maheshkumar Narsayya Bhairi, Manohar Suresh Edake, Shubhangi Shital Kangle and Bhaskar Shivraj Madgundi., “Design and Implementation of Smart Solar LED Street Light”, 2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics, 2017, P 509-512
- [8] Kiran Ranabhat, Leev Patrikeev, Aleksandra Antal’evna Revina, Kirill Andrianov, Valerii Lapshinsky and Elena Sofronova., “An Introduction to Solar cell technology”, 2016 Journal of Applied Engineering Science, 2016, P 405, 481-491
- [9] แววประดิษฐ์ นันทะลาด, รศ.ดร.ดำรงศฤทธิ วิบูลกิจจนกร, “การพัฒนาประสิทธิภาพวงจร วัตต์ ประจุแบตเตอรี่จากเซลล์แสงอาทิตย์โดยการติดตามค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด”, 2017 การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 2, 2017, หน้า 284-295
- [10] สมศักดิ์ มีนคร, “การพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบการคายประจุสูง สำหรับภารกิจทางทหาร”, 2018 บทความวิจัย, 2018, หน้า 109-121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [11] ศุภี บรรจงจิตร, วิศวกรรมการส่องสว่าง, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2538.
- [12] หทัยชนก หมิ่นกล้า, “พลังหลอดไฟ LED”, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556, หน้า 36-40
- [13] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, Heat and Mass Transfer , 5<sup>th</sup> edition, Mcgraw-Hill Education, Inc., 2015
- [14] สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคาร, หน้า 7-10 และ 17-21
- [15] M.Sc. Andreas Hagemeyer. “Basics of LED drivers.” [Online]. Available : [https://www.friwo.de/uploads/tx\\_kkdownloader/LED\\_drivers\\_basics\\_E.pdf](https://www.friwo.de/uploads/tx_kkdownloader/LED_drivers_basics_E.pdf). 2015
- [16] สุบิน แพทย์รัตน์. “การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์.” [Online]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.tpc.ac.th/images/Journal/solarcell.pdf>. 2560
- [17] “คู่มือแนะนำการติดตั้งอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกภัย” [Online]. เข้าถึงได้จาก: [http://bhs.doh.go.th/files/Project/Roadsides/Manual/Guideline\\_2.pdf](http://bhs.doh.go.th/files/Project/Roadsides/Manual/Guideline_2.pdf). 2555
- [18] “หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน” [Online]. เข้าถึงได้จาก: [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file\\_handbook/Pre\\_Heat/pre\\_heat\\_4.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_4.pdf). 2555
- [19] “ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปของงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/library/shelf/formula/page/Transport/DOH/files/169.pdf?fbclid=IwAR2XclQgEFQkK74CMpW6YH3actB16bj74EXvth3cQn8FJpJFZF9uR6E1snQ>. 2555



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## A Smart Solar Street Lighting Network : Part 1: Smart Solar Luminaires Design

Lalitphat Kaoian, Satsayamon Pujomjit, Suphawit Disthan,  
Hasanapong Ruangdam and Asst.Prof.Dr. Chow Chompoo-Inwai

### Abstract

This project presents design and construct of LED solar luminaire to replace conventional street lights which are high pressure sodium 250 watt. In order to improve quality of light and reduce energy consumption by using LED technology together with LED driver that includes lens to help distribution of LED light chips and using heat sink for reduce temperature while LED chips are working. To create LED luminaire for working together with solar energy system that can store energy in battery. The test result show the created LED luminaire can truly work. It has power 132.9 watt and quality of light according to department of highway standard.

### Introduction

This project idea designs a street light type LED light used to replace conventional light. To improve quality of light and reduce energy consumption. Mostly conventional street lights in Thailand are high pressure sodium which have low quality of light, high energy consumption, low color response rate and carbon dioxide emissions that cause greenhouse effect. The smart solar luminaires are designed and created by using LED that consume power form solar energy that stored in batteries. The result of smart solar luminaires is less energy consumption than conventional street lights. The more installed the more cost savings.

### Methodology

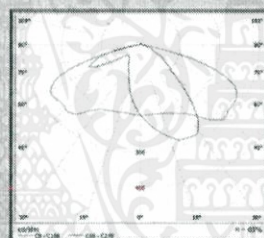
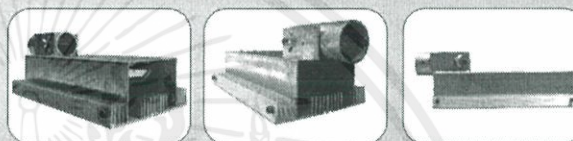
<p>Light distribution design</p>	<p>Circuit design</p> <p>LED driver</p> <p>constant current I<sub>out</sub> = 1050 mA V<sub>out</sub> = 72-143 V</p>	<p>Heat Sink and Enclosure design</p>	<p>IES file and simulate</p>	<p>Solar system design</p> <p>Solar Panel 200 W Battery 12V 120Ah Charge 200 W Inverter 200 W</p>
----------------------------------	--	---------------------------------------	------------------------------	---

### References

- [1] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, Heat and Mass Transfer, 5<sup>th</sup> edition, Mcgraw-Hill Education, Inc., 2015
- [2] Department of highway, Standard of installation street lighting, 2012
- [3] M.Sc. Andreas Hagemeyer, "Basics of LED drivers." [Online]. Available: [https://www.friwo.de/uploads/tx\\_kkdownloader/LED\\_drivers\\_basics\\_1.0.01\\_2015](https://www.friwo.de/uploads/tx_kkdownloader/LED_drivers_basics_1.0.01_2015)
- [4] Hathaichanok Muenkla, "Energy of LED chip", Science and Technology, 2013

E-mail: chaw.ch@kmitl.ac.th

### Results & Conclusion



- Power : 132.9 W
- Luminaire Efficacy : 154 lm/w
- Luminous flux : 20,496 lm
- Light Output Ratio : 84.77 %
- Input Voltage : 100-240Vac
- Frequency : 50 /60Hz
- Color Temperature : 4000 K

Suitable for installation of twin branches in the middle island

L <sub>sp</sub> (rd/m)	≥1.5	E <sub>av</sub> (lx) (2:1)-5
✓	1.72	✓ 29

LED street light effectively according to designed parameters of both electrical and lighting parameters, including the characteristics of distribution and illumination that according to Department of highway standard. And it came to pass, when determine the investment. If the installed led street light instead of conventional street lights can pay back within 3.6 years. when install LED light with solar system they pay back within 5.6 years.



ภาคผนวก ข  
บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบโครงข่ายไฟถนนอัจฉริยะ ส่วนที่ 1 การออกแบบโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

## A Smart Solar Street Lighting Network Part 1: Smart Solar Luminaires Design

นางสาวลลิตภัทร เก้าเอี้ยน, นางสาวศัสยมน ภูจอมจิตร,

นายศุภวิชัย ดิษฐาน, นายหัสณพงศ์ เรืองดำ

ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนน ฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520. โทร 02-329-8000 ต่อ 3203, 3205

อีเมล: registrar@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างโคมไฟถนนแอลอีดีพลังงานแสงอาทิตย์ (Smart Solar Luminaires Design) เพื่อนำมาใช้ทดแทนหลอดแบบดั้งเดิม เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางแสงและลดการใช้พลังงาน ซึ่งในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นหลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium) ที่มีคุณภาพทางแสงในการใช้งานต่ำ ใช้พลังงานสูงให้อัตราการตอบสนองสีที่ต่ำ อีกทั้งยังเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก โดยหลอดแอลอีดีที่ออกแบบจะทำงานร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นระบบที่สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ ยังมีการติดตั้งมากเท่าใดก็จะยิ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น ผลการทดสอบพบว่า โคมไฟต้นแบบที่สร้างขึ้นใช้พลังงานต่ำกว่าหลอดแบบดั้งเดิม และมีคุณภาพทางแสงเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งไฟถนนของกรมทางหลวง

### Abstract

This project presents the Smart Solar Luminaires that improve quality of light and reduce energy consumption. Mostly conventional street lights in Thailand are high pressure sodium which have low quality of light, high energy consumption, low color response rate and carbon dioxide emissions that cause greenhouse effect. The smart solar luminaires are designed and created by using LED that consume power form solar energy produced by solar cell and stored in batteries. The result of smart solar luminaires is less energy consumption than conventional street lights and high quality of light according to department of highway standard.

### 1. บทนำ

โครงการนี้มีแนวคิดที่จะออกแบบโคมไฟชนิดหลอดแอลอีดี (LED) เพื่อนำมาใช้ทดแทนหลอดแบบดั้งเดิม เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางแสง ซึ่งในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นหลอดไฟโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium) ที่มีคุณภาพทางแสงในการใช้งานต่ำให้อัตราการตอบสนองสีที่ต่ำ อีกทั้งยังเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก โดยออกแบบให้ทำงานร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นระบบที่สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ เพราะแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีต้นทุน ยังมีการติดตั้งมากเท่าใดก็จะยิ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น

#### 1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) วิเคราะห์ และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับหลอดไฟแอลอีดี
- (2) สร้างโคมไฟถนนแอลอีดี เพื่อนำมาใช้ทดแทนโคมไฟแบบดั้งเดิม
- (3) ออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ากำลัง
- (4) ศึกษาการทำงานร่วมกันของโคมไฟถนน กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ

#### 1.2 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาและสร้างโคมไฟถนนแอลอีดีโดยสามารถรับพลังงานได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ทดแทนโคมไฟแบบดั้งเดิมให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง นอกจากนี้ได้ศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของโคมไฟถนนแอลอีดี เช่น ชิปแอลอีดี แอลอีดี อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี และระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อได้โคมไฟถนนแอลอีดีจะนำไปทดสอบคุณสมบัติทางแสง พร้อมปรับปรุงแก้ไข และสร้างเป็น IES file ก่อนนำข้อมูลของโคมไฟไปจำลองในโปรแกรม Dialux โดยทำการจำลองลักษณะรูปแบบการติดตั้งโคมไฟบนท้องถนนตามมาตรฐานของการติดตั้งไฟถนนทางหลวงสายหลักที่มีช่องจราจร 4 ช่องจราจร โดยติดตั้งโคมไฟแบบกึ่งคู่ที่เกาะกลาง เพื่อศึกษาข้อดี และข้อเสียของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคมไฟถนนแอลอีดีที่ออกแบบเปรียบเทียบกับโคมไฟแบบดั้งเดิม

### 1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

(1) ศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโคมไฟถนนแอลอีดี และระบบพลังงานแสงอาทิตย์

(2) เลือก และออกแบบวงจรชิปแอลอีดีร่วมกับอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี

(3) ออกแบบพิกัด และขนาดของอุปกรณ์ในส่วน of ระบบพลังงานแสงอาทิตย์

(4) ออกแบบแผงระบายความร้อน และรูปลักษณ์ภายนอกของโคมไฟถนนแอลอีดี

(5) จัดเตรียมอุปกรณ์ และเริ่มทำการติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของโคมไฟถนนแอลอีดี

(6) ทดสอบประสิทธิภาพ ปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดี พร้อมทั้งสร้างไฟล์ IES ของโคมไฟ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ

(7) ออกแบบการทำงานร่วมกันของโคมไฟถนนแอลอีดี กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

(8) บูรณาการงานทุกส่วนที่ออกแบบไว้

(9) แก๊ซ ปรับปรุง ชิ้นงาน

(10) สรุปผลการทดสอบ นำเสนองานและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 พารามิเตอร์ทางแสงสว่าง

(1) ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux:  $\Phi$ ) เป็นพารามิเตอร์ทางแสงทั้งหมดที่ส่องออกจากแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นลูเมน (lumen; lm)

(2) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity: I) เป็นความเข้มของแสงสว่างที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง มีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela; cd)

(3) ความส่องสว่าง (Illuminance: E) เป็นพารามิเตอร์ทางแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวต่อพื้นที่ อาจเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting Illuminance level) มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์ (Lux; lx)

(4) ความสว่าง (Luminance: L) คือพารามิเตอร์ทางแสงสะท้อนออกมาจากพื้นผิวใดๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )

(5) อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) เป็นการระบุสีของแสงที่ปรากฏให้เห็น โดยเทียบกับสีที่เกิดจากการเปล่งสีของการเผาไหม้วัตถุดำอุดมคติ (Black body) ให้ร้อนที่อุณหภูมิที่กำหนด มีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin; K)

(6) ดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index: CRI or Ra) เป็นค่าที่บอกว่าแสงที่ส่องไปถูกวัตถุ ทำให้เห็นสีของวัตถุได้ถูกต้องมาก หรือน้อยเพียงใด ค่าดัชนีนี้มีหน่วย มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยกำหนดแสงอาทิตย์ช่วง

กลางวันเป็นดัชนีอ้างอิงเปรียบเทียบที่มีค่า  $Ra = 100$  ดังนั้น หากหลอดไฟที่มีค่า Ra ต่ำจะทำให้สีของวัตถุเพี้ยน

(7) ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity of Illumination:  $U_0$ ) ค่าความสม่ำเสมอของความสว่างมีความจำเป็นสำหรับการมองเห็นและเกี่ยวกับ Visual Comfort (ความสบายตาในการมองเห็น) ของคนขับรถ

(8) ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน ( $U_1$ ) คือค่าอัตราส่วนของความส่องสว่างต่ำสุดหารด้วยความส่องสว่างสูงสุด ตามแนวขนานกับถนน

(9) อัตราส่วนแสงจากโคม (Light Output Ratio: L.O.R) เป็นอัตราส่วนพารามิเตอร์ทางแสงที่ออกจากโคมต่อพารามิเตอร์ทางแสงที่ออกจากตัวหลอด ถ้าอัตราส่วนแสงจากโคมมีค่าหมายถึงพารามิเตอร์ทางแสงออกจากตัวโคมมีมาก ประสิทธิภาพของโคมในการสะท้อนแสงออกมาดี

(10) ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy) เป็นอัตราส่วนระหว่าง ฟลักซ์การส่องสว่าง (พารามิเตอร์ทางแสง) กับกำลังงานที่ทำให้เกิดฟลักซ์การส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ ( $\text{lm}/\text{w}$ )

(11) อัตราส่วนโดยรอบ (Surround Ratio, SR) เป็นการคำนวณรังสีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอยู่โดยรอบ โดยคำนวณจากอัตราส่วนความสว่างโดยรอบหารด้วยความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาทางวิ่งเดียวกัน

2.2 คุณสมบัติการกระจายแสง (Light Distribution) คุณสมบัติการกระจายแสงของโคมไฟฟ้าแบ่งได้ใน 4 ลักษณะ คือ

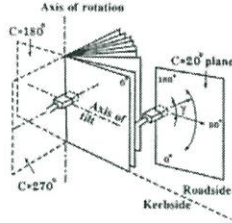
(1) การกระจายแสงแบบ Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงอย่างสมบูรณ์ ยอมให้มีแสงกระจายชั้นเล็กน้อย ให้แสงกระจายเหนือโคมบ้างเล็กน้อย เหมาะสำหรับติดตั้งในถนนที่การจราจรใช้ความเร็วสูง เช่น ทางด่วน ทางพิเศษระหว่างเมือง เป็นต้น

(2) การกระจายแสงแบบ Semi Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงที่สมบูรณ์ ลำแสงหลักของโคมไม่เปลี่ยนทิศทาง ให้แสงกระจายเหนือโคมไฟปานกลาง เหมาะสำหรับถนนที่มีพื้นที่ส่องข้างทางเป็นชุมชน และมีแสงจากสภาพแวดล้อมค่อนข้างมาก

(3) การกระจายแสงแบบ Non Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่ไม่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงเปลี่ยนทิศทางลำแสงหลักของโคมไฟให้แสงพุ่งกระจายเหนือโคมไฟมาก ก่อมลภาวะทางแสง (Sky Glow) ไม่เหมาะสมที่จะติดตั้งบนทางหลวง ใช้ได้กับถนนซอยขนาดเล็ก

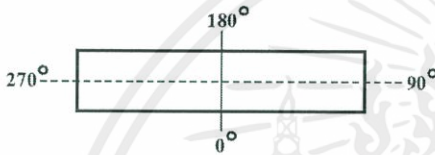
(4) การกระจายแสงแบบ Full Cut-off ได้แก่ โคมไฟที่มีแนวการควบคุมแนวส่องลำแสงสมบูรณ์ ไม่ยอมให้แสงกระจายชั้นด้านบน ไม่เปลี่ยนทิศทาง เหมาะสำหรับติดตั้งในระหว่างเมือง เป็นต้น

2.3 ระบบการกระจายแสงระบบ C-Y ระบบนี้ระบบเริ่มที่  $C=0^\circ$  ถึง  $C=360^\circ$  ซึ่งก็คือ  $C=0^\circ$  ในแต่ละระบบจะมีกราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง เริ่มจาก  $\psi=0^\circ$  ถึง  $\psi=90^\circ$  และ  $\psi=0^\circ$  ถึง  $\psi=-90^\circ$  ดังรูปที่ 1



