ด
621.381522
ณ 336 ก

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี สำหรับการส่องสว่างทั่วไปในปัจจุบัน

สารนิพนธ์

ของ

ณัฐพงศ์ วัฒนวงศ์

27 ส.ค. 2553

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ตุลาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

S37673c

อ
621.381522
ณ336ก

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี สำหรับการส่องสว่างทั่วไปในปัจจุบัน

บทคัดย่อ

ของ

ณัฐพงศ์ วัฒนวงศ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ตุลาคม 2553

ณัฐพงศ์ วัฒนวงศ์. (2553). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีสำหรับการส่องสว่างทั่วไปในปัจจุบัน.*สารนิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการทางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำคุณ ศรีสนิท.

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางพลังงานไฟฟ้าและแสงสว่างขึ้นมาก เทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจและน่าจับตามอง คือเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสง หรือหลอดแอลอีดี ซึ่งมีการพัฒนาประสิทธิภาพการให้แสงสว่างขึ้นจากในอดีตมาก จนถึงระดับที่สามารถนำมาใช้งานในระบบแสงสว่างทั่วไปได้ ประกอบกับข้อได้เปรียบอื่นของหลอดแอลอีดีนอกเหนือจากประสิทธิภาพการให้แสงสว่าง เช่น อายุการใช้งานหลอดที่ยาวนานกว่า,การแผ่รังสีความร้อนออกมาน้อยกว่า หรือไม่มีสารปรอทเจือปนในกระบวนการผลิต เหล่านี้ล้วนเป็นข้อดีของการให้แสงสว่างของหลอดแอลอีดี แต่สิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีในปัจจุบัน จนถึงจุดที่จะใช้งานกันอย่างแพร่หลายได้นั้น อยู่ที่ความคุ้มค่าและความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

การวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างโปรแกรมช่วยคำนวณผลเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุนเลือกใช้หลอดแอลอีดีในงานแสงสว่างทั่วไปภายในอาคาร โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เป็นฐานข้อมูลของหลอดไฟประเภทต่างๆ พร้อมทั้งดึงข้อมูลมาใช้ในการคำนวณหาเกณฑ์ด้วย Microsoft Excel VBA ตามเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆที่ผู้ใช้งานระบุผ่านทางส่วนติดต่อผู้ใช้งาน เช่น ประเภท,รุ่น ของหลอดไฟที่ต้องการเปรียบเทียบ, ขนาดห้อง,ประเภทการใช้งานของห้อง,ระยะเวลาเปิดใช้งาน และแสดงผลของการคำนวณให้ทราบ

ผลของโปรแกรมสามารถช่วยคำนวณหาเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุน ตามเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆที่ผู้ใช้งานระบุได้สี่เกณฑ์ ดังต่อไปนี้ 1. ระยะเวลาคืนทุน 2. อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน 3. มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ และ 4. อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเพิ่มเติม แก้ไข ปรับปรุงข้อมูลของหลอดไฟให้ทันสมัยได้ตลอดเวลา สามารถเปรียบเทียบกับหลอดไฟประเภทอื่นนอกเหนือจากหลอดแอลอีดีได้ และโปรแกรมช่วยให้ข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจในการลงทุนได้อย่างถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว

FEASIBILITY STUDY OF USING LEDs IN GENERAL LIGHTING APPLICATION

AN ABSTRACT

BY

NATAPONG WATANAWONG

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Master Project of Engineering degree in Engineering Management

at Srinakharinwirot University

October 2010

Natapong Watanawong. (2010). *Feasibility Study Of Using LEDs In General Lighting Application.* Master's Project, M.Eng. (Engineering Management). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Project Advisor: Asst. Prof. Dr. Namkhun Srisanit.

Today, the LEDs (Light Emitting Diodes) technology has improve its efficiency up to 100 lumen/watts at this level LEDs can consider for a general lighting application. Moreover not only better energy efficiency of LEDs technology , but also the other advantage are lamp life , less heat producing , environmental friendliness of an LED lamp over its entire life when compare it with a compact fluorescent lamp and an incandescent lamp. Anyway the important factor to adopt LEDs technology as general lighting is economic worthiness.

This paper is provide the program that calculate and report the investment criteria data to support in the decision-making process by using MS Excel as a lamp database and link these data to calculate result by Excel VBA according to user's condition and variable input for example lamp type , model of bulb , room area , room function , time of use . etc.

In conclusion , the program can calculate and report result of the investment criteria which consist of 1.Pay-Back period 2.Rate of Return on Investment (ROI) 3.Net Present Value (NPV) and 4.Internal Rate of Return (IRR) along with user can always add , modify , up-date lamp data and also compare with other type of lamp beside LEDs lamp.

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และคณะกรรมการสอบได้พิจารณาสารนิพนธ์เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีสำหรับการส่องสว่างทั่วไปในปัจจุบัน ของ ณัฐพงศ์ วัฒนวงศ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นำคุณ ศรีสนิท)

ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ธนรัตน์ แต้วัฒนา)

..... กรรมการสอบสารนิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นำคุณ ศรีสนิท)

..... กรรมการสอบสารนิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาดล คงสมบูรณ์)

อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(อาจารย์ อารีย์ หาญสืบสาย)