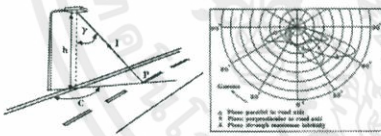
รูปที่ 1 ระนาบการกระจายแสงระบบ C-Y

ระนาบที่ถูกนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบระบบส่องสว่างมากที่สุดก็คือ ระนาบ C-Y มี 2 ระนาบ ที่มักนำมาพิจารณาการกระจายแสงคือ C0-180° มี 2 ระนาบต่อกันคือ C=0° กับ C = 180° ขวางกับแนวยาวของโคมไฟ C90-270° มี 2 ระนาบต่อกันคือ C = 90° กับ C=270° ขนานกับแนวยาวของโคมไฟ ดังรูปที่ 2 เมื่อมองจากด้านบนลงไปจะเห็นเส้นของทั้ง 2 ระนาบเป็นเส้นตั้งฉากกัน



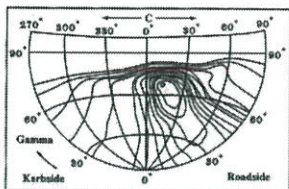
รูปที่ 2 ระนาบ C 0-180 และ C 90-270

2.4 กราฟการกระจายแสงของโคมไฟถนน กราฟกระจายแสงของโคมไฟถนนที่ใช้ในการออกแบบ มีหลายลักษณะตามวิธีการคำนวณ เช่น ถ้าคำนวณด้วยวิธีจุดต่อจุด จะใช้กราฟการกระจายแสงในระบบ C-Y ดังรูปที่ 3 ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายความเข้มการส่องสว่าง ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.3



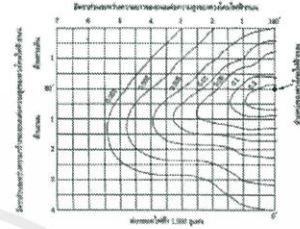
รูปที่ 3 ระนาบและกราฟการกระจายแสงระบบ C-Y

2.5 กราฟไอโซแคนเดลา (isocandela lighting distribution curve) ดังรูปที่ 4 จะแสดงการกระจายความเข้มในระนาบ C-Y เช่นกัน แต่จะแยกแยะให้เห็นระหว่างด้านหน้าโคมไฟหรือด้านถนน (roadside) กับด้านหลังโคมไฟหรือทางเท้า (kerb side)



รูปที่ 4 กราฟไอโซแคนเดลาที่ใช้คำนวณความส่องสว่างไฟถนน

2.6 กราฟไอโซลักซ์ หรือกราฟไอโซฟุตแคนเดิล (Isolux curve) ดังในรูปที่ 5 เป็นตัวอย่างกราฟไอโซฟุตแคนเดิล โดยกราฟแต่ละเส้นจะแสดงค่าความส่องสว่างที่เท่ากันบนพื้นที่เกิดจากฟลักซ์ส่องสว่าง 1,000 ลูเมน กราฟนี้ใช้กับเสาสูง 30 ฟุต ถ้านำไปใช้กับความสูงของเสาและค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่ต่างไปจากนี้ เพื่อให้ได้ที่ต้องการจะต้องคูณด้วยแฟกเตอร์ที่เหมาะสม



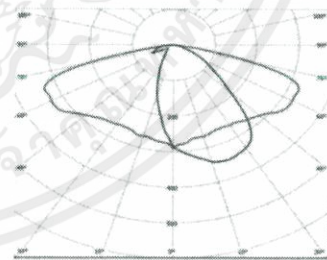
รูปที่ 5 กราฟไอโซลักซ์สำหรับคำนวณความส่องสว่างไฟถนน

3. การออกแบบโคมไฟ

3.1 การออกแบบโคมไฟแอลอีดี

การออกแบบเริ่มจากการศึกษาข้อมูลการติดตั้งโคมไฟถนนของถนนทางหลวงสายหลักที่มีลักษณะการติดตั้งหลากหลายรูปแบบ ซึ่งส่วนใหญ่บนถนนทางหลวงสายหลักจะใช้โคมไฟโซเดียมความดันไอสูง และติดตั้งในรูปแบบกึ่งคูที่เกาะกลาง มีช่องทางการจราจร 4 ช่องจราจร ดังนั้นเพื่อออกแบบโคมไฟถนนแอลอีดี จึงมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเลือกเลนส์ จากการศึกษากราฟการกระจายแสงของโคมไฟถนนที่ใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นมีประสิทธิภาพทางแสงที่เหมาะสมแก่การติดตั้งเป็นโคมไฟถนน จึงควรเลือกเลนส์ที่มีกราฟการกระจายแสงที่มีคุณสมบัติตามที่วิเคราะห์และศึกษา ดังรูปที่ 6

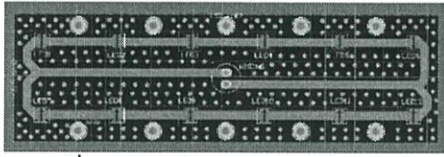


รูปที่ 6 กราฟการกระจายแสง

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกชิปแอลอีดี จากเลนส์ที่เลือกสามารถบรรจุชิปแอลอีดีที่มีขนาด 5x5 มิลลิเมตร ซึ่งชิปแอลอีดีที่เหมาะสมกับเลนส์ จะมีอุณหภูมิสีของแสง 4000 เคลวิน และดัชนีความถูกต้องของสี 80

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบแผงวงจร การออกแบบวงจรของชิปแอลอีดีถูกออกแบบโดยการต่อชิปแอลอีดีทั้งหมด 48 ชิป ในหนึ่งแผงวงจรจะต่อขนานกัน 2 แถว แต่ละแถวจะต่อชิปแอลอีดีอนุกรมกัน 6 ชิป และนำแผงต่อขนานกัน 4 แผง โดยบนแผ่นลายวงจรพิมพ์แบบ

อะลูมิเนียมจะถูกออกแบบให้ประกอบด้วย plate through hole ทั้งทั้งแผ่น ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลายพิมพ์วงจรบนแผ่นลายวงจรพิมพ์

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี จากการศึกษาชิปแอลอีดี กระแสไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อ การเปล่งแสงและอายุการใช้งานของชิปแอลอีดีดังนั้นควรใช้ อุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดีประเภทกระแสคงที่ ที่สามารถ ควบคุมการเปล่งแสงได้ และจัดอยู่ใน IP66 หรือ IP67

ขั้นตอนที่ 5 การออกแบบแผงระบายความร้อน จำนวนห้าความต้านทานความร้อนของแผงระบายความร้อน โดยระบายความร้อนจากแผ่น PCB 1 แผ่น และชิป แอลอีดี 12 ชิป

### 3.2 การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบการระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อ ทำงานร่วมกับโคมไฟแอลอีดีแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบของ การไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเลือกแผงโซลาร์เซลล์ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของโคมไฟแอลอีดีเท่ากับ 132.9 วัตต์ ดังนั้นควรเลือกแผงที่มีขนาดมากกว่า 200 วัตต์ ชนิด โพลีคริสตัลไลน์

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จ การเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จควรเลือกชนิด MPPT และมี กำลังไฟฟ้าของเครื่องควบคุมการชาร์จให้มีความมากกว่า กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกอินเวอร์เตอร์ ควรเลือก อินเวอร์เตอร์ชนิด Pure Sine Wave โดยขนาดของ อินเวอร์เตอร์จะต้องมีกำลังไฟฟ้ามมากกว่ากำลังไฟฟ้าของ โหลด

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกแบตเตอรี่ ควรเลือกชนิด deep cycle ที่มีขนาด 12 โวลต์ 120 แอมป์ชั่วโมง

## 4. การทดลองและผลการทดลอง

จะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ เพื่อ ตรวจสอบ และปรับปรุงคุณภาพของโคมไฟแอลอีดีที่ได้ ออกแบบให้เป็นไปตามที่คาดหวัง

4.1 การทดสอบโคมไฟถนนแอลอีดีตาม ที่ ออกแบบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 การทดสอบ ดังนี้

- การทดสอบ 1 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เป็นการ ทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และ ค่าตัวประกอบกำลังของโคมไฟถนนแอลอีดีที่ได้ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 1

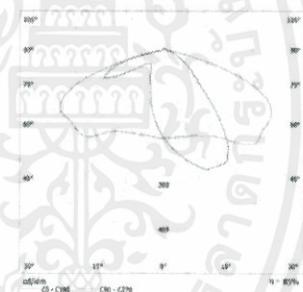
ตารางที่ 1 พิกัดของโคมไฟแอลอีดีของแอลอีดีไดรเวอร์

พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	พิกัดของโคมไฟแอลอีดี	
	อินพุต	เอาต์พุต
กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	0.601	0.860
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	220	141.7
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	132.9	121.9
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.99	1

- การทดสอบ 2 พารามิเตอร์ทางแสง เป็นการ ทดสอบเพื่อสร้าง IES file ซึ่งจะบอกข้อมูลที่เป็นของโคม ไฟที่ต้องมีดังตารางที่ 2 และได้กราฟการกระจายแสงดังรูปที่ 8

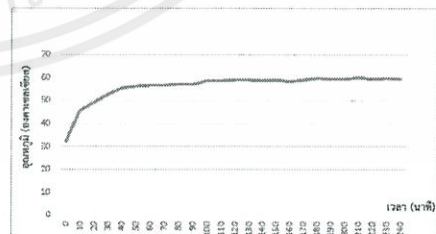
ตารางที่ 2 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ทางแสงของโคมไฟแอลอีดี

พารามิเตอร์ทางแสง	พิกัดของ โคมไฟ แอลอีดี
ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกแบบ (lm)	20496
ฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกจริง (lm)	17375
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/w)	153
อัตราส่วนแสงออกมา (%)	84.77



รูปที่ 8 กราฟการกระจายแสง

การทดสอบ 3 อุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์ การทดสอบอุณหภูมิของอุปกรณ์ที่ทำงาน เพื่อทราบถึง อุณหภูมิขณะทำงานของโคมไฟถนนแอลอีดี ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟอุณหภูมิการทำงานของอุปกรณ์

การทดสอบ 4 การจำลองการติดตั้งโคมไฟถนน แอลอีดีในโปรแกรม Dialux เป็นการนำค่าทางแสงที่ได้จาก ห้องปฏิบัติการทางแสงมาจำลองบนโปรแกรม ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ทางแสง

ค่าที่ต้องการเปรียบเทียบ	เลนส์ชาย		เลนส์ขวา	
	$L_{av}$ (cd/m)	$E_{av}$ (lux)	$L_{av}$ (cd/m)	$E_{av}$ (lux)
ค่ามาตรฐาน	$\geq$ 1.5	$\geq$ 21.5	$\geq$ 1.5	$\geq$ 21.5
ค่าจากการจำลอง	1.69	29	1.73	29



นางสาวศัสยมน ภูจอมจิตร  
รหัสนักศึกษา 58011206  
เบอร์โทรศัพท์ 0869939567  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายศุภวิชัย ดิษฐาน  
รหัสนักศึกษา 58011253  
เบอร์โทรศัพท์ 0939818021  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายหัสสมพงศ์ เรืองคำ  
รหัสนักศึกษา 58011385  
เบอร์โทรศัพท์ 0994833636  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 5.สรุปผลการทดลอง

โคมไฟถนนแอลอีดีมีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่ออกแบบทั้งค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า และพารามิเตอร์ทางแสง รวมถึงมีลักษณะการกระจายแสง และความส่องสว่างเป็นไปตามมาตรฐาน โดยค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโคมไฟถนนแอลอีดีต้นแบบจะใช้กำลังไฟฟ้า 132.9 วัตต์ ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าโคมไฟแบบดั้งเดิมได้ถึง 53.6 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาเมื่อคำนวณหาความคุ้มทุน หากนำไปติดตั้งแทนโคมไฟถนนแบบดั้งเดิมจะสามารถคุ้มทุนได้ภายใน 3.6 ปี

### เอกสารอ้างอิง

[1] ศุภิจ บรรจงจิตร, วิศวกรรมการส่องสว่าง, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2538.

[2] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, Heat and Mass Transfer , "5 " ^"th" edition, Mcgraw-Hill Education, Inc., 2015

[3] สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคาร, หน้า 7-10 และ 17-21

[4] M.Sc. Andreas Hagemeyer. "Basics of LED drivers." [Online]. Available: [https://www.friwo.de/uploads/tx\\_kkdownloader/LED\\_drivers\\_basics\\_E.pdf](https://www.friwo.de/uploads/tx_kkdownloader/LED_drivers_basics_E.pdf). 2015

[5] "คู่มือแนะนำการติดตั้งอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกพลอดภัย" [Online]. เข้าถึงได้จาก: [http://bhs.doh.go.th/files/Project/Roadsides/Manual/Guideline\\_2\\_.pdf](http://bhs.doh.go.th/files/Project/Roadsides/Manual/Guideline_2_.pdf). 2555

[6] "ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปของงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง" [Online]. เข้าถึงได้จาก: <http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/library/shelf/formula/page/Transport/DOH/files/169.pdf?fbclid=IwAR2XcclQgEFQkK74CmpW6YH3actB16bj74EXvth3cQn8FJpJFZf9uR6E1snQ>. 2555

2XcclQgEFQkK74CmpW6YH3actB16bj74EX

vth3cQn8FJpJFZf9uR6E1snQ. 2555

### ประวัติผู้เขียน



นางสาวลลิตภัทร เก้าเอี้ยน  
รหัสนักศึกษา 58011069  
เบอร์โทรศัพท์ 0909469865  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาคผนวก ค  
ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง

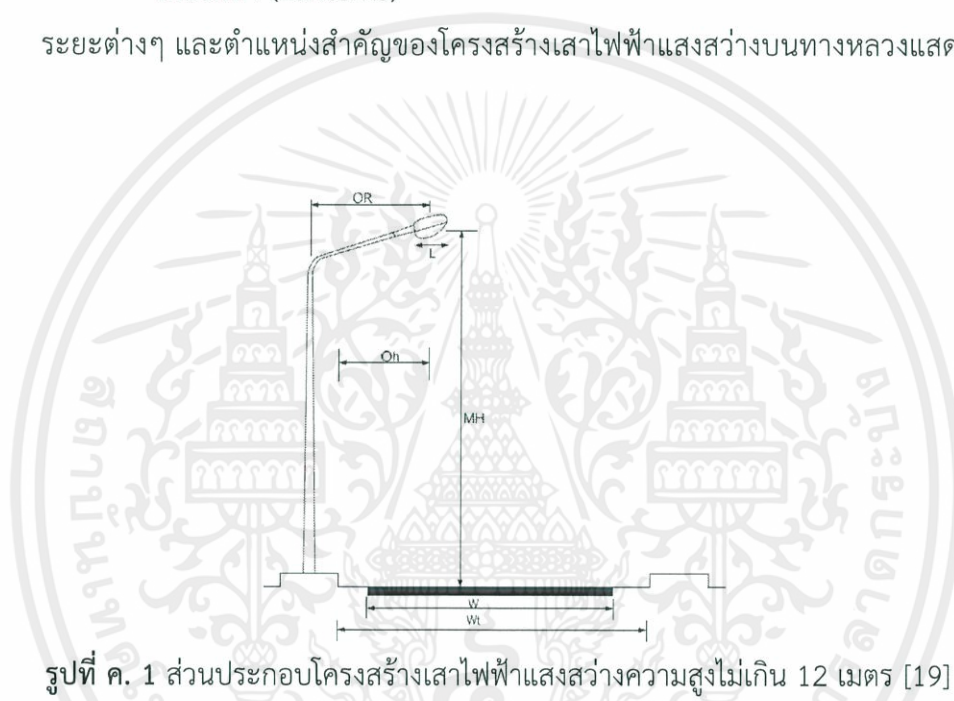
#### 1. วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and Equipments)

เสาไฟฟ้าแสงสว่างประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานดังต่อไปนี้

- ฐานราก (Foundations)
- เสา (Pole) และ ฐานเสา (Pole Base)
- กิ่งโคม (Bracket)
- โคมไฟฟ้า (Lanterns)

ระยะต่างๆ และตำแหน่งสำคัญของโครงสร้างเสาไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวงแสดงดังรูปที่

ค.1



โดยกำหนดตัวแปรต่างๆ แทนระยะ และตำแหน่งสำคัญของโครงสร้างเสาไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง ดังนี้

OR = ช่วงแขน	Oh = ระยะยื่น
MH = ความสูงของดวงโคม	W = ความกว้างช่องทางเดินรถ
Wt = ความกว้างถนน	L = ความยาวแหล่งกำเนิดแสง

1.1 ฐานราก (Foundations) จะถูกหล่อให้สูงจากระดับพื้นผิวเดิม 5 เซนติเมตร เพื่อให้เหลือพื้นที่สำหรับปรับระดับ และเชื่อมต่อเสา