วันที่ 15 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2553

ประกาศคุณูปการ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำคุณ ศรีสนิท อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาทั้งในด้านวิชาการ และแนวทางในการปฏิบัติงานวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ และ รองศาสตราจารย์ ธนรัตน์ แต้วัฒนา กรรมการสอบสารนิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่อง และปรับปรุงสารนิพนธ์นี้ให้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท ฟิลลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด , บริษัท ออสแรม (ประเทศไทย) จำกัด , บริษัท ฮาเวลส์ ซิลวาเนีย (ประเทศไทย) จำกัด , บริษัท ควอลิตี้ เทรดดิ้ง จำกัด , บริษัท ไลท์ติ้ง แอนด์ อีควิปเมนท์ จำกัด , บริษัท CINA LED LIGHTING TECH จำกัด , บริษัท ETN TECHNOLOGY จำกัด , บริษัท CHLIK ELECTRONICS TECHNOLOGY จำกัด ที่ช่วยอนุเคราะห์ข้อมูลทางเทคนิครวมถึงราคาของหลอดไฟแอลอีดี และหลอดไฟประเภทต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้กำลังใจในการศึกษาครั้งนี้ หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องหรือมีความผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยเป็นอย่างสูง สำหรับความดีของสารนิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่บิดา มารดา และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้เขียนทุกท่าน

ณัฐพงศ์ วัฒนวงศ์

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	สมมติฐานในการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	2
	ตัวแปรที่ศึกษา	2
	นิยามศัพท์เฉพาะ	3
	วิธีดำเนินการวิจัย	4
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	5
	ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงสว่าง	5
	แหล่งกำเนิดแสงสว่าง	6
	ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (Lumen)	6
	หลอดไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดี	8
	พัฒนาการของหลอดแอลอีดี	8
	ประเภทของไดโอดเปล่งแสง	10
	โครงสร้างไดโอดเปล่งแสง	12
	หลักการทำงานเบื้องต้นของไดโอดเปล่งแสง	13
	แอลอีดีแสงสีขาว	14
	หลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ ลูเมนและอายุการใช้งานของหลอด	16
	การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
3	**วิธีดำเนินงานวิจัย**	25
	แผนภาพขั้นตอนหลักในการดำเนินงานวิจัย	25
	ตัวอย่างโครงสร้างของการจัดเก็บตารางฐานข้อมูลหลอดไฟ	26
	แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณ	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

3 (ต่อ)

การคำนวณหาจำนวนหลอดไฟ ด้วยปริมาณแห่งการส่องสว่าง

ผ่านวิธีการหาค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (Lumen Method) 28

วิธีการหาค่าอัตราส่วนของห้อง หรือดัชนีห้อง..... 32

เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน..... 36

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าเวลา..... 36

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าของเวลา..... 38

4 **ผลการดำเนินงานวิจัย**..... 44

ผลลัพธ์การพัฒนาซอฟต์แวร์..... 45

ขั้นตอนในการใช้งาน..... 50

รูปแบบและรายละเอียดในการแสดงผล..... 59

สาระสำคัญและการอธิบายผลที่ได้จากเกณฑ์การตัดสินใจ..... 62

ข้อจำกัดในการคำนวณหาเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน..... 70

การเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆกับผลเกณฑ์การตัดสินใจที่ได้..... 72

ข้อมูลหลอดแอลอีดีและราคาในปัจจุบัน..... 75

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี

สำหรับระบบแสงสว่างทั่วไป ภายในอาคาร..... 81

5 **สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**..... 83

สรุปผลการวิจัย..... 83

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย..... 84

บรรณานุกรม..... 86

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

ภาคผนวก..... 88

ภาคผนวก ก..... 89

ภาคผนวก ข..... 105

ภาคผนวก ค..... 113

ภาคผนวก ง..... 138

ประวัติย่อผู้ทำสารนิพนธ์..... 155

บัญชีตาราง

ตาราง **หน้า**

1 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของไดโอดเปล่งแสง ความยาวคลื่น
และสารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำ..... 10

2 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของไดโอดเปล่งแสงและแรงดันไฟฟ้าไบอัสตรง..... 11

3 โครงสร้างตารางการจัดเก็บข้อมูลของหลอดไฟที่ใช้ในการคำนวณ..... 26

4 แสดงค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของสี..... 33

5 แสดงค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของวัสดุ..... 33

6 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้งานกับผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน..... 72

7 ความสัมพันธ์ของเวลาเปิดใช้งานกับผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน..... 73

8 ความสัมพันธ์ของราคาหลอดแอลอีดีกับผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน..... 73

9 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้ซอฟต์แวร์..... 82

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 ความยาวคลื่นของแสงสว่างที่ตามองเห็น..... 5

2 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยวัดแสงสว่างฟุต-แคนเดิลและลักซ์..... 7

3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 8

4 แสดงโครงสร้างหลักของหลอดไดโอดเปล่งแสง..... 12

5 แสดงการไบอัสตรงและการนำกระแสของไดโอด..... 13

6 แสดงสเปกตรัมของแสงจากหลอดแอลอีดีขาวโดยวิธีการเปลี่ยนความยาวคลื่น.... 14

7 แสดงสเปกตรัมของแสงจากหลอดแอลอีดีขาวโดยวิธีการผสมสี..... 15

8 แสดงชนิดหลอดไฟ..... 16

9 แผนภาพแสดงขั้นตอนหลักในการดำเนินงานวิจัย..... 25

10 แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องมือ..... 27

11 แสดงค่าความเสื่อมสภาพของดวงโคมไฟฟ้าเนื่องจากความสกปรก..... 30

12 ตัวอย่างตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU) 34

13 ข้อความเตือนด้านความปลอดภัย..... 44

14 วิธีเปิดการทำงานของ (Macro & ActiveX) 45

15 แสดงส่วนประกอบหลักภายในโปรแกรม..... 46

16 การกำหนดค่าเริ่มต้นในการคำนวณ..... 47

17 ชีทรายงานผลและชีทประเภทหลอดไฟ..... 48

18 โครงสร้างตารางการเก็บข้อมูลของหลอดไฟ..... 49

19 แสดง 3 ขั้นตอนหลักในการใช้งาน..... 51

20 แบบฟอร์มในการป้อนข้อมูลในขั้นตอนที่ 1..... 51

21 การระบุประเภทและขนาดพื้นที่ใช้งาน..... 52

22 ผลการคำนวณลูเมนติดตั้งที่ต้องการ..... 52

23 ขั้นตอน 2 การเลือกหลอดไฟแบบเดิม..... 53

24 แสดงส่วนประกอบแบบฟอร์มในการป้อนข้อมูลขั้นตอนที่ 2..... 53

25 แสดงลำดับการป้อนข้อมูลในขั้นตอนที่ 2..... 54

26 การกำหนดราคาและกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ประกอบขับหลอด..... 55