1.2 เสา (Pole) ความสูงของดวงโคมจะต้องไม่ต่ำกว่า 7.5 เมตร และไม่เกินกว่า 12 เมตร (โดยทั่วไปจะใช้ความสูงของดวงโคมที่ 9 และ 12 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังความส่องสว่าง และลักษณะพื้นที่ใช้งาน)

1.3 กิ่งโคม (Bracket) โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของการติดตั้งดวงโคม (กิ่งเดี่ยว กิ่งคู่) ตำแหน่งดวงโคมที่ติดบริเวณปลายของกิ่งโคมต้องมีระยะยื่นเข้าไปในช่องจราจรเพื่อประสิทธิภาพการกระจายแสง ขณะที่โครงสร้างเสาจะติดตั้งที่ขอบทางเดินรถ ซึ่งการติดตั้งกิ่งโคมจะมีข้อกำหนดเบื้องต้น ดังนี้

- โครงสร้างของกิ่งโคมต้องแข็งแรง พยุงดวงโคมได้ในทุกสภาวะโดยปราศจากการเคลื่อนไหว และอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดดวงโคม

- กิ่งโคมที่ติดตั้ง จะทำมุมกับแนวราบประมาณ 15 องศา และจะถูกตรึงแน่นอยู่ที่ส่วนรองรับ โดยวิธีการเชื่อมสลักเกลียวหรือแผ่นโลหะ (Wall Plates)

- ในบางกรณีที่สภาพข้างทางไม่เหมาะต่อการติดตั้งตัวเสาไฟฟ้าแสงสว่างกิ่งโคมสามารถติดตั้งด้วยวิธีเชื่อมต่อกับโครงสร้างเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าได้แต่ต้องขออนุญาต และได้รับการยินยอมจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ

#### 1.4 โคมไฟฟ้า (Lanterns)

โคมไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนของตัวโคม อุปกรณ์สะท้อนแสง และอุปกรณ์หักเหแสง (ฝาครอบ)

- ตัวโคมไฟฟ้าจะต้องทำด้วยโลหะผสมที่เบาและทนต่อการผุกร่อน สีที่ใช้จะต้องเป็นแบบอบเคลือบออกสีเทา

- อุปกรณ์สะท้อนแสงจะต้องเป็นแบบชุบเงาและทำมาจากอลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ (Anodize)

- อุปกรณ์หักเหแสง (ฝาครอบ) หากทำมาจากอะคริลิกโปร่งใสจะต้องไม่มี เนื่องจาก การเปลี่ยนสีภายใน 5 ปีแรกของการใช้งาน

- โคมไฟฟ้าจะต้องมีปะเก็น (Gasket) ที่ฝาครอบ ที่คอ และจุดอื่นๆ สำหรับป้องกัน แผลงเข้า ซึ่งจะต้องเป็นวัสดุที่ใช้งานได้นานและเป็นแบบทนความร้อน

## 2. ข้อกำหนดการติดตั้งเสาไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง

2.1 ข้อกำหนดด้านระยะห่างจากขอบไหล่ทาง ระยะติดตั้งเสาไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง จะแบ่งเป็นบริเวณนอกเมืองและในเมืองหรือเขตชุมชน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ถนนในเขตนอกเมือง ให้ทำการติดตั้งเสาห่างจากไหล่ทางไม่น้อยกว่า 0.5 เมตร แต่ในกรณีเป็นบริเวณที่ไม่มีไหล่ทาง ให้ติดตั้งห่างจากขอบผิวทางไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร เว้นแต่บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่จำกัดหรือบริเวณสะพาน ซึ่งอาจจะลดระยะห่างลงได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 เมตร

- ถนนในเขตเมืองหรือเขตชุมชนที่ขอบทางเป็นคันหิน (Curb) ควรมีระยะห่างระหว่างเสา และขอบทางอย่างน้อย 1.5 เมตร แต่สามารถลดลงได้ตามสัดส่วนความลาดหลังทางเข้าหาคันหิน ดังต่อไปนี้

- ลดลง 0.50 เมตร สำหรับความลาดหลังทางเข้าหาคันหินที่ไม่มากกว่าร้อยละ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลดลง 0.60 เมตร สำหรับความลาดหลังทางเข้าหาคันทันหินระหว่างร้อยละ 2.5 ถึง ร้อยละ 4.0
- ลดลง 0.75 เมตร สำหรับความลาดหลังทางเข้าหาคันทันหินที่มากกว่าร้อยละ 4.0 และต้องได้รับการยินยอมจากวิศวกร

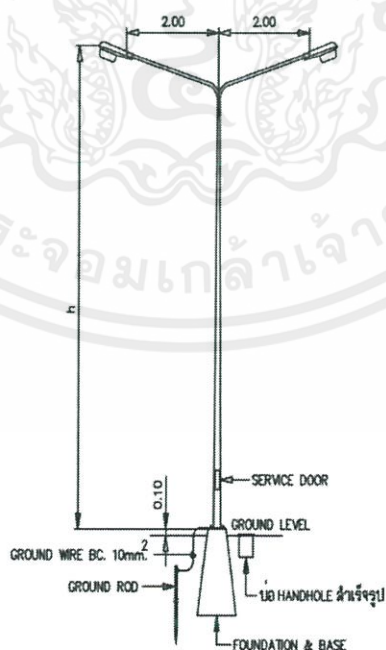
2.2 ข้อกำหนดด้านระยะห่างเสาไฟฟ้า ระยะติดตั้งเสาไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง จะแสดง ระยะห่างเสาไฟโดยประมาณที่ค่าแสงสว่างต่างๆ ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค. 1 ระยะห่างกึ่งกลางเสาไฟแสงสว่าง

ชนิดของหลอด	ความสูงของเสา (เมตร)	ความกว้างของผิวจราจร		ค่าความสว่าง (ลักซ์)
		2 ช่องจราจร	3 ช่องจราจร	
100 W	6	38	-	6.5
250 W	9	50	-	10
250 W	9	32	-	21.5
400 W	12	-	40	21.5

2.3 ข้อกำหนดระยะเกาะกลาง ระยะความกว้างของเกาะกลางถนนของกรมทางหลวงต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร และไม่เกิน 3 เมตร

2.4 ข้อกำหนดด้านระยะช่วงแขน

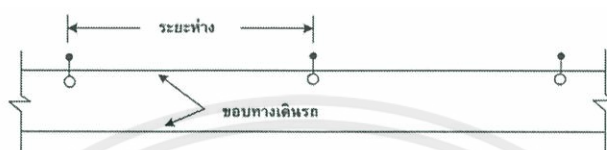


รูปที่ ค. 2 ระยะช่วงแขน [19]

### 3. รูปแบบการติดตั้งโคมไฟ

#### 3.1 การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดตั้งด้านเดียว (Single Side)

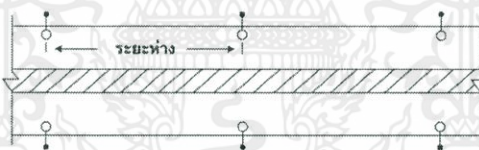
การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดตั้งด้านเดียวดังรูปที่ ค.3 เหมาะที่จะติดตั้งบนทางหลวงที่มีความกว้างถนนน้อยกว่าความสูงดวงโคมและเป็นพื้นที่ที่ต้องการการกระจายแสงด้านข้างประเภท Type II และ Type III ได้แก่ ทางลาดเชื่อมกับทางต่างระดับ (Ramp) สะพานกลับรถ ทางขนาน และทางสายรองหรือถนนท้องถิ่นขนาด 2 ช่องจราจรที่ไม่แบ่งทิศการจราจร



รูปที่ ค. 3 โคมไฟกึ่งเดี่ยวติดตั้งด้านเดียว [19]

#### 3.2 การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดตั้งตรงข้าม (Opposite-Both Sides)

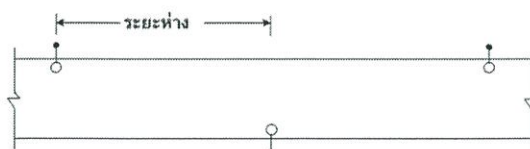
การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดตั้งตรงข้ามดังรูปที่ ค.4 เหมาะที่จะติดตั้งบนทางหลวงที่มีความกว้างถนนมากกว่า 1.5 เท่าของความสูงดวงโคมและเป็นพื้นที่ที่ต้องการการกระจายแสงด้านข้างประเภท Type III และ Type IV ได้แก่ ถนน 4 หรือ 6 ช่องจราจร ทั้งที่มีเกาะกลางและไม่มีเกาะกลาง



รูปที่ ค. 4 ดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดตั้งตรงข้าม [19]

#### 3.3 การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดสลับ (Staggered -Both Sides)

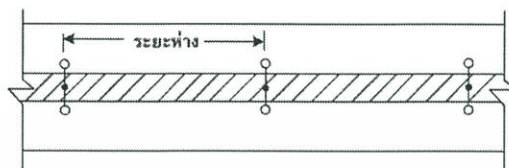
การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดสลับดังรูปที่ ค.5 เหมาะที่จะติดตั้งบนทางหลวงที่มีความกว้างถนนระหว่าง 1 ถึง 1.5 เท่าของความสูงดวงโคม และเป็นพื้นที่ที่ต้องการการกระจายแสงด้านข้างประเภท Type III และ Type IV ได้แก่ ถนนหลายช่องจราจรที่ไม่มีเกาะกลางหรือมีเกาะกลางแคบ



รูปที่ ค. 5 ดวงโคมแบบกึ่งเดี่ยวติดสลับ [19]

### 3.4 การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งคู่เกาะกลาง (Central Twin)

การติดตั้งดวงโคมแบบกึ่งคู่เกาะกลางดังรูปที่ ค.6 เหมาะที่จะติดตั้งบนถนน 4 ช่องจราจร และ 6 ช่องจราจร ในเขตเมืองที่มีเกาะกลางแบบยก (Raised Median) โดยเกาะกลางต้องมีขนาดกว้างไม่เกิน 6 เมตร



รูปที่ ค. 6 ดวงโคมแบบกึ่งคู่เกาะกลาง [19]

## 4. การเลือกใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง

ในงานไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง การเลือกใช้ไฟฟ้าแสงสว่างจะพิจารณาใน 2 ลักษณะ คือ คุณสมบัติการกระจายแสง (Light Distribution) และชนิดของต้นกำเนิด (Typical Light Sources)

### 4.1 คุณสมบัติการกระจายแสง (Light Distribution)

- โคมไฟฟ้าแสงสว่างแบ่งตามคุณสมบัติการกระจายแสงได้ใน 3 ลักษณะ คือ
  - การกระจายแสงแบบ Cut Off ได้แก่ โคมไฟที่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงอย่างสมบูรณ์เหมาะสำหรับติดตั้งในทางหลวงสายหลักทั่วไปที่การจราจรใช้ความเร็วสูง
  - การกระจายแสงแบบ Semi Cut Off ได้แก่ โคมไฟที่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงกึ่งสมบูรณ์ เหมาะสำหรับทางหลวงที่มีพื้นที่สองข้างทางเป็นชุมชน และมีแสงจากสภาพแวดล้อมค่อนข้างมาก
  - การกระจายแสงแบบ Non Cut Off ได้แก่ โคมไฟที่ไม่มีการควบคุมแนวส่องของลำแสงไม่เหมาะสมที่จะติดตั้งบนทางหลวง
- แต่ละดวงโคมโดยปกติลำแสงควรมี 2 ทิศทางตามความยาวถนน โค้งโพลาร์ (Polar Curve) ของดวงโคมทั้งในแนวระนาบ และในระนาบแนวตั้ง จะต้องมีความสม่ำเสมอปราศจากการหักเหอย่างกะทันหัน ความเข้มของการส่องสว่างลดลงจากสูงสุดโดยสม่ำเสมอ ในกรณีติดตั้งเกาะกลาง ลำแสงควรจะออกจากแกนกลางโดยประมาณ สำหรับกรณีติดตั้งดวงโคมด้านข้างถนนศูนย์กลางลำแสงต้องทำมุมออกไปไม่เกิน 15 องศา จะต้องมีแสงสว่างไปที่ขอบทางด้านในและด้านนอกเพียงพอแต่ไม่มากเกินไป ข้อแนะนำนี้ไม่ใช่บังคับกับการติดตั้งแบบเสาสูง

• การกระจายแสงของดวงโคมให้ใช้นิยามของ IESNA (Illuminance Engineering Society of North America) เป็นหลักในการพิจารณาการกระจายความเข้มส่องสว่างบนผิวถนนมีอยู่ 2 รูปแบบ ดังนี้

- การกระจายแสงระนาบตั้ง (Vertical Light Distribution) การกระจายแสงลักษณะนี้จะพิจารณาระยะจากดวงโคมในทิศทางที่ขนานไปกับแนวความยาวของถนน มีความสำคัญคือ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถของดวงโคมแต่ละดวง ให้กำลังส่องสว่างครอบคลุมเนื้อที่ใดไกลไปเป็นกี่ยกของความสูงตามแนวยาวของถนน (TRL) โดยสามารถแบ่งได้ตามพิสัยการกระจายแสงที่ระยะแตกต่างกันดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค. 2 รูปแบบการกระจายแสงระนาบตั้ง และพื้นที่ครอบคลุมกำลังส่องสว่างสูงสุด

รูปแบบการกระจายแสงระนาบตั้ง	กำลังส่องสว่างสูงสุด (Maximum Candlepower) จะครอบคลุมพื้นที่เมื่อแสงตกกระทบผิวทาง
แบบพิสัยสั้น (Short Distribution)	ที่ระยะระหว่าง 1.00 และ 2.25 ของความสูงเสาดวงโคม (MH)
แบบพิสัยปานกลาง (Medium Distribution)	ที่ระยะระหว่าง 2.25 และ 3.75 ของความสูงเสาดวงโคม (MH)
แบบพิสัยยาว (Long Distribution)	ที่ระยะระหว่าง 3.75 และ 6.00 ของความสูงเสาดวงโคม (MH)

ขณะเดียวกัน การกระจายแสงระนาบตั้งจำเป็นต้องพิจารณาระยะห่างมากที่สุดตามทฤษฎี(Theoretical Maximum Spacing) โดยหมายถึงกำลังส่องสว่างสูงสุดของลำแสงจากตำแหน่งดวงโคมที่ใกล้สุดที่กระทบผิวทาง การกระจายแสงทั้ง 3 รูปแบบ มีข้อกำหนดของระยะห่างมากที่สุดตามทฤษฎี (Theoretical Maximum Spacing) ดังตารางที่ ค.3


ตารางที่ ค. 3 รูปแบบการกระจายแสงระนาบตั้ง และข้อกำหนดของระยะห่างมากที่สุดตามทฤษฎี

รูปแบบการกระจายแสงระนาบตั้ง	ข้อกำหนดของระยะห่างมากที่สุดตามทฤษฎี
แบบพิสัยสั้น (Short Distribution)	ที่ระยะ 4.5 ของความสูงเสาดวงโคม
แบบพิสัยปานกลาง (Medium Distribution)	ที่ระยะ 7.5 ของความสูงเสาดวงโคม
แบบพิสัยยาว (Long Distribution)	ที่ระยะ 12 ของความสูงเสาดวงโคม

สำหรับในทางปฏิบัติ ระยะห่างของดวงโคมจะใช้อยู่ไม่เกิน 5 ถึง 6 เท่าของความสูงดวงโคม ดังนั้น รูปแบบการกระจายที่เหมาะสมกับการติดตั้งไฟถนน จึงแนะนำในรูปแบบการกระจายแสงแบบปานกลาง

- การกระจายแสงด้านข้าง (Later Light Distribution) รูปแบบของการกระจายแสงด้านข้างได้แบ่งตามประเภท ดังแสดงในตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค. 4 ประเภทการส่องสว่างแยกตามลักษณะพื้นที่

ประเภท	ลักษณะพื้นที่ที่ควรติดตั้ง
Type I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ดวงโคมติดตั้ง บริเวณศูนย์กลางถนน หรือพื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่าง</li> <li>- พื้นที่ส่องสว่างจะเป็นลักษณะแนวยาวแคบคล้ายวงรี</li> </ul> 
Type II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ดวงโคมติดตั้งบริเวณข้างทาง โดยทั่วไปจะเหมาะกับถนนที่แคบ</li> <li>- พื้นที่ส่องสว่างจะเป็นลักษณะแนวยาวแคบคล้ายวงรี</li> </ul> 
Type III	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ดวงโคมติดตั้งบริเวณข้างทาง เหมาะกับถนนที่มีความกว้างระดับปานกลาง</li> <li>- พื้นที่ส่องสว่างจะเป็นลักษณะแนวยาวแคบคล้ายวงรี</li> </ul> 
Type IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ดวงโคมติดตั้งบริเวณข้างทาง เหมาะกับถนนที่มีความกว้าง</li> <li>- พื้นที่ส่องสว่างจะเป็นลักษณะแนวยาวแคบคล้ายวงรี</li> </ul> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ประเภทการส่องสว่างแยกตามลักษณะพื้นที่ (ต่อ)

ประเภท	ลักษณะพื้นที่ที่ควรติดตั้ง
Type V	<p>- ดวงโคมติดตั้งบริเวณศูนย์กลางถนน ทางแยกที่มีลักษณะเป็นวงเวียนหรือพื้นที่ที่ต้องการแสงสว่าง เหมาะกับดวงโคมแบบเสาสูง</p> <p>- พื้นที่ส่องสว่างจะกระจายในลักษณะวงกลม</p> 
Type I – 4-way	<p>- ดวงโคมติดตั้งบริเวณตำแหน่งกลางทางแยก</p> <p>- พื้นที่ส่องสว่างจะกระจายทั่วถึงทั้ง 4 ขาของทางแยก</p> 
Type II – 4-way	<p>- ดวงโคมติดตั้งบริเวณขอบใดขอบหนึ่งของทางแยก</p> <p>- พื้นที่ส่องสว่างจะกระจายทั่วถึงทั้ง 4 ขาของทางแยก</p> 

- ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมจะต้องให้ค่าความสว่างสอดคล้องกับตารางที่ ค.5 (ยกเว้นกับการติดตั้งกับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 5 การส่องสว่างต่ำสุดแยกตามประเภททางหลวง

ประเภทถนน	ความเข้มการส่องสว่างต่ำสุดในแนวราบต่ำสุด (lux (cd/m <sup>2</sup> ))		
	พื้นที่ในเมือง	พื้นที่ชานเมือง	พื้นที่นอกเมือง
ทางหลวงพิเศษ	21.5 (1.43)	15.0 (1.00)	10.75 (0.72)
ทางแยก	21.5 (1.43)	21.5 (1.43)	15.0 (1.00)
ทางหลวงสายหลัก	21.5 (1.43)	13.0 (0.87)	9.7 (0.65)
ทางหลวงสายรอง	13.0 (0.87)	9.7 (0.65)	6.5 (0.43)
ถนนท้องถิ่น	9.7 (0.65)	6.5 (0.43)	2.1 (0.14)

ค่าความสว่างต้องมีอัตราส่วนความสม่ำเสมอ (Uniformity Ratio) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนความสม่ำเสมอ} &= \frac{\text{ค่าความสว่างต่ำสุด}}{\text{ค่าความสว่างเฉลี่ย}} = \text{ไม่น้อยกว่า } 1 : 2.5 \\ &= \frac{\text{ค่าความสว่างสูงสุด}}{\text{ค่าความสว่างต่ำสุด}} = \text{ไม่เกิน } 6 : 1 \end{aligned}$$

และมาตรฐานกรมทางหลวงได้กำหนดเกณฑ์สมรรถนะ การส่องสว่างของประเทศ

ไทยตามลักษณะถนนในรูปแบบต่างๆ ไว้ดังตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค. 6 เกณฑ์สมรรถนะ การส่องสว่างของประเทศไทย

ชนิดของถนน	ระดับชั้น การส่อง สว่าง	ความส่องสว่าง (ข้อกำหนด)					ความสว่าง (ข้อเสนอแนะ)		
		Lav (cd/m <sup>2</sup> )	U0	U1	TI (%)	SR	แบบ R	Eav (lux)	U1
ทางด่วน มอเตอร์ เวย์ ถนนที่มีการ สัญจร ความเร็ว สูง	M1	2	0.4	0.7	10	0.5	R1	20	0.4
							R2	28	0.4
							R3	28	0.4
ถนนสายประธาน/ ถนนสายหลักมีรถ มาก	M1	2	0.4	0.7	10	0.5	R1	20	0.4
							R2	28	0.4
							R3	28	0.4
ถนนสายหลักมีรถ ปานกลาง	M2	1.5	0.4	0.7	10	0.5	R1	15	0.4
							R2	21	0.4
							R3	21	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 เกณฑ์สมรรถนะ การส่องสว่างของประเทศไทย(ต่อ)

ชนิดของถนน	ระดับชั้น การส่อง สว่าง	ความส่องสว่าง (ข้อกำหนด)					ความสว่าง (ข้อเสนอแนะ)		
		Lav (cd/m <sup>2</sup> )	U0	U1	TI (%)	SR	แบบ R	Eav (lux)	U1
ถนนสายรอง/ ทางสายรอง	M3	1	0.4	0.5	15	0.5	R1	10	0.4
							R2	14	0.4
							R3	14	0.4
ถนนเชื่อมกับ ถนนใหญ่	M4	0.75	0.4	0.5	15	0.5	R1	8	0.4
							R2	11	0.4
							R3	11	0.4
ถนนตามที่อยู่ อาศัย	M5	0.5	0.4	0.5	15	0.5	R1	5	0.4
							R2	7	0.4
							R3	7	0.4

#### 4.2 ชนิดของต้นกำเนิดแสง (Typical Light Sources)

หลอดไฟที่ใช้ในงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง มีอยู่ 5 ชนิด คือ

3.2.1 หลอดโซเดียมความดันไอสูง(High Pressure Sodium Lamp)

3.2.2 หลอดโซเดียมความดันไอดำ (Low Pressure Sodium Lamp)

3.2.3 หลอดปรอทความดันไอสูง (Mercury Vapor Lamp)

3.2.4 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)

3.2.5 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)

ตารางที่ ค. 7 คุณสมบัติข้อกำหนดมาตรฐานกึ่งกลางทั่วไประบบไฟฟ้าแสงสว่าง

คุณลักษณะ	โซเดียม ความดัน ไอสูง	โซเดียม ความดัน ไอดำ	ปรอท ความดัน ไอสูง	เมทัล ฮาไลด์	ฟลูออ เรสเซนต์
กำลังไฟ (วัตต์)	250	35	400	400	40
ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	70-13-	120-200	50-80	60-120	45-80
อายุใช้งาน (ชั่วโมง)	24000	16000	24000	9000	12000
สีของแสง	ส้มอ่อน	เหลือง	ขาว	ขาว	ขาว
คุณภาพของสี	พอใช้	ไม่ดี	ดี	ดี	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง  
ข้อมูลอุปกรณ์

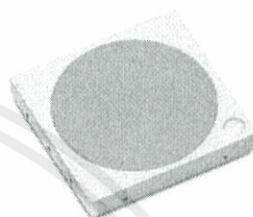
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## LUXEON 5050

High efficacy and lumens in a multi-die, high power package, enabling low system costs

LUXEON 5050 is a multi-die, high power package that provides high luminance from a single package to enable cost effective, single optic and directional fixture designs. LUXEON 5050 uses an industry standard 5050 surface mount package with the smallest round Light Emitting Surface (LES). LUXEON 5050 comes in 70CRI, 80CRI and 90CRI with a wide range of CCTs, and offers hot-color targeting to ensure that the LEDs are within color target at application conditions of 85°C.



### FEATURES AND BENEFITS

- Small LES (4.6mm) enables good optic design for great punch
- Enables highest efficacy system design by driving at low current
- Hot-color targeting ensures color is within ANSI bin at 85°C
- Binned within 3-step and 5-step MacAdam ellipse, ensuring color uniformity
- Compatible with low cost and high efficacy drivers

### PRIMARY APPLICATIONS

- Downlights
- High Bay & Low Bay
- Lamps
- Outdoor
- Spotlights



รูปที่ ง. 1 Datasheet ของ Chip LED (หน้า1)

## Performance Characteristics

### Product Selection Guide

Table 1. Product performance of LUXEON 5050 at test current,  $T_c=25^\circ\text{C}$ .

VOLTAGE	NOMINAL CCT <sup>(1)</sup>	MINIMUM CRI <sup>(2,3)</sup>	LUMINOUS FLUX <sup>(2,3)</sup> (lm)		TYPICAL LUMINOUS EFFICACY (lm/W)	TEST CURRENT (mA)	PART NUMBER
			MINIMUM	TYPICAL			
24V	2200K	70	515	550	140	160	L150-2270502400000
	2700K	70	535	600	153	160	L150-2770502400000
	3000K	70	553	620	158	160	L150-3070502400000
	3500K	70	600	635	162	160	L150-3570502400000
	4000K	70	580	650	166	160	L150-4070502400000
	5000K	70	580	650	166	160	L150-5070502400000
	5700K	70	570	650	166	160	L150-5770502400000
	6500K	70	570	650	166	160	L150-6570502400000
	2200K	80	440	475	121	160	L150-2280502400000
	2700K	80	500	560	143	160	L150-2780502400000
	3000K	80	516	585	149	160	L150-3080502400000
	3500K	80	527	595	152	160	L150-3580502400000
	4000K	80	539	610	156	160	L150-4080502400000
	5000K	80	539	610	156	160	L150-5080502400000
	5700K	80	539	610	156	160	L150-5780502400000
	6500K	80	539	610	156	160	L150-6580502400000
	2700K	90	414	471	120	160	L150-2790502400000
	3000K	90	428	486	124	160	L150-3090502400000
	3500K	90	445	506	129	160	L150-3590502400000
	4000K	90	456	526	134	160	L150-4090502400000
	5000K	90	456	526	134	160	L150-5090502400000
	5700K	90	456	526	134	160	L150-5790502400000
	2200K	70	515	550	140	640	L150-2270500600000
	2700K	70	535	600	153	640	L150-2770500600000
	3000K	70	553	620	158	640	L150-3070500600000
	3500K	70	600	635	162	640	L150-3570500600000
	4000K	70	580	650	166	640	L150-4070500600000
	5000K	70	580	650	166	640	L150-5070500600000
	5700K	70	570	650	166	640	L150-5770500600000
	6500K	70	570	650	166	640	L150-6570500600000
2200K	80	440	475	121	640	L150-2280500600000	
2700K	80	500	560	143	640	L150-2780500600000	
3000K	80	516	585	149	640	L150-3080500600000	
3500K	80	527	595	152	640	L150-3580500600000	
4000K	80	539	610	156	640	L150-4080500600000	
5000K	80	539	610	156	640	L150-5080500600000	
5700K	80	539	610	156	640	L150-5780500600000	
6500K	80	539	610	156	640	L150-6580500600000	
2700K	90	414	471	120	640	L150-2790500600000	
3000K	90	428	486	124	640	L150-3090500600000	
3500K	90	445	506	129	640	L150-3590500600000	
4000K	90	456	526	134	640	L150-4090500600000	
5000K	90	456	526	134	640	L150-5090500600000	
5700K	90	456	526	134	640	L150-5790500600000	

**Notes for Table 1:**

- Correlated color temperature is not targeted at  $T_c=35^\circ\text{C}$ .
- Luminous flux and CRI are based upon mounted package on highly reflective surface at  $T_c=25^\circ\text{C}$ . Typical CRI is approximately 2 points higher than the minimum CRI specified, but this is not guaranteed.
- Lumileds maintains a tolerance of  $\pm 2$  on CRI and  $\pm 7\%$  on luminous flux measurements.

### รูปที่ ง. 2 Datasheet ของ Chip LED (หน้า2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Optical Characteristics

Table 2. Optical characteristics for LUXEON 5050 at test current,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

PART NUMBER	TYPICAL TOTAL INCLUDED ANGLE <sup>(1)</sup>	TYPICAL VIEWING ANGLE <sup>(2)</sup>
L150-xxxx50xx00000	138°	116°

Notes for Table 2:

- Total angle at which 90% of total luminous flux is captured
- Viewing angle is the off axis angle from the LED centerline where the luminous intensity is 1% of the peak value

## Electrical and Thermal Characteristics

Table 3. Electrical and thermal characteristics for LUXEON 5050 at test current,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

PART NUMBER	FORWARD VOLTAGE <sup>(1)</sup> (V <sub>f</sub> )			TYPICAL TEMPERATURE COEFFICIENT OF FORWARD VOLTAGE <sup>(2)</sup> (mV/°C)	TYPICAL THERMAL RESISTANCE—JUNCTION TO SOLDER PAD (°C/W)
	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM		
L150-xxxx502400000	23.5	24.5	26.5	-12	2
L150-xxxx500600000	5.8	6.1	6.6	-3	2

Notes for Table 3:

- Lumileds maintains a tolerance of  $\pm 1\%$  on forward voltage measurements.
- Measured between  $25^\circ\text{C}$  and  $85^\circ\text{C}$ .

## Absolute Maximum Ratings

Table 4. Absolute maximum ratings for LUXEON 5050.

PARAMETER	MAXIMUM PERFORMANCE
DC Forward Current <sup>(1), (2)</sup>	240mA for 24V 800mA for 6V
Peak Pulsed Forward Current <sup>(1), (3)</sup>	900mA for 24V 1000mA for 6V
LED Junction Temperature <sup>(1)</sup> (DC & Pulse)	125°C
ESD Sensitivity (ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2012)	Class 2
Operating Case Temperature <sup>(1)</sup>	105°C
LED Storage Temperature	-40°C to 105°C
Allowable Reflow Cycles	3
Reverse Voltage (V <sub>reverse</sub> )	LUXEON LEDs are not designed to be driven in reverse bias

Notes for Table 4:

- Proper current limiting must be observed to maintain the junction temperature below the maximum allowable junction temperature
- Residual periodic variations due to power conversion from alternating current (AC) to direct current (DC), also called "ripple", are acceptable if the following conditions are met:
  - The frequency of the ripple current is 100Hz or higher
  - The average current for each cycle does not exceed the maximum allowable DC forward current
  - The maximum amplitude of the ripple does not exceed the maximum peak pulsed forward current
- At 10% duty cycle with pulse width of 10ms

รูปที่ ง. 3 Datasheet ของ Chip LED (หน้า3)

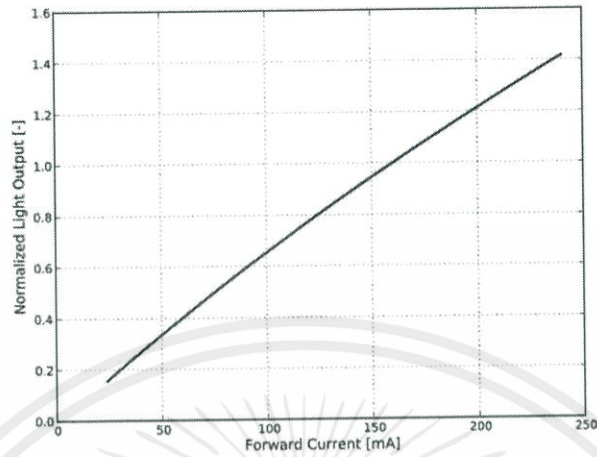


Figure 3a. Typical normalized light output vs. forward current for L150-xxxx502400000,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

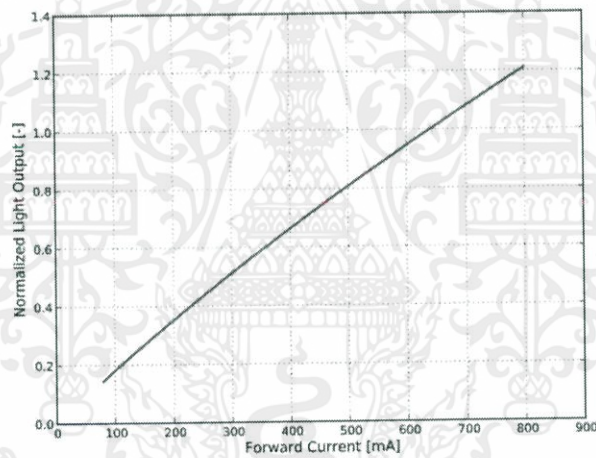
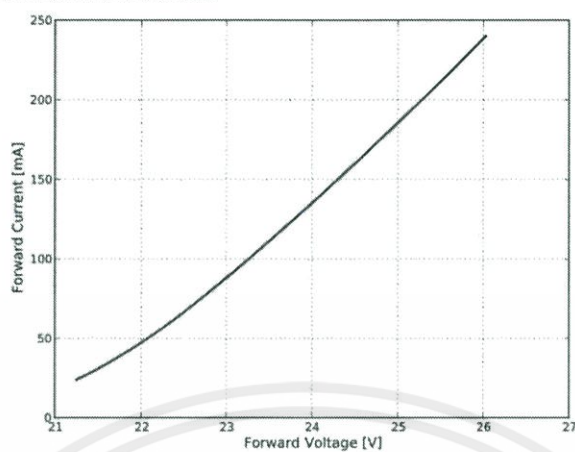
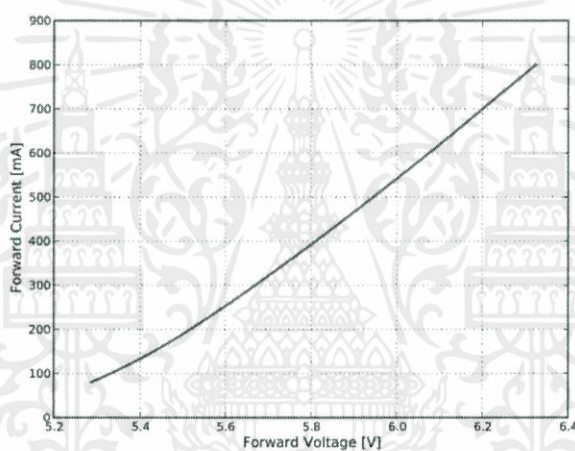