27 สรุปจำนวนหลอด,เงินลงทุน,และพลังไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดไฟแบบเดิม..... 56

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

28 ขั้นตอน 3 การเลือกหลอดไฟเปรียบเทียบ..... 56

29 แสดงส่วนประกอบแบบฟอร์มในการป้อนข้อมูลขั้นตอนที่ 3..... 57

30 สรุปจำนวนหลอด,เงินลงทุน,และพลังไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนหลอดไฟใหม่..... 58

31 แสดงระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน
โดยคิดที่ผลประโยชน์ จากการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น..... 59

32 แสดงผลของเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนที่ได้จากการคำนวณ
โดยคิดที่ผลประโยชน์ จากอายุการใช้งานของหลอดไฟด้วย..... 60

33 แสดงผลของเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนที่ได้จากการคำนวณ 61

34 รายละเอียดข้อมูลภายในตาราง Report (1) 63

35 รายละเอียดข้อมูลภายในตาราง Report (2) 63

36 รายละเอียดข้อมูลภายในตาราง Report (3) 64

37 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (1)..... 65

38 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (2)..... 65

39 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (3)..... 66

40 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (4)..... 66

41 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (5)..... 67

42 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (6)..... 67

43 สรุปผลเกณฑ์การตัดสินใจที่คำนวณได้ ของห้องนอน..... 68

44 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของทางเดินหน้าห้องพัก (1) 68

45 ข้อมูลรายงาน SUB TOTAL ของตัวอย่างโรงแรม..... 69

46 หลอดที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพดีกว่าในราคาที่ถูกกว่า..... 70

47 คำเตือนให้เปลี่ยนหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม..... 70

48 ตัวอย่างอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จำเป็นเพื่อขับหลอดฟลูออเรสเซนต์..... 71

49 แสดงข้อมูลหลอดแอลอีดีและราคาในปัจจุบัน..... 75

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ประเทศต่างๆทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย ได้มีการรณรงค์ให้ช่วยกันประหยัดพลังงานกันมากขึ้น เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดและใกล้จะหมดไปให้คุ้มค่ามากที่สุด เพื่อให้มีพลังงานใช้ยาวนานต่อไปในอนาคต

ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางพลังงานไฟฟ้าและแสงสว่าง ซึ่งมีความจำเป็นต่อสังคมมนุษย์ในปัจจุบันมาก อาทิ เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ และพัฒนาการด้านไดโอดเปล่งแสงที่ได้ถูกพัฒนามาโดยลำดับ มีจุดเด่นเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย ซึ่งหมายถึงมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่าง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และทนทาน ทำให้บริษัทผู้ผลิตแอลอีดีจำนวนมากและผู้ผลิตหลอดไฟหลายรายในปัจจุบันพยายามพัฒนาเทคโนโลยีนี้ออกมาแข่งขันกับเทคโนโลยีหลอดไส้ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยกว่า 30 ปีที่ผ่านมาแล้วที่แอลอีดีได้ถูกใช้งานอย่างหลากหลาย ในหลายอุตสาหกรรมตั้งแต่ระบบควบคุมในโรงงาน เครื่องเสียง , โทรศัพท์ , คอมพิวเตอร์ , ไฟสัญญาณจราจร รวมถึงไฟสัญญาณของรถยนต์

ในสองสามปีที่ผ่านมา หลอดแอลอีดีได้พัฒนาประสิทธิภาพการให้แสงสว่างเพิ่มสูงขึ้นอย่างน่าประหลาดใจ และยังสามารถนำไปใช้งานได้ในหลายๆสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงเป็นแนวโน้มว่าแอลอีดีจะเป็นแหล่ง กำเนิดแสงที่น่าสนใจในอนาคต โดย ณ เวลานี้หลอดแอลอีดีได้พัฒนาประสิทธิภาพการให้แสงสว่างจนสูงกว่าหลอดไส้เรียบร้อยแล้ว ประสิทธิภาพการส่องสว่างของแอลอีดีได้เพิ่มสูงขึ้นถึง 40 - 100 lm/W (ลูเมนต่อวัตต์) ประสิทธิภาพในการเปล่งแสงขึ้นอยู่กับแสงสีด้วย ซึ่งความสว่างในระดับนี้ มากเพียงพอที่จะใช้กับงานจัดแสงสว่างทั่วไปได้แล้ว เช่น ในระบบไฟฉุกเฉินหรือไฟตกแต่งอาคาร เป็นต้น ถึงวันนี้ข้อดีของการนำแอลอีดีไปใช้งานได้กลายเป็นจุดขายไปแล้วและกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น

ในการเปลี่ยนมาใช้ เทคโนโลยีหลอดแอลอีดี ในการส่องสว่างแทนหลอดไส้ , หลอดฟลูออเรสเซนต์ รวมถึงแทนหลอดคอมแพกฟลูออเรสเซนต์นั้น ตามหลักการและทางทฤษฎีในปัจจุบัน ได้พิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ไม่ว่าจะเป็น ประสิทธิภาพในการส่องสว่าง (lumens/watt) , อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า , การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า แผ่รังสีความร้อนออกมาน้อยกว่าซึ่งจะส่งผลดีใน

การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะไม่มีสารปรอทเจือปนภายในเหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์