Figure 3b. Typical normalized light output vs. forward current for L150-xxxx500600000,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

รูปที่ ๔. Datasheet ของ Chip LED (หน้า 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Forward Current Characteristics

Figure 4a. Typical forward current vs. forward voltage for L150-xxxx502400000,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .Figure 4b. Typical forward current vs. forward voltage for L150-xxxx500600000,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

รูปที่ ง. 5 Datasheet ของ Chip LED (หน้า5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Radiation Pattern Characteristics

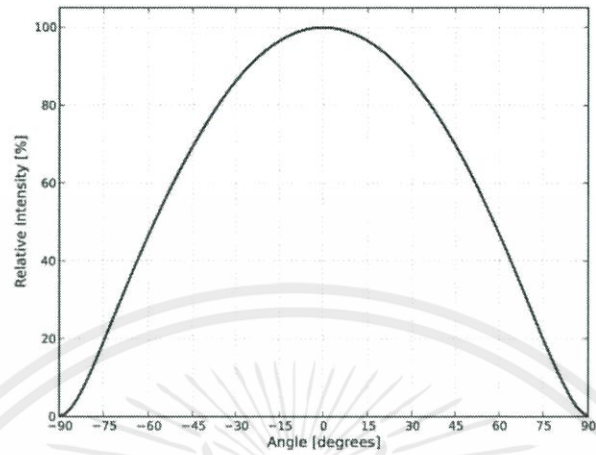


Figure 5. Typical radiation pattern for L150-xxx50xx00000 at test current,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

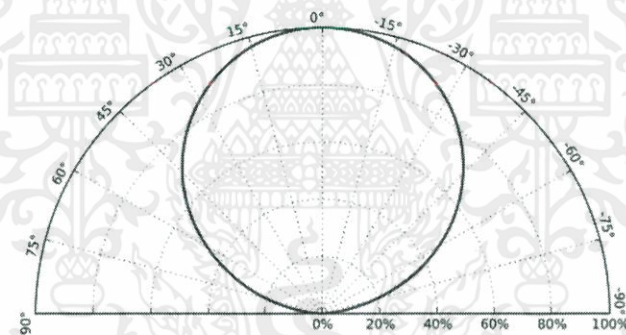


Figure 6. Typical polar radiation pattern for L150-xxx50xx00000 at test current,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

รูปที่ 6 Datasheet ของ Chip LED (หน้า 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Forward Voltage Bins

Table 7. Forward voltage bin definitions for LUXEON 5050,  $T=25^{\circ}\text{C}$ .

PART NUMBER	BIN	FORWARD VOLTAGE <sup>(1)</sup> (V <sub>f</sub> )	
		MINIMUM	MAXIMUM
L150-xxxx502400000	A1	23.5	24.2
	A2	24.2	25.0
	B1	25.0	25.8
	B2	25.8	26.5
L150-xxxx500600000	A1	5.8	6.0
	A2	6.0	6.2
	B1	6.2	6.4
	B2	6.4	6.6

Notes for Table 7:

1. Lumileds maintains a tolerance of  $\pm 1\%$  on forward voltage measurements.

## Mechanical Dimensions

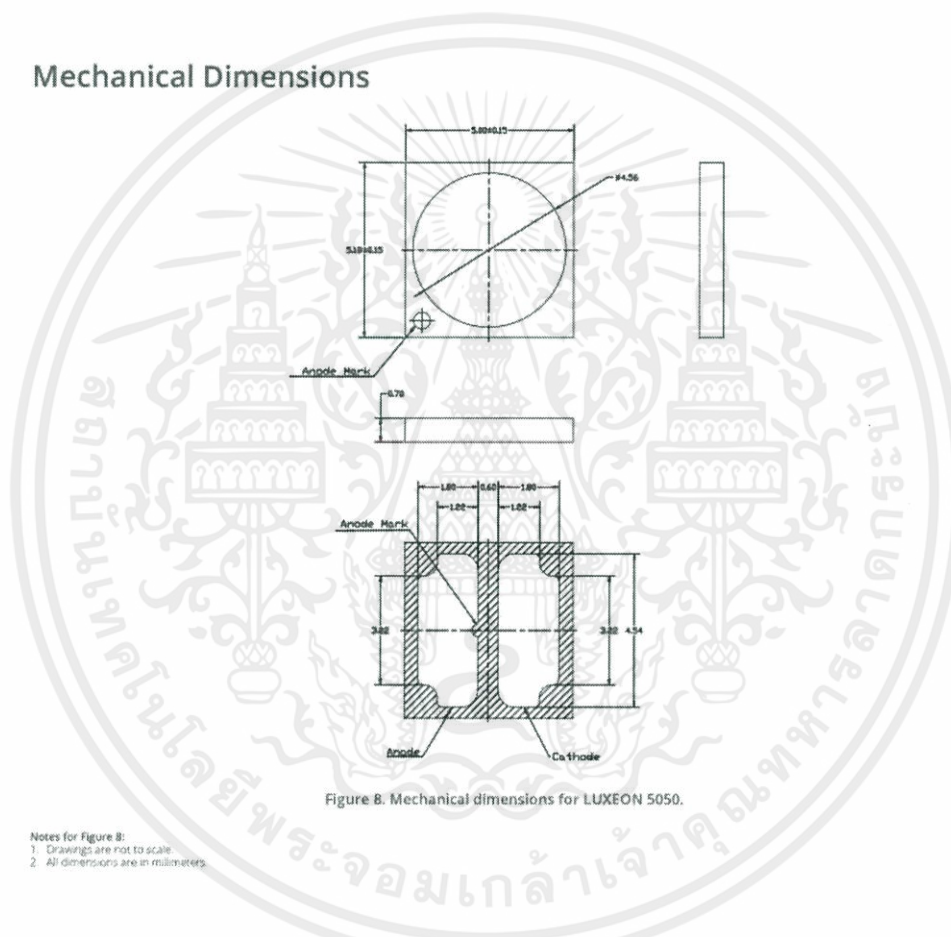


Figure 8. Mechanical dimensions for LUXEON 5050.

Notes for Figure 8:

1. Drawings are not to scale.
2. All dimensions are in millimeters.

รูปที่ ๗. 7 Datasheet ของ Chip LED (หน้า 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

**ELG-150-C series**

### ■ Features

- Constant Current mode output
- Metal housing design with functional Ground
- Built-in active PFC function
- No load / Standby power consumption <math><0.5\text{W}</math>
- IP67 / IP65 rating for indoor or outdoor installations
- Function options: output adjustable via potentiometer; 3 in 1 dimming (dim-to-off); Smart timer dimming; DALI; Auxiliary DC output
- Typical lifetime>50000 hours
- 5 years warranty

### ■ Description

ELG-150-C series is a 150W LED AC/DC driver featuring the constant current mode and high voltage output. ELG-150-C operates from 100~360VAC and offers models with different rated current ranging between 500mA and 2100mA. Thanks to the high efficiency up to 92%, with the fanless design, the entire series is able to operate for  $-40^{\circ}\text{C}$ ~ $+85^{\circ}\text{C}$  case temperature under free air convection. The design of metal housing and IP67/IP65 ingress protection level allows this series to fit both indoor and outdoor applications. ELG-150-C is equipped with various function options, such as dimming methodologies, so as to provide the optimal design flexibility for LED lighting system.

### ■ Model Encoding

ELG - 150 - C700 [A] - [ ]

Input wiring type { Blank:2-wire input for standard model  
3Y:3-wire input for standard model

Function options

Rated output current (500/700/1050/1400/1750/2100mA)

Rated wattage

Series name

Type	IP Level	Function	Note
Blank	IP67	$I_o$ fixed.	In Stock
A	IP65	$I_o$ adjustable through built-in potentiometer.	In Stock
B	IP67	3 in 1 dimming function (0~10Vdc, 10V PWM signal and resistance)	In Stock
AB	IP65	$I_o$ adjustable through built-in potentiometer & 3 in 1 dimming function (0~10Vdc, 10V PWM signal and resistance)	In Stock
DA	IP67	DALI control technology.	In Stock
Dx	IP67	Built-in Smart timer dimming function by user request.	By request
D2	IP67	Built-in Smart timer dimming and programmable function.	In Stock
BE	IP67	3 in 1 dimming function and Auxiliary DC output	In Stock

File Name: ELG-150-C-SPEC. 2018-09-30

รูปที่ ง. 8 Datasheet ของ LED Driver (หน้า1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## SPECIFICATION

MODEL	ELG-150-C500	ELG-150-C700	ELG-150-C1050	ELG-150-C1400	ELG-150-C1750	ELG-150-C2100	
OUTPUT	<b>RATED CURRENT</b>						
	500mA 700mA 1050mA 1400mA 1750mA 2100mA						
	<b>RATED POWER</b>	100VAC ~ 180VAC					
		(For All the Types) 105W 105W 105W 105W 105W 105W					
		200VAC ~ 305VAC					
	(Except for BE Type)						
	(For BE Type only) 150W 149.8W 150.15W 149.8W 150.5W 151.2W						
	(For BE Type only) 135W 134.4W 134.4W 133W 133W 134.4W						
	<b>CONSTANT CURRENT REGION</b> Note.2						
	150 ~ 300V 107 ~ 214V 72 ~ 143V 54 ~ 107V 43 ~ 86V 36 ~ 72V						
<b>CONSTANT CURRENT REGION</b> Note.2 (For BE Type only)							
150 ~ 270V 107 ~ 192V 72 ~ 128V 54 ~ 95V 43 ~ 76V 36 ~ 64V							
<b>OPEN CIRCUIT VOLTAGE</b> (max.)							
315V 225V 151V 115V 94V 80V							
<b>CURRENT ADJ. RANGE</b>							
Adjustable for A/AB-Type only (via built-in potentiometer)							
250 ~ 500mA 350 ~ 700mA 525 ~ 1050mA 700 ~ 1400mA 875 ~ 1750mA 1050 ~ 2100mA							
<b>CURRENT RIPPLE</b>							
5.0% max. @rated current							
<b>CURRENT TOLERANCE</b>							
±5.0%							
<b>AUXILIARY DC OUTPUT</b>							
Nominal 15V(deviation 11.5~15.5V)@0.3A for BE-Type only							
<b>SET UP TIME</b> Note.4							
1600ms/115VAC 500ms/230VAC							
INPUT	<b>VOLTAGE RANGE</b> Note.3						
	100 ~ 305VAC 142 ~ 431VDC continue.320VAC for 24Hrs; 360VAC for 1Hr (Please refer to "STATIC CHARACTERISTIC" section)						
	<b>FREQUENCY RANGE</b>						
	47 ~ 63Hz						
	<b>POWER FACTOR</b> (Typ.)						
	PF ≥ 0.97/115VAC, PF ≥ 0.95/230VAC, PF ≥ 0.92/277VAC@full load (Please refer to "POWER FACTOR (PF) CHARACTERISTIC" section)						
	<b>TOTAL HARMONIC DISTORTION</b>						
	THD < 20% (@load ≥ 50%/115VAC; @load ≥ 60%/230VAC; @load ≥ 75%/277VAC) (Please refer to "TOTAL HARMONIC DISTORTION(THD)" section)						
	<b>EFFICIENCY</b> (Typ.)						
	92% 92% 92% 91% 91% 91%						
<b>EFFICIENCY</b> (Typ.)(for BE Type only)							
90% 90% 90% 89% 89% 89%							
<b>AC CURRENT</b> (Typ.)							
1.7A / 115VAC 0.9A / 230VAC 0.7A/277VAC							
<b>INRUSH CURRENT</b> (Typ.)							
COLD START 65A(width=48.5μs measured at 50% Ipeak)/230VAC; Per NEMA 410							
<b>MAX. No. of PSUs on 16A CIRCUIT BREAKER</b>							
3 units (circuit breaker of type B) / 6 units (circuit breaker of type C) at 230VAC							
<b>LEAKAGE CURRENT</b>							
<0.75mA / 277VAC							
<b>NO LOAD / STANDBY POWER CONSUMPTION</b>							
No load power consumption <0.5W for Blank / A / Dx / D2-Type Standby power consumption <0.5W for B / AB / DA-Type							
PROTECTION	<b>SHORT CIRCUIT</b>						
	Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed						
	320 ~ 360V 230 ~ 265V 155 ~ 180V 128 ~ 150V 96 ~ 106V 82 ~ 92V						
ENVIRONMENT	<b>OVER VOLTAGE</b>						
	Shut down o/p voltage, re-power on to recover						
	<b>OVER TEMPERATURE</b>						
Shut down o/p voltage, re-power on to recover							
<b>WORKING TEMP.</b>							
Tcase=-40 ~ +90°C. (Please refer to "OUTPUT LOAD vs TEMPERATURE" section)							
<b>MAX. CASE TEMP.</b>							
Tcase=+90°C							
<b>WORKING HUMIDITY</b>							
20 ~ 95% RH non-condensing							
<b>STORAGE TEMP., HUMIDITY</b>							
-40 ~ +80°C, 10 ~ 95% RH							
<b>TEMP. COEFFICIENT</b>							
±0.03%/°C (0 ~ 60°C)							
<b>VIBRATION</b>							
10 ~ 500Hz, 5G 12min./1cycle, period for 72min. each along X, Y, Z axes							
SAFETY & EMC	<b>SAFETY STANDARDS</b>						
	UL8750(type "HL")(except for BE-type), CSA C22.2 No. 250.13-12,EN/AS/NZS 61347-1,EN/AS/NZS 61347-2-13 independent, EN62384; GB19510.1,GB19510.14,EAC TP TC 004,BIS IS15885(for 700A,1050A,700DA only),JP65 or IP67; KC61347-1,KC61347-2-13 approved						
	<b>DALI STANDARDS</b>						
	Compliance to IEC62386-101,102,207 for DA-Type only						
	<b>WITHSTAND VOLTAGE</b>						
I/P-O/P: 3.75KVAC I/P-FG: 2.0KVAC O/P-FG: 1.5KVAC							
<b>ISOLATION RESISTANCE</b>							
I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG: 100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH							
<b>EMC EMISSION</b>							
Compliance to EN55015, EN61000-3-2 Class C (@load ≥ 60%); EN61000-3-3; GB17743, GB17625.1; EAC TP TC 020; KC KN15, KN61547							
<b>EMC IMMUNITY</b>							
Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11; EN61547, light industry level (surge immunity Line-Earth 6KV, Line-Line 4KV), EAC TP TC 020; KC KN15, KN61547							
OTHERS	<b>MTBF</b>						
	1098.95K hrs min. Telcordia SR-332 (Bellcore) 308.5Khrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)						
<b>DIMENSION</b>							
219*63*35.5 mm (L*W*H)							
<b>PACKING</b>							
0.95Kg; 16pcs / 16.0kg / 0.77CUFT							
NOTE	<ol style="list-style-type: none"> <li>All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated current and 25°C of ambient temperature.</li> <li>Please refer to "DRIVING METHODS OF LED MODULE". For DA-Type, Constant Current region is 60%~100% of maximum voltage under rated power delivery.</li> <li>De-rating may be needed under low input voltages. Please refer to "STATIC CHARACTERISTIC" sections for details.</li> <li>Length of set up time is measured at first cold start. Turning ON/OFF the driver may lead to increase of the set up time.</li> <li>The driver is considered as a component that will be operated in combination with final equipment. Since EMC performance will be affected by the complete installation, the final equipment manufacturers must re-quality EMC Directive on the complete installation again.</li> <li>This series meets the typical life expectancy of &gt;50,000 hours of operation when Tcase, particularly (Tc) point (or TMP, per DLC), is about 75°C or less.</li> <li>Please refer to the warranty statement on MEAN WELL's website at <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a>.</li> <li>The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft).</li> <li>For any application note and IP water proof function installation caution, please refer our user manual before using. <a href="https://www.meanwell.com/UploadPDF/LED_EN.pdf">https://www.meanwell.com/UploadPDF/LED_EN.pdf</a></li> </ol>						

File Name: ELG-150-C-SPEC 2019-09-30

## รูปที่ ง. 9 Datasheet ของ LED Driver (หน้า 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

ELG-150-C series

**■ BLOCK DIAGRAM**

**■ DRIVING METHODS OF LED MODULE**

※ This series works in constant current mode to directly drive the LEDs

In the constant current region, the highest voltage at the output of the driver depends on the configuration of the end systems. Should there be any compatibility issues, please contact MEAN WELL.

Typical output current normalized by rated current (%)

○ This characteristic applies to Blank/A/B/AB/DX/D2/BE-Type. For DA-Type, the Constant Current area is 60%~100% Vo.

File Name: ELG-150-C-SPEC 2016-09-30

รูปที่ ง. 10 Datasheet ของ LED Driver (หน้า3)

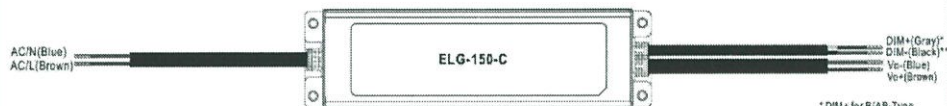
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

ELG-150-C series

**■ DIMMING OPERATION**

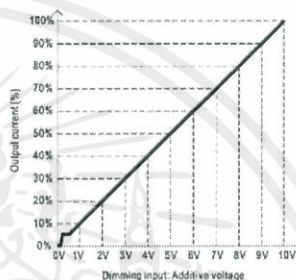
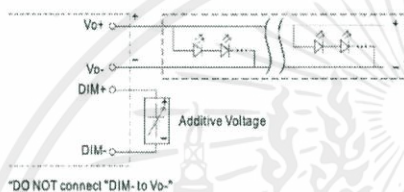


**※ 3 in 1 dimming function (for Bi/AB-Type)**

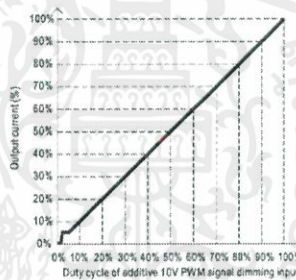
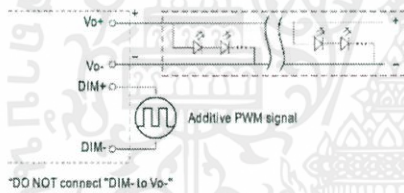
- Output constant current level can be adjusted by applying one of the three methodologies between DIM+ and DIM-: 0 ~ 10VDC, or 10V PWM signal or resistance.
- Direct connecting to LEDs is suggested. It is not suitable to be used with additional drivers.
- Dimming source current from power supply: 100 $\mu$ A (typ.)

\* DIM+ for Bi/AB-Type  
 DA+ for DA-Type  
 PROG+ for D2-Type  
 \* DIM- for Bi/AB-Type  
 DA- for DA-Type  
 PROG- for D2-Type

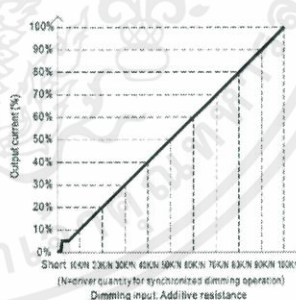
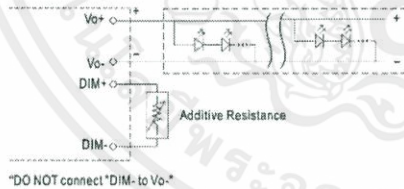
⊙ Applying additive 0 ~ 10VDC



⊙ Applying additive 10V PWM signal (frequency range 100Hz ~ 3KHz):



⊙ Applying additive resistance:



Note : 1. Min. dimming level is about 8% and the output current is not defined when 0% < I<sub>out</sub> < 8%.  
 2. The output current could drop down to 0% when dimming input is about 0 $\Omega$  or 0Vdc, or 10V PWM signal with 0% duty cycle.

File Name: ELG-150-C-SPEC\_2016.09-30

รูปที่ ง. 11 Datasheet ของ LED Driver (หน้า4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

**ELG-150-C series**

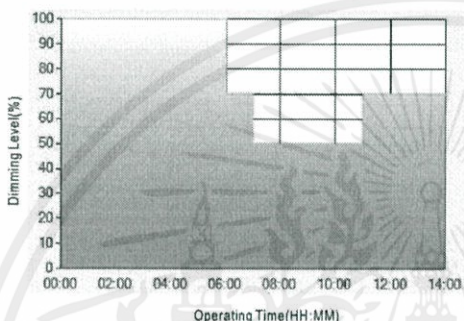
※ DALI Interface (primary side; for DA-Type)

- Apply DALI signal between DA+ and DA-.
- DALI protocol comprises 16 groups and 64 addresses.
- First step is fixed at 8% of output.

※ Smart timer dimming function (for Dxx-Type by User definition)

MEAN WELL Smart timer dimming primarily provides the adaptive proportion dimming profile for the output constant current level to perform up to 14 consecutive hours. 3 dimming profiles hereunder are defined accounting for the most frequently seen applications. If other options may be needed, please contact MEAN WELL for details.

Ex: ☉ D01-Type: the profile recommended for residential lighting



Set up for D01-Type in Smart timer dimming software program:

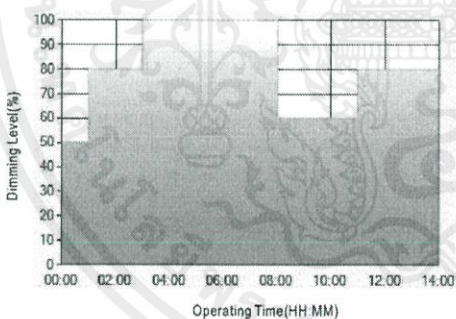
	T1	T2	T3	T4
TIME**	06:00	07:00	11:00	---
LEVEL**	100%	70%	50%	70%

\*\* TIME matches Operating Time in the diagram whereas LEVEL matches Dimming Level.

Example: If a residential lighting application adopts D01-Type, when turning on the power supply at 6:00pm, for instance:

- [1] The power supply will switch to the constant current level at 100% starting from 6:00pm.
  - [2] The power supply will switch to the constant current level at 70% in turn, starting from 8:00am, which is 06:00 after the power supply turns on.
  - [3] The power supply will switch to the constant current level at 50% in turn, starting from 1:00am, which is 07:00 after the power supply turns on.
  - [4] The power supply will switch to the constant current level at 70% in turn, starting from 5:00am, which is 11:00 after the power supply turns on.
- The constant current level remains till 8:00am, which is 14:00 after the power supply turns on.

Ex: ☾ D02-Type: the profile recommended for street lighting



Set up for D02-Type in Smart timer dimming software program:

	T1	T2	T3	T4	T5
TIME**	01:00	03:00	8:00	11:00	---
LEVEL**	50%	80%	100%	60%	80%

\*\* TIME matches Operating Time in the diagram whereas LEVEL matches Dimming Level.

Example: If a street lighting application adopts D02-Type, when turning on the power supply at 5:00pm, for instance:

- [1] The power supply will switch to the constant current level at 50% starting from 5:00pm.
- [2] The power supply will switch to the constant current level at 80% in turn, starting from 6:00pm, which is 01:00 after the power supply turns on.
- [3] The power supply will switch to the constant current level at 100% in turn, starting from 8:00pm, which is 03:00 after the power supply turns on.
- [4] The power supply will switch to the constant current level at 60% in turn, starting from 1:00am, which is 08:00 after the power supply turns on.
- [5] The power supply will switch to the constant current level at 80% in turn, starting from 4:00am, which is 11:00 after the power supply turns on. The constant current level remains till 6:30am, which is 14:00 after the power supply turns on.

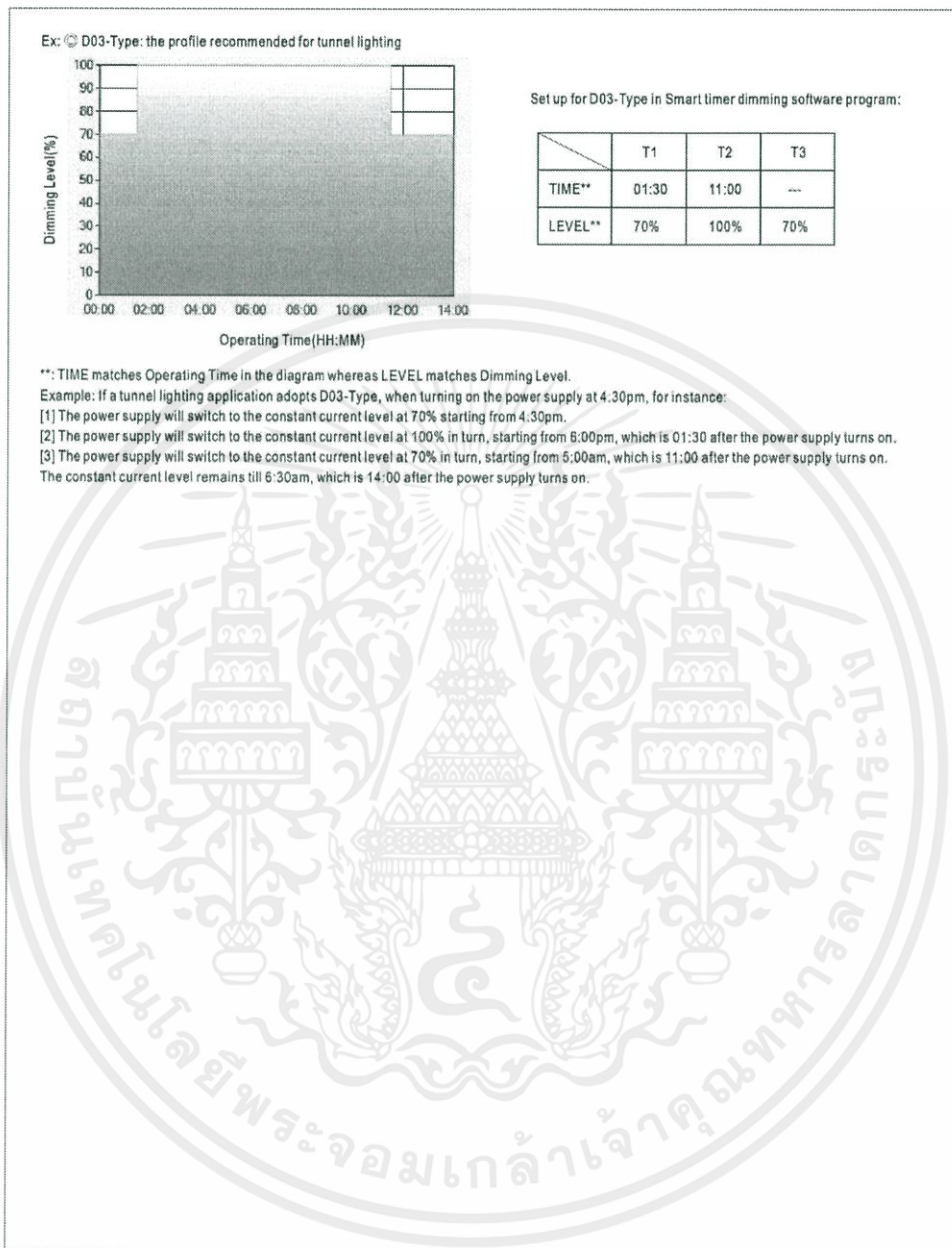
File Name: ELG-150-C-SPEC\_2018-09-30

รูปที่ ง. 12 Datasheet ของ LED Driver (หน้า5)



105~150W Constant Current Mode LED Driver

ELG-150-C series



File Name: ELG-150-C-SPEC 2016-09-30

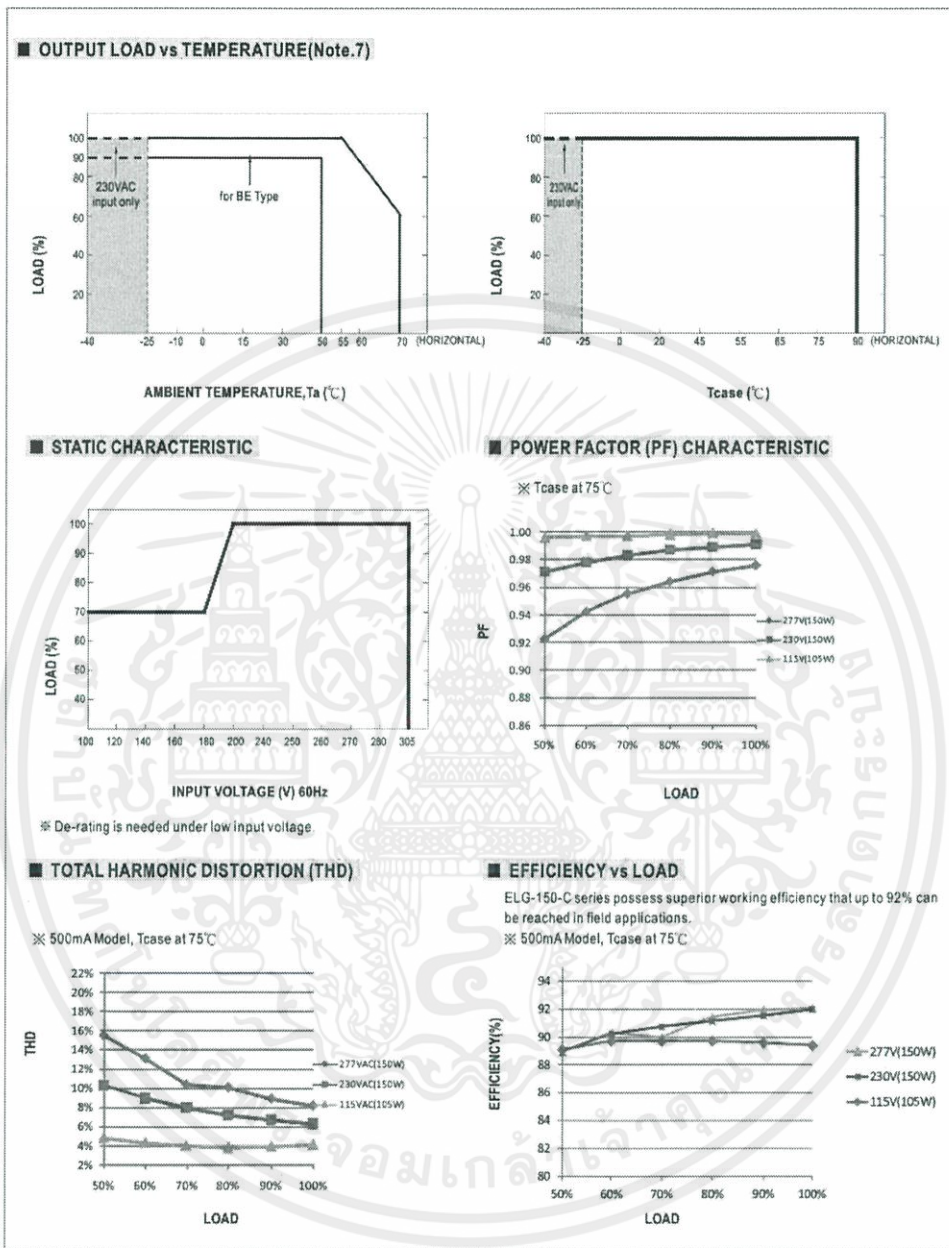
รูปที่ ง. 13 Datasheet ของ LED Driver (หน้า 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

ELG-150-C series



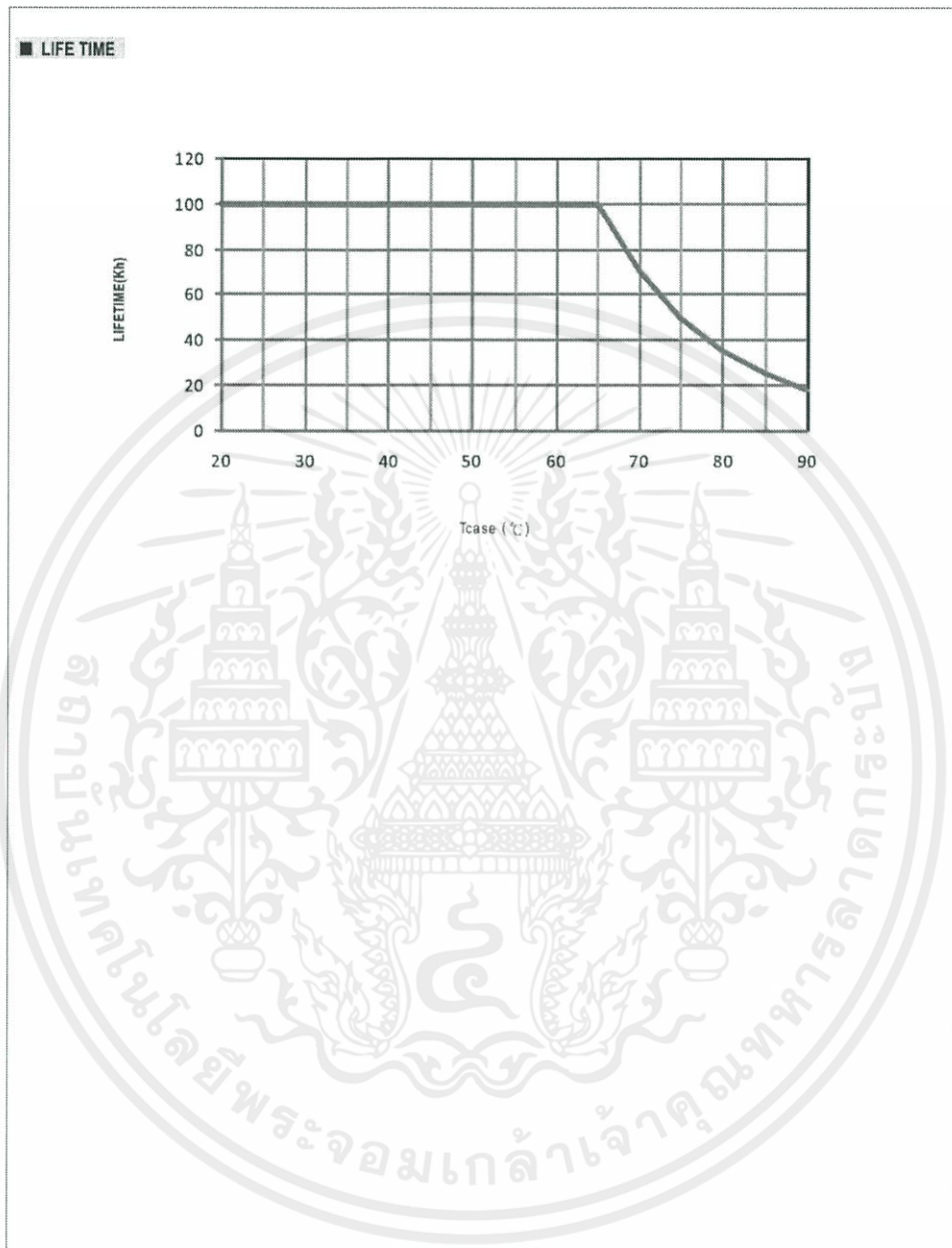
File Name: ELG-150-C-SPEC 2/16/09/30

รูปที่ ง. 14 Datasheet ของ LED Driver (หน้า 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