แต่สิ่งหนึ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีในปัจจุบัน จนถึงจุดที่จะใช้งานกันอย่างแพร่หลายได้นั้น อยู่ที่ความเป็นไปได้ ความคุ้มค่าและความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนเพื่อทดแทนหลอดไฟเก่าที่ชำรุด หรือเป็นการลงทุนในการเริ่มโครงการใหม่ก็ตาม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ต่อการลงทุนในปัจจุบัน ในการใช้งานหลอดแอลอีดีในงานระบบแสงสว่างทั่วไปภายในอาคาร

2. เพื่อสร้างเครื่องมือที่ช่วยคำนวณและให้ข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจ เพื่อการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีในงานระบบแสงสว่างทั่วไปภายในอาคาร

สมมุติฐานในการวิจัย

การใช้งานหลอดแอลอีดี ในการส่องสว่างทั่วไปภายในอาคาร สามารถให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างที่ดีกว่า อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า ซึ่งส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนในปัจจุบัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการนำหลอดแอลอีดีมาใช้งานแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ในระบบแสงสว่างในอาคาร

2. ทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงคุณลักษณะต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพในการส่องสว่าง (ลูเมน/วัตต์) รวมถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าและ อายุใช้งานที่ยาวนานเปรียบเทียบกับราคาของหลอดแอลอีดีที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- ประสิทธิภาพในการส่องสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลูเมนต์/วัตต์)
- ราคาของหลอดไดโอดเปล่งแสงและดวงโคม รวมถึงอุปกรณ์ประกอบที่จำเป็นในปัจจุบัน
- อายุการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสง , ระยะเวลาที่เปิดใช้งานต่อวัน

ตัวแปรตาม ได้แก่

- ค่าไฟฟ้า
- ค่าบำรุงรักษา

นิยามศัพท์เฉพาะ

ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

1. ไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diode ย่อด้วย LED แอลอีดี) หมายถึง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอดที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบ หลอดแอลอีดีหรือหลอดไดโอดเปล่งแสง เป็นหลอดแสงสว่างแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีไส้หลอด การเปล่งแสงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านรอยต่อของสารกึ่งตัวนำที่เป็นผลึกแข็ง ทำให้เกิดอนุภาคโปรตอนที่เป็นแสงสว่างขึ้น มีทั้งแสงที่ตามองเห็นได้และมองเห็นไม่ได้

2. ลูเมน (Lumen: lm) คือ ฟลักซ์ของแสงสว่าง หมายถึงจำนวนแสงสว่างทั้งหมดที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นลูเมน เช่นหลอดไส้ธรรมดาขนาด 100 วัตต์ ให้ฟลักซ์แสงสว่างออกมาทั้งหมด 1,750 ลูเมน

3. ลูเมนต่อวัตต์ (Lumen/Watt) คือ ประสิทธิภาพแสงสว่าง (Luminous Efficacy) หมายถึงการเปรียบเทียบฟลักซ์แสงสว่างของหลอดไฟฟ้าชนิดหนึ่งกับกำลังไฟฟ้าของหลอดนั้น มีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (lm/W) เช่นหลอดฟลูออเรสเซนต์ 40 W ให้ฟลักซ์แสงสว่าง 3100 ลูเมน ประสิทธิภาพแสงสว่างจะมีค่า 3100/40 เท่ากับ 77.5 ลูเมนต่อวัตต์

4. ความเข้มแสงสว่าง (Luminous Intensity: I) หมายถึงความหนาแน่นของฟลักซ์แสงสว่างที่ส่องไปยังทิศทางหนึ่งทิศทางใดที่ถูกกำหนดหรือออกแบบไว้ โดยความเข้มของแสงสว่างมีหน่วยเป็นแคนเดลา (Candela: cd) สามารถวัดค่าได้ตามความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงสว่าง กำลังการส่องสว่างหรือความเข้มการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะมีขนาดเท่ากับ 1/60 ของความเข้มแห่งการส่องสว่างต่อตารางเซนติเมตร บนทุกๆพื้นผิวของวัตถุดำที่อุณหภูมิเท่ากับจุดเยือกแข็งของทองคำขาว ภายใต้ความดัน 760 มิลิเมตรปรอท ตัวอย่างเช่น ความเข้มของไฟฉายในทิศทางที่กำหนด มีค่า 200 แคนเดลา ความเข้มในทิศทางที่ต้องการจะกำหนดเป็นมุมต่างๆ เช่น ที่มุม 30 , 40 , 60 องศา หรือที่มุมอื่นๆ

5. ความสว่าง (Illumination: E) หมายถึง ฟลักซ์แสงสว่าง (ลูเมน) ที่ตกลงบนพื้นที่ย่อยหนึ่งหารด้วยพื้นที่ของส่วนย่อยนั้น มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux: lx) เมื่อพื้นที่ของส่วนย่อยนั้นมีหน่วยเป็นตารางเมตร หรือมีหน่วยเป็นฟุต-แคนเดิล (Foot-Candle) เมื่อพื้นที่ของส่วนย่อยนั้นมีหน่วยเป็นตารางฟุต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กำหนดปัญหา หรือตัวแปรที่ต้องการหาค่าและเก็บข้อมูลเพื่อใช้เปรียบเทียบ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ หรือออกแบบทดสอบ เช่น สเปคของหลอดไฟแต่ละประเภท , กำลังส่องสว่าง , การใช้พลังงานไฟฟ้า , อายุการใช้งาน , ราคา เป็นต้น

2. รวบรวมและศึกษาถึงหลักการในการทำงานและข้อจำกัดของหลอดแอลอีดี ความรู้พื้นฐานทางด้านแสงสว่าง ทฤษฎีและมาตรฐานในการออกแบบทางวิศวกรรมส่องสว่าง เช่นข้อแนะนำหรือมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

3. ตรวจสอบเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับการพัฒนาและการใช้งานหลอดแอลอีดีในระบบส่องสว่าง รวมถึงกรณีศึกษาโครงการที่ประสบความสำเร็จในการเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี และศึกษาเกี่ยวกับเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

4. เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรที่กำหนด เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ราคาของหลอดหรือดวงโคมแอลอีดีรวมถึงอุปกรณ์ประกอบจำเป็นที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน

5. ออกแบบและสร้างเครื่องมือเพื่อช่วยคำนวณและให้ข้อมูลสนับสนุนทางเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี

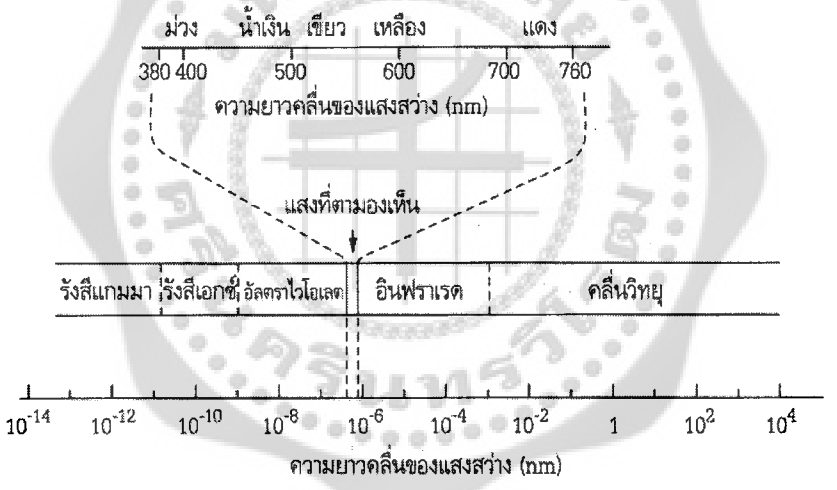
6. วิเคราะห์ข้อมูล และ สรุปผล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงสว่าง

จากทฤษฎีคลื่นของแสงสว่าง ได้ให้คำนิยามของแสงสว่างว่า เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีลักษณะเป็นคลื่น สามารถเคลื่อนที่ได้ มีลักษณะเหมือนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีคุณสมบัติที่ทำให้ตาของมนุษย์ สามารถมองเห็นแสงสว่างเป็นสีต่างๆได้ และสามารถแยกแยะขนาด รูปร่าง และสีของสิ่งต่างๆ ได้ โดยความยาวคลื่นของแสงสีต่างๆ จะมีความยาวคลื่นต่างกันออกไป การที่เรามองเห็นแสงสว่างสีต่างๆได้ ก็ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ตกกระทบตาเรา ว่าอยู่ที่ช่วงความยาวคลื่นที่เท่าไร ก็เห็นแสงสว่างสีนั้นออกมา ความยาวคลื่นแสงสว่างสีแสดงไว้ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ความยาวคลื่นของแสงสว่างที่ตามองเห็น

จากภาพประกอบ 1 จะเห็นได้ว่าที่กลุ่มของแสงสว่างสีต่างๆ ที่เรามองเห็นได้นั้น จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสง ระหว่าง 380 ถึง 760 นาโนเมตร ถ้าความยาวคลื่นแสงสว่างสีลดลง โดยเปลี่ยนจากแสงสว่างสีเขียวไปเป็นแสงสว่างสีน้ำเงิน ผลตอบสนองของตาก็จะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อลดลงถึง 380 นาโนเมตร ก็ไม่สามารถมองเห็นสีของแสงต่างๆได้ แต่ยังคงให้พลังงานคลื่นออกเป็นรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ในทางกลับกัน ถ้าเริ่มมองแสงสว่างที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตรขึ้นไป เราจะเห็นแสงสว่างสีเหลืองแล้วเปลี่ยนเป็นแสงสว่างสีแดงเมื่อความยาวคลื่นแสงเพิ่มขึ้น ผลตอบสนองของตาก็จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงความยาวคลื่นของแสงที่ 760 นาโนเมตร จากนั้นก็จะไม่สามารถมองเห็นสีของแสงสว่างได้ โดยยังคงมีพลังงานคลื่นออกมาเป็นรังสีใต้แดง (Infrared)

แหล่งกำเนิดแสงสว่าง

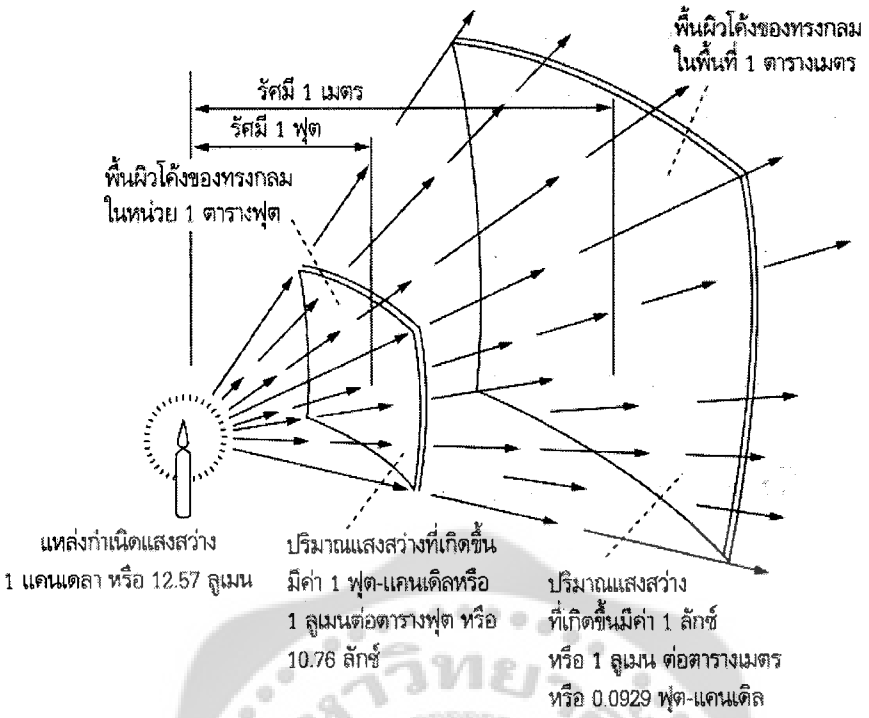
โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่เราพบเห็นอยู่ในปัจจุบันนี้มีอยู่ 2 จำพวก ซึ่งแบ่งตามลักษณะการให้แสงสว่างออกมา

1. แหล่งกำเนินแสงสว่างที่ได้จากการเผาไหม้ หรือทำให้วัตถุหรือโลหะเกิดความร้อนมากๆ จนเปล่งแสงสว่างออกมา เช่น การให้ความร้อนแก่โลหะจนร้อนแดง และเพิ่มอุณหภูมิให้เรื่อยๆ จนในที่สุดโลหะนั้นก็จะเปลี่ยนแปลงสีออกมาเป็นสีส้ม สีเหลืองจ้าและสว่างขึ้น เรียกแหล่งกำเนิดแสงสว่างแบบนี้ว่า แหล่งกำเนิดแสงสว่างร้อน (Hot Source) หรือที่นิยมเรียกอีกแบบคือ แหล่งกำเนิดแสงสว่างแบบลุกโชติช่วง (Incandescence) และแหล่งกำเนิดแสงสว่างแบบนี้ จะให้พลังงานของแสงสว่างสีแดงออกมามากกว่าพลังงานของแสงสว่างสีน้ำเงิน และถ้าโลหะที่ถูกทำให้ร้อนจนเปล่งแสงสว่างออกมานั้นเป็นแท่งเหล็ก จะให้รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) และรังสีอินฟราเรดออกมาด้วย ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงสว่างแบบนี้ได้แก่ แสงสว่างจากการเชื่อมโลหะ แสงสว่างจากการเผาวัสดุต่างๆ แสงสว่างจากหลอดไส้ เหล่านี้ เป็นต้น

2. แหล่งกำเนิดแสงสว่างซึ่งไม่ได้เกิดจากการเผาไหม้ แต่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงวงโคจรของอิเล็กตรอน , เกิดจากการปล่อยประจุของก๊าซ เป็นต้น เรียกแหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้ว่า แหล่งกำเนิดแสงเย็น (Cold Source) หรือเรียกอีกแบบคือ แหล่งกำเนิดแสงสว่างแบบเรืองแสงสว่าง (Luminescence) ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงสว่างแบบนี้ได้แก่ หลอดไฟฟ้าที่ใช้หลักการปล่อยประจุของก๊าซ (Gas Discharge) เช่น หลอดโซเดียมความดันสูง , หลอดแสงจันทร์ , หลอดเมทัลฮาไลด์ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (Lumen)

ในการบอกค่าความมากน้อยของพลังงาน หรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงสว่างใดๆ อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันคือ จะอยู่ในรูปของปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างนั้น เช่น ถ้าเรามีแหล่งกำเนิดแสงสว่างขนาดเล็กมากๆ เสมือนจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง เปล่งออกมารอบตัวมันอย่างสม่ำเสมอ รอบทุกทิศทาง และมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา นำมาวางที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม โดยมีรัศมี 1 หน่วย ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างทั้งหมดที่พุ่งไปตกลงบน ทุกๆ 1 ตารางหน่วยพื้นที่บนผิวของทรงกลม จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน ถ้าพิจารณาพื้นที่ทั้งหมดของทรงกลมแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ เพราะฉะนั้น ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างออกได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน พิจารณาได้จากภาพประกอบ 2