**ELG-150-C** series

File Name: ELG-150-C-SPEC 2014.09.30

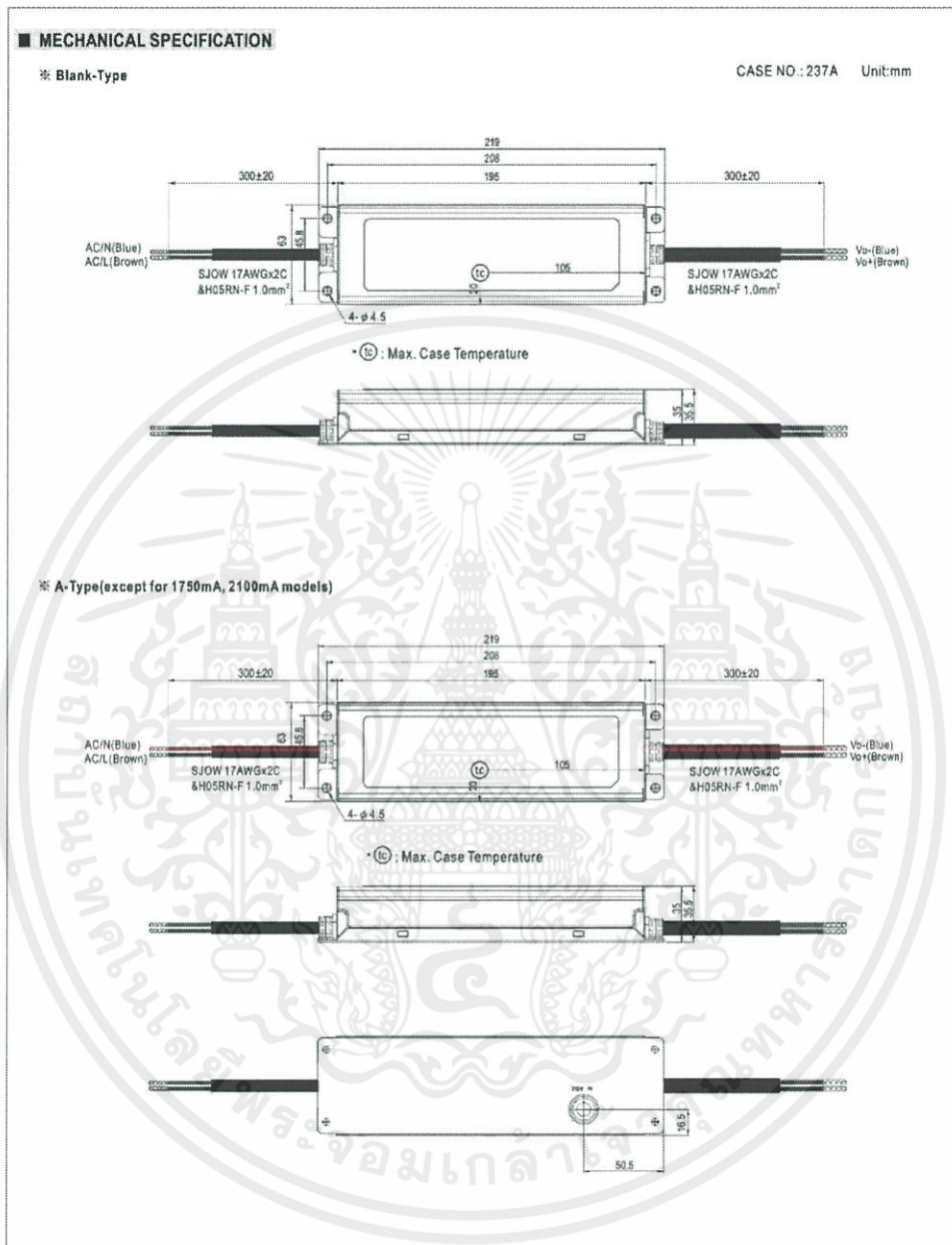
รูปที่ ง. 15 Datasheet ของ LED Driver (หน้า 8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

ELG-150-C series



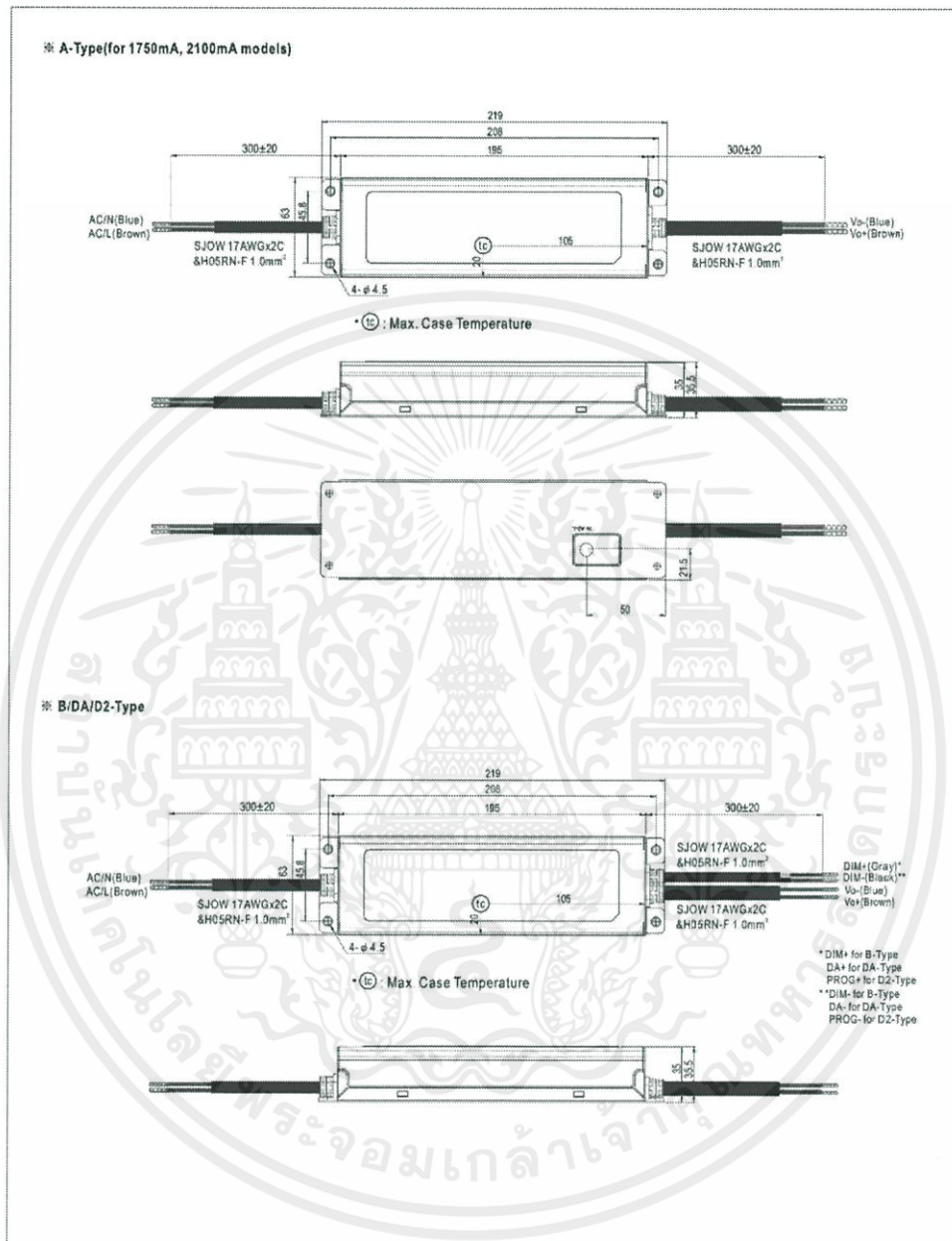
รูปที่ ง. 16 Datasheet ของ LED Driver (หน้า9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

ELG-150-C series

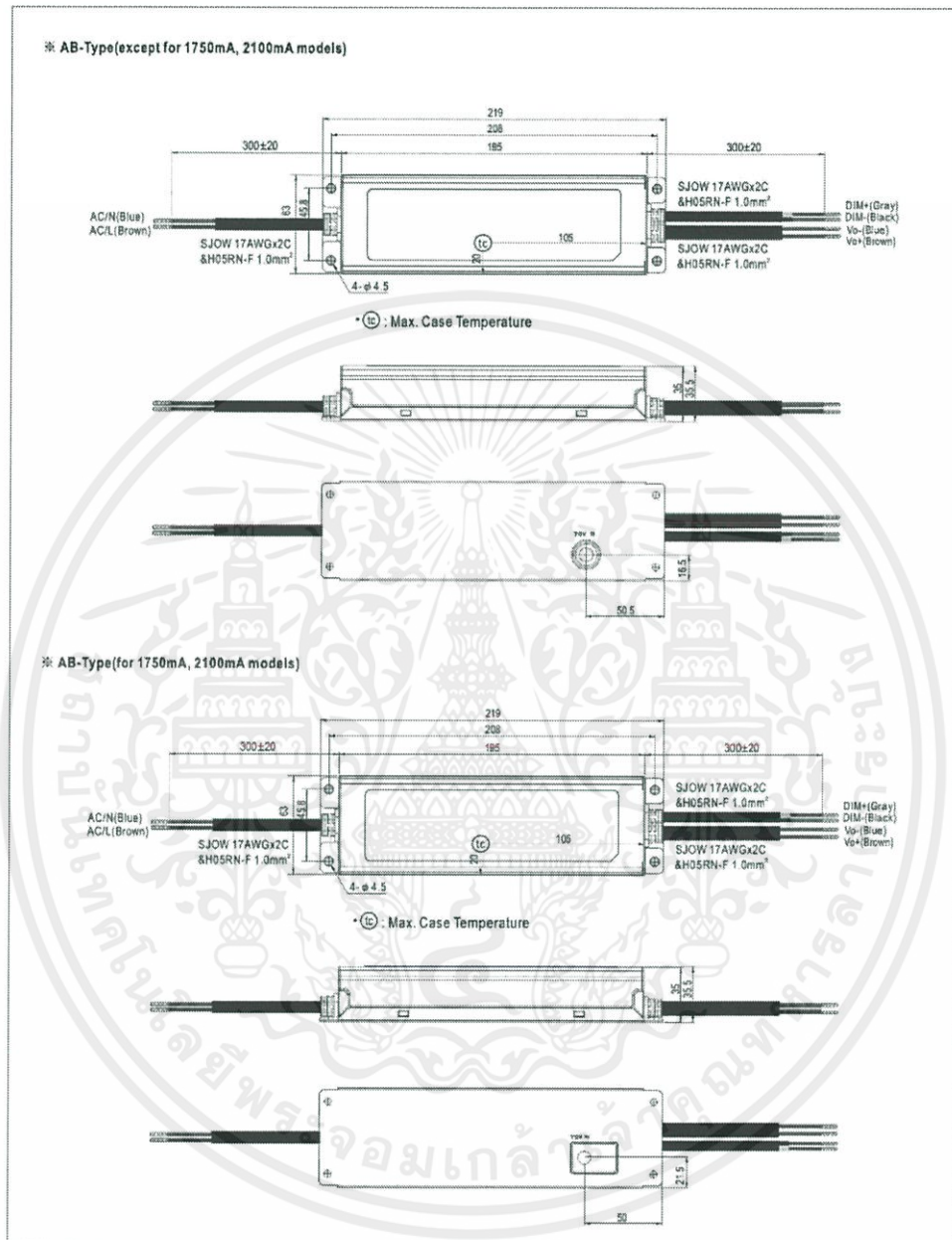


รูปที่ ง. 17 Datasheet ของ LED Driver (หน้า10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

**ELG-150-C series**

File Name: ELG-150-C-SPEC 2016-09-30

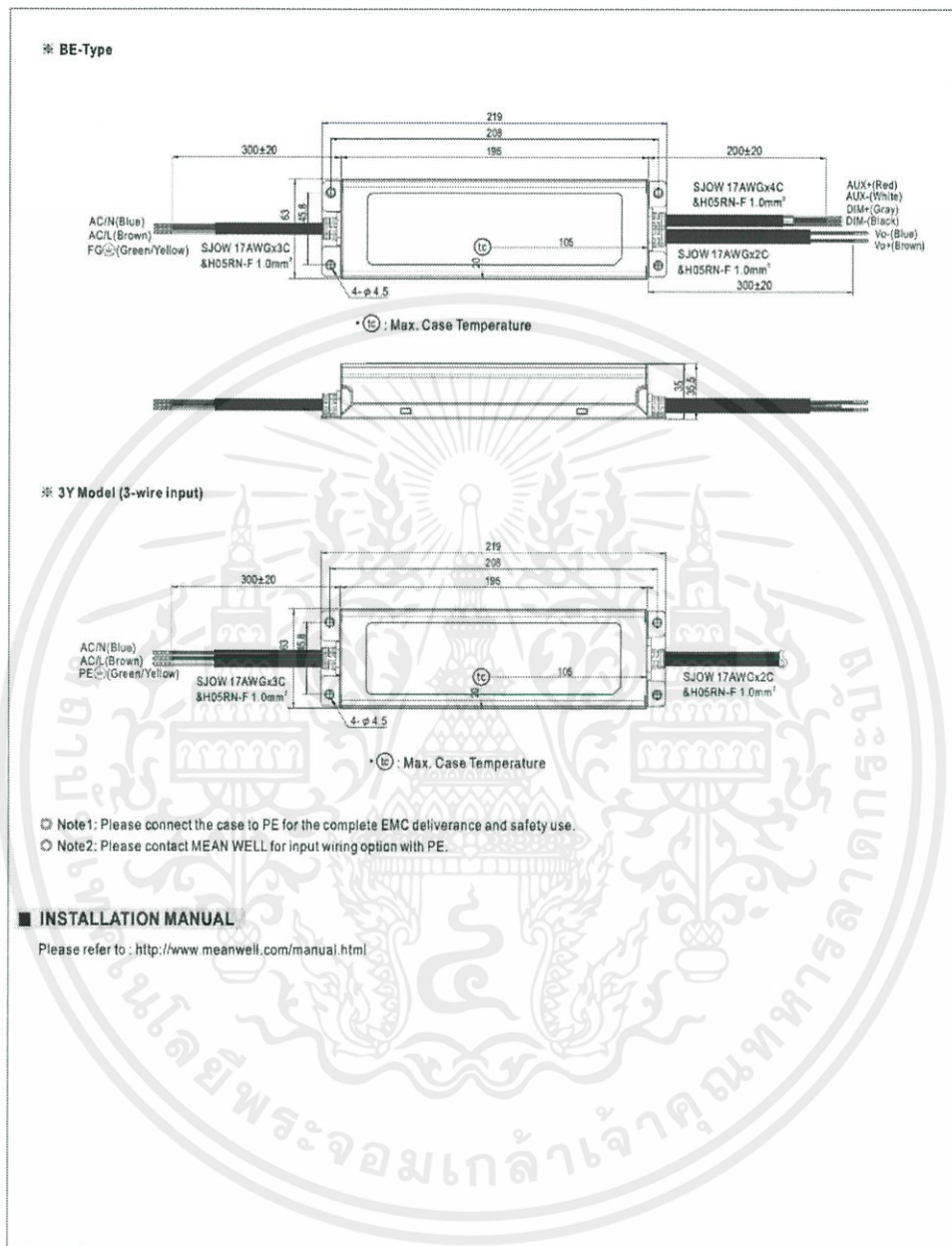
รูปที่ ง. 18 Datasheet ของ LED Driver (หน้า11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



105~150W Constant Current Mode LED Driver

ELG-150-C series



File Name: ELG-150-C-SPEC 2016-09-30

รูปที่ ง. 19 Datasheet ของ LED Driver (หน้า12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LEDiL®

## PRODUCT DATASHEET

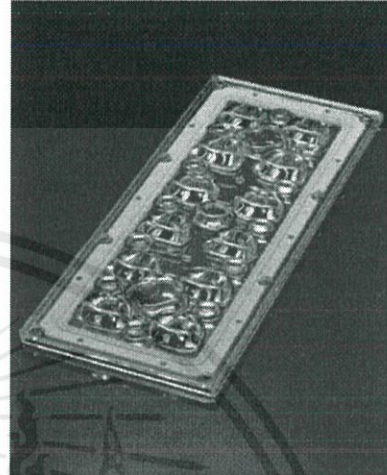
CS12862\_STRADA-IP-2X6-DWC

### STRADA-IP-2X6-DWC

Universal road lighting (IESNA Type II medium) beam with excellent mixed illuminance and luminance uniformity.