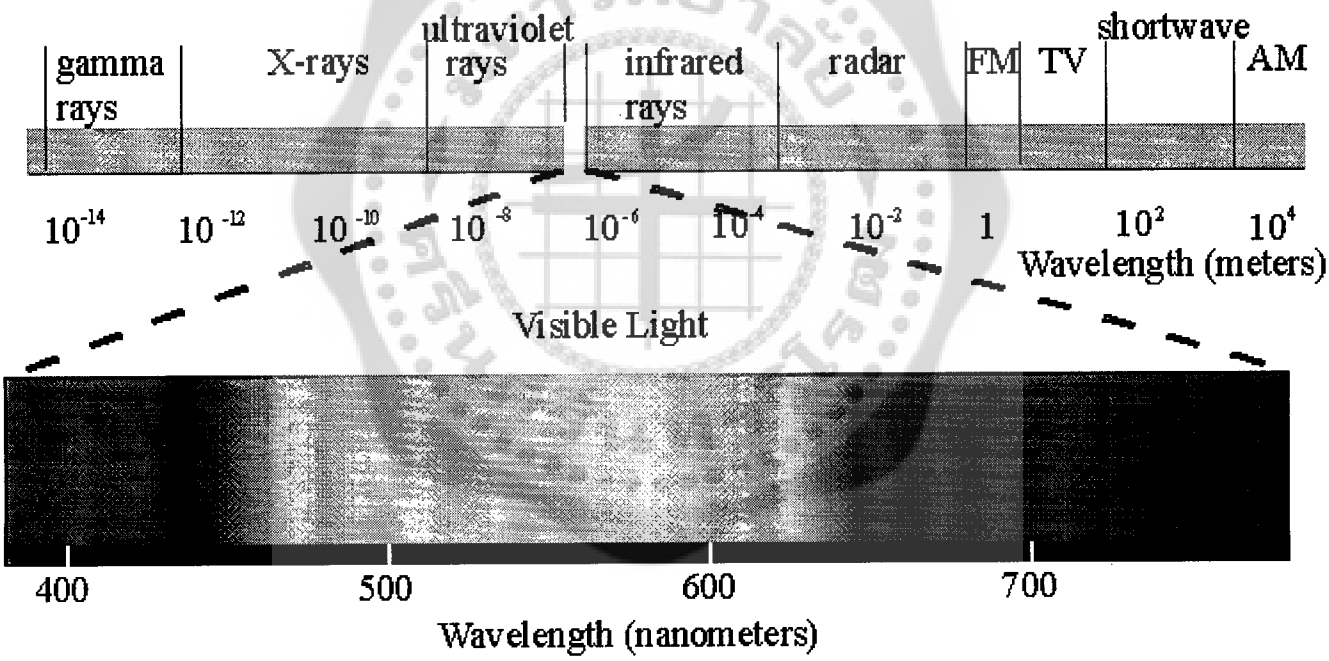


ภาพประกอบ 2 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยวัดแสงสว่างฟุต-แคนเดิลและลักซ์

จากภาพประกอบ 2 ถ้าเรานำแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีขนาดเล็กมากๆ เสมือนจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่เปล่งออกมารอบทุกๆทิศทาง อย่างสม่ำเสมอ มีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา นำมาวางที่จุดศูนย์กลางทรงกลม มีรัศมีเท่ากับ 1 เมตร และมีปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง 1 ลูเมน ไปตกลงบนพื้นที่ผิวของทรงกลมทุกๆ 1 ตารางเมตร ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ หรือเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร และค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง 1 ฟุต-แคนเดิล จะมีค่าเท่ากับ 10.76 ลักซ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ ฟุต-แคนเดิลมิเตอร์ (Foot-candle meter) กับ ลักซ์มิเตอร์ (Lux meter)

หลอดไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดี

ไดโอดเปล่งแสงหรือที่เรียกว่าแอลอีดี (Light Emitting Diode) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงได้ ไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) และชนิดเอ็น (N-Type) ต่อกันเป็นรอยต่อพีเอ็น (P-N Junction) จะสามารถเปล่งแสงออกมาได้ก็ต่อเมื่อได้รับการไบอัสตรง (Forward Bias) โดยกระแสไบอัสตรงนั้นจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอน (Electron) และโฮล (Hole) ให้ข้ามรอยต่อพีเอ็นเพื่อมารวมตัวกัน โดยในการรวมตัวกันนี้จะปลดปล่อยพลังงานในรูปของโฟตอน (Photon) ซึ่งเป็นอนุภาคของแสง โดยแสงที่เปล่งออกมาจะประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างจากแสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็นทั่วไป อันประกอบด้วยคลื่นซึ่งมีเฟสและความถี่ต่างๆ กันมารวมกัน โดยแสงที่เปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงจะอยู่ในย่านความยาวคลื่นตั้งแต่อินฟราเรดขึ้นไปถึงอุลตร้าไวโอเลต



ภาพประกอบ 3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

พัฒนาการของหลอดแอลอีดี

การพัฒนาเทคโนโลยีหลอดแอลอีดีนั้น เริ่มต้นอย่างจริงจังในปี ค.ศ. 1955 เมื่อ รูบิน บราวน์สไตน์ (Rubin Braunstein) นักวิทยาศาสตร์ของบริษัทอาร์ซีเอ (RCA, Radio Corporation of America) ได้รายงานเรื่องการเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมาของสารแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) และโลหะกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ โดยเมื่อหลายสิบปีก่อนก็มีการรายงานถึงปรากฏการณ์การเปล่งแสงลักษณะนี้

เช่นกัน โดยนักวิทยาศาสตร์จากบริษัท มาร์โคนีแล็บส์ (Marconi Labs) ชื่อ เฮนรี ราวนด์ (Henry Round) พบปรากฏการณ์การเปล่งแสงออกจากสารกึ่งตัวนำตั้งแต่ปี ค.ศ. 1907 แล้ว แต่เนื่องจากไม่ได้สนใจในสิ่งที่พบ จึงไม่มีการค้นคว้าวิจัยต่อแต่อย่างใด

นอกจากนี้ในช่วงกลางทศวรรษที่ 1920 นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ โอเล็ก วลาดิมิโรวิช โลเซฟ (Oleg Vladimirovich Losev) ได้ประดิษฐ์แอลอีดีชิ้นแรกออกมาสำเร็จ โดยที่ไม่เคยทราบเรื่องการค้นพบของ เฮนรี ราวนด์ มาก่อน ซึ่งผลงานของนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียท่านนี้ได้ลงตีพิมพ์ในวารสารทางวิทยาศาสตร์หลายฉบับ ทั้งในประเทศรัสเซีย เยอรมนี และอังกฤษ แต่กลับไม่มีใครสนใจในผลงานของเขาเลย

กระทั่ง รูบิน บราวน์สไตน์ รายงานสิ่งที่เขาพบออกมาในปี ค.ศ. 1955 บรรดานักวิทยาศาสตร์จึงเริ่มหันมาค้นคว้าวิจัยเรื่องนี้อย่างจริงจัง จากนั้นในปี ค.ศ.1962 นิก โฮลอนแยค (Nick Holonyak) ประสบความสำเร็จโดยสามารถประดิษฐ์แอลอีดีที่ให้แสงสีแดงออกมาได้ ต่อมาจึงเริ่มมีการพัฒนาหลอดแอลอีดีให้แสงสีอื่น ทยอยตามกันออกมา

ความก้าวหน้าครั้งสำคัญของแอลอีดีเกิดขึ้นอีกครั้งในปี ค.ศ.1993 เมื่อ ชูจิ นากามูระ (Shuji Nakamura) นักวิจัยชาวญี่ปุ่นของบริษัท นิชิอะ (Nichia) สามารถพัฒนาแอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินออกมาได้ ความสำเร็จครั้งนี้จุดประกายความหวังของการพัฒนาแอลอีดีให้แสงสีขาว ให้เข้าใกล้ความจริงขึ้นอีก เนื่องจากแสงสีน้ำเงินเป็นหนึ่งในสามแม่สีแสงหลัก อันได้แก่ แสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง และแสงสีเขียว โดยเมื่อรวมแม่สีแสงหลักทั้ง 3 สี เข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม จะได้ผลลัพธ์เป็นแสงสีขาวที่ต้องการ

จากปี ค.ศ. 1993 จนถึงขณะนี้ (ค.ศ. 2009) หลอดแอลอีดีแสงสีขาวเริ่มมีใช้ในอุปกรณ์ส่องสว่างแบบต่างๆ อย่างเช่น โคมไฟ , กระบอกไฟฉาย เป็นต้น แสดงให้เห็นว่า หลอดแอลอีดีมีประสิทธิภาพและราคาที่ผู้ผลิต ผู้บริโภคยอมรับได้ในระดับหนึ่งแล้ว

ประเภทของไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงโดยทั่วไป หากพิจารณาตามลักษณะของแสงที่เปล่งออกมา สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือไดโอดเปล่งแสงชนิดที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Light Emitting Diode) กับไดโอดเปล่งแสงชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Infrared Light Emitting Diode)

- ไดโอดเปล่งแสงชนิดที่สามารถมองเห็นได้

คือ ไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สายตาคนสามารถมองเห็นได้ โดยความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งจากไดโอดนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำไดโอดและส่วนผสมของสารเจือปน

ตาราง 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของไดโอดเปล่งแสง ความยาวคลื่น และสารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำ

สีของไดโอดเปล่งแสง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำ
สีแดง	700	แกลเลียมฟอสไฟด์ (GaP) เจือด้วย Zn
สีแดง	660	อลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ (AlGaAs)
สีส้มแดง	630	แกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (GaAsP)
สีส้ม	610	แกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (GaAsP)
สีเหลือง	590	แกลเลียมฟอสไฟด์ (GaP)
สีเหลืองเขียว	565	แกลเลียมฟอสไฟด์ (GaP) เจือด้วย N
สีเขียว	555	แกลเลียมฟอสไฟด์ (GaP)
สีน้ำเงิน	490	แกลเลียมไนไตร (GaN)
สีน้ำเงิน	480	ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC)
สีน้ำเงิน	470	อินเดียมแกเลียมไนไตร (InGaN)

- ไดโอดเปล่งแสงชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้

คือ ไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงในย่านใกล้อินฟราเรด ในช่วงความยาวคลื่น 890 ถึง 900 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สายตาคนไม่สามารถมองเห็นได้ ต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน ไดโอดเปล่งแสงชนิดนี้ทำจากสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงในย่านใกล้อินฟราเรด

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของไดโอดเปล่งแสงและแรงดันไฟฟ้าไบอัสตรง

Color	Wavelength (nm)	Voltage (V)	Semiconductor Material
Infrared	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	Gallium arsenide (GaAs) Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)
Red	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Orange	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Yellow	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Green	$500 < \lambda < 570$	$1.9^{[31]} < \Delta V < 4.0$	Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN) Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP)
Blue	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC) as substrate Silicon (Si) as substrate — (under development)
Violet	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	Indium gallium nitride (InGaN)
Purple	multiple types	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Dual blue/red LEDs, blue with red phosphor, or white with purple plastic
Ultraviolet	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	diamond (235 nm) Boron nitride (215 nm) Aluminium nitride (AlN) (210 nm) Aluminium gallium nitride (AlGaN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN)
White	Broad spectrum	$\Delta V = 3.5$	Blue/UV diode with yellow phosphor

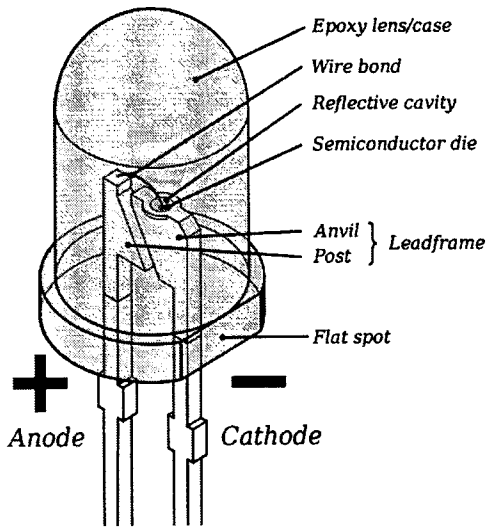
โครงสร้างไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงมีรูปร่างและขนาดหลายรูปแบบ เช่น ไดโอดเปล่งแสงแบบหัวมน , ไดโอดเปล่งแสงแบบสี่เหลี่ยม , ไดโอดเปล่งแสงแบบทรงกระบอก เป็นต้น โดยรูปร่างและขนาดจะแตกต่างกันตามการใช้งาน โดยปกติไดโอดเปล่งแสงที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นไดโอดเปล่งแสงแบบหัวมน ซึ่งทำด้วยพลาสติกโปร่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วย

1. ชิพสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip)
2. กรวยสะท้อนแสง (Reflector Cup)
3. ลวดที่เชื่อมต่อกับชิพสารกึ่งตัวนำ (Bonding Wire)
4. เลนส์กรอบนอก (Epoxy Dome Lens)

โครงสร้างที่เป็นหัวใจหลักของไดโอดเปล่งแสง คือชิพสารกึ่งตัวนำ ภายในชิพนั้นมีชั้นผิวที่มีอิเล็กตรอนส่วนเกิน เป็นชั้นผิวที่เรียกว่า "ชนิดเอ็น" (N-Type) ส่วนอีกชั้นผิวหนึ่งนั้นผลิตจากวัสดุที่มี Dearth ของอิเล็กตรอน