#### TECHNICAL SPECIFICATIONS:

Dimensions	173.0 x 71.4 mm
Height	9 mm
Fastening	pin, screw
Colour	clear
Box size	476 x 273 x 247 mm
Box weight	6.8 kg
Quantity in Box	120 pcs
ROHS compliant	yes



#### MATERIAL SPECIFICATIONS:

Component	Type	Material	Colour
STRADA-IP-2X6-DWC	Multi-lens	PMMA	clear
2X6-SEAL25	Seal	Silicone	white

Last update: 20/12/2018

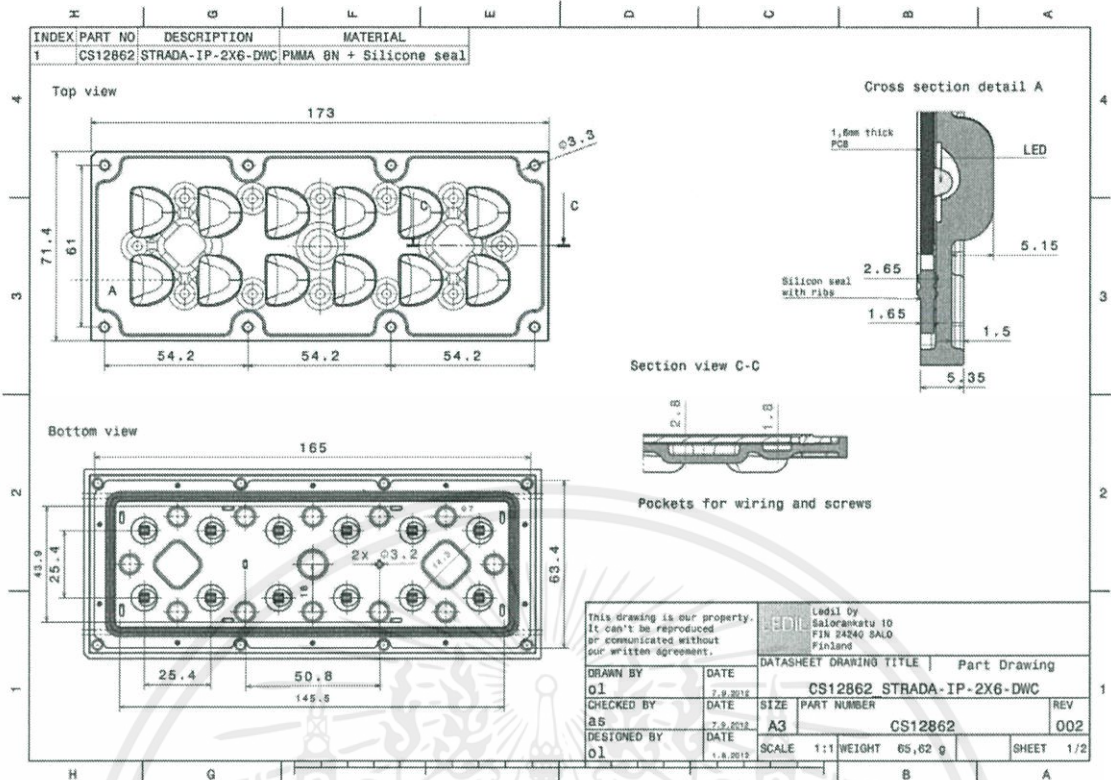
Subject to change without prior notice

LEDiL is a registered trademark of LEDiL Oy in the European Union, USA, and certain other countries.

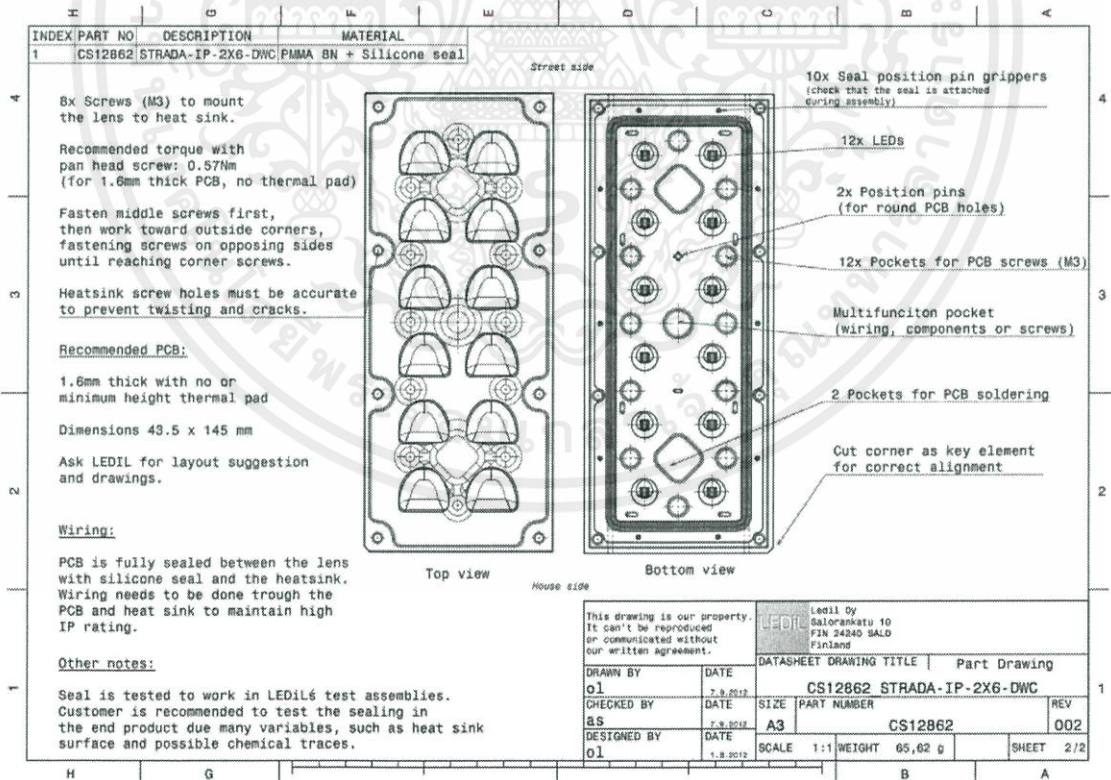
1/14

รูปที่ ง. 20 Datasheet ของ Lens (หน้า 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

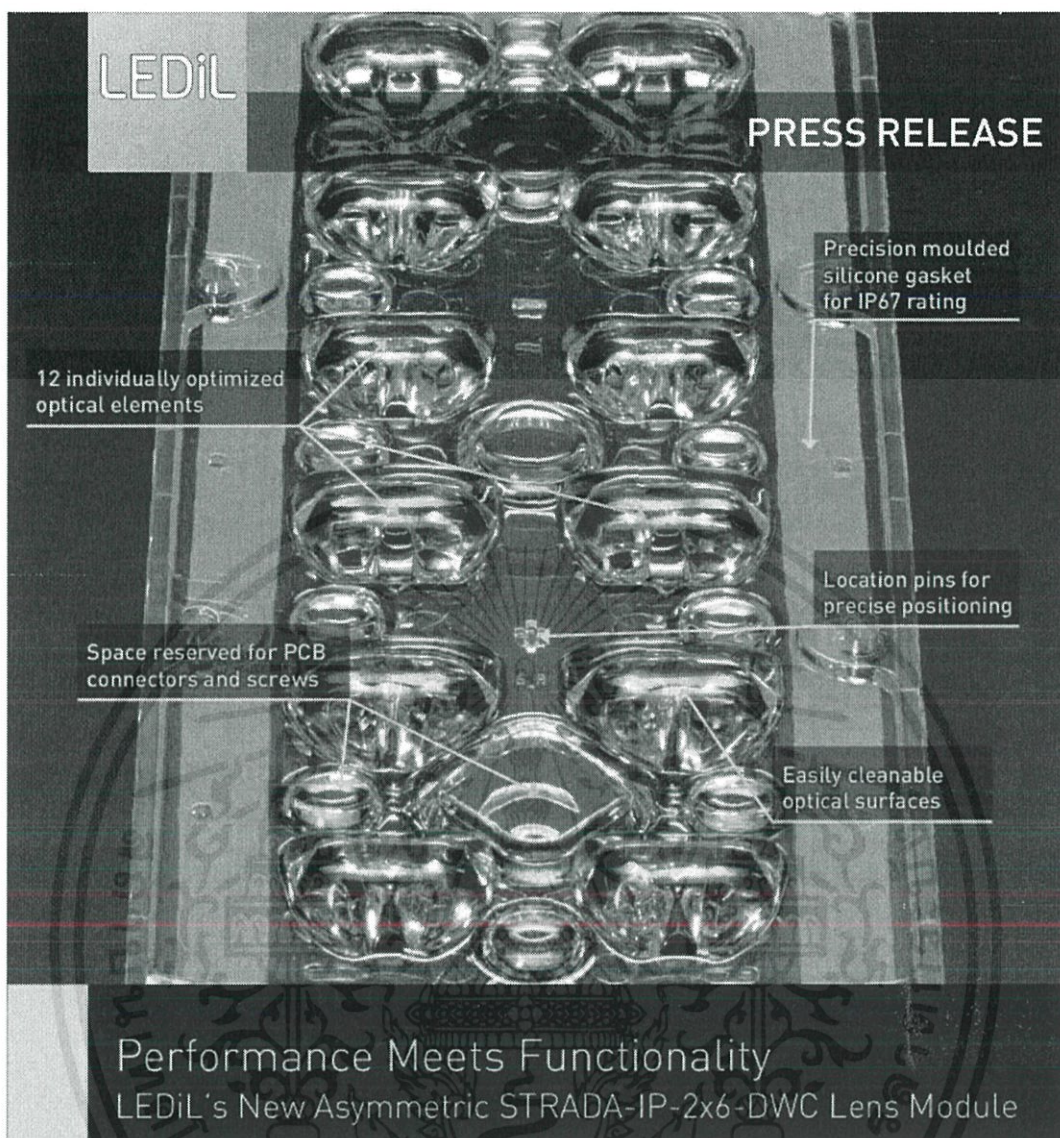


รูปที่ ง. 21 Datasheet ของ Lens (หน้า2)



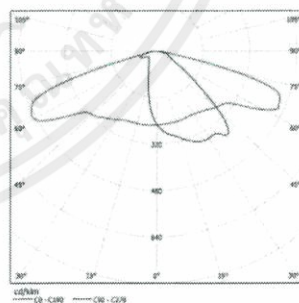
รูปที่ ง. 22 Datasheet ของ Lens (หน้า3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### One Optics Does it All

LEDiL's newest STRADA street lighting optic is designed for peak optical performance, ease of installation and protection from dirt and water. STRADA-IP-2X6-DWC is a precision-engineered 12-position lens array with a tilted beam to direct light efficiently to the roadway surface. The integral silicone gasket protects up to IP67. The wide, asymmetric beam allows for rapid development of luminaires classified as IESNA Type II and III and related European and Russian street lighting classes.



The information contained herein is the property of LEDiL Oy, Satorankatu 10, FI-24240 SALO, Finland and is subject to change without notice. Please visit [www.ledil.com](http://www.ledil.com) for additional information, such as the latest photometric files, 3D mechanical models, and application notes relating to handling, gluing and taping.

รูปที่ ง. 23 Datasheet ของ Lens (หน้า4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LEDiL

## FEATURES and BENEFITS

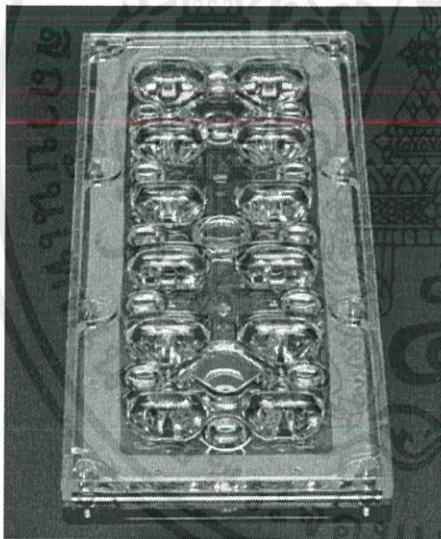
- Very wide asymmetrical beam with 70° candela peak
- Great light uniformity, even with long pole distances
- Outstanding cutoff to minimize glare
- 12 optical elements with individually optimized light distribution, reduced installation cost
- Easy positioning on PCB with locating pins. Mounting direction marked in the module
- Silicone moulded gasket for sealing of the module
- Carefully tested for IP 67\* protection
- RoHS compliant
- Space reserved for connectors and PCB fastening screws
- Module's shape and surfaces are designed for easy cleaning
- No need for external light cover, get up to 20% more lumen output in your application
- IP-rated semi-custom modules possible

with various optics from STRADA family

- High light transmission efficiency and virtually impervious to UV-damage
- High scratch and abrasion resistance
- Ideal solution for street lighting arrangements requiring pole height / distance ratio of up to and beyond 1:6

## MARKETS and TYPICAL APPLICATIONS

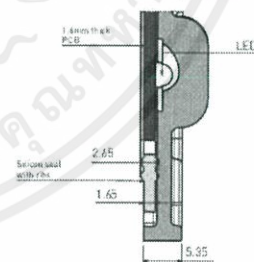
- Collector roadway lighting
- Wide urban boulevard lighting
- Residential street lighting



## TECHNICAL SPECIFICATIONS

- Dimensions: 173,0 x 71,4 x 7,92 mm
- Mounts with screws
- Module is precision-molded from optical grade PMMA – UL94 HB rated material with operating rating -40°C to +80°C
- Recommended PCB thickness 1,6 mm. PCB dimensions 43,5 x 145 mm.
- Silicone gasket seals directly into heatsink surface.

Cross section of gasket and PCB



## ORDERING INFORMATION

Order code: CS12862\_STRADA-IP-2X6-DWC

Consult [www.ledil.com](http://www.ledil.com) for ordering codes and latest product specifications, which may vary by LED

\* When mounted according to LEDiL specifications. Consult product datasheet for more information.

The information contained herein is the property of LEDiL Oy, Salorankatu 10, FI-24240 SALO, Finland and is subject to change without notice. Please visit [www.ledil.com](http://www.ledil.com) for additional information, such as the latest photometric files, 3D mechanical models, and application notes relating to handling, gluing and taping.

## รูปที่ ง. 24 Datasheet ของ Lens (หน้า5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

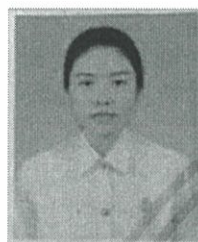


ชื่อ นางสาวลลิตภัทร เก้าเอี้ยน รหัสนักศึกษา 58011069

ที่อยู่ 96 หมู่ 9 ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง  
52100

เบอร์โทรศัพท์ 0909469865

อีเมลล์ meankaoian@yahoo.com



ชื่อ นางสาวศัสยมน ภูจอมจิตร รหัสนักศึกษา 58011206

ที่อยู่ 38/76 ซอยหทัยราษฎร์ 39 ถนนหทัยราษฎร์ เขตคลองสามวา  
แขวงสามวาตะวันตก กทม. 10510

เบอร์โทรศัพท์ 08699399567

อีเมลล์ icesat1111@gmail.com



ชื่อ นายศุภวิทย์ ดิษฐาน รหัสนักศึกษา 58011253

ที่อยู่ 229/12 ตำบลปากเปรี้ยว อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี  
18000

เบอร์โทรศัพท์ 0939818021

อีเมลล์ taesuphawit@outlook.com



ชื่อ นายหัสณพงศ์ เรืองคำ รหัสนักศึกษา 58011385

ที่อยู่ 22 ซอย 12 ถนนรามศวร์ ตำบลคูหาสวรรค์ อำเภอเมืองพัทลุง  
จังหวัดพัทลุง 93000

เบอร์โทรศัพท์ 0994833636

อีเมลล์ chiawchiaw5@hotmail.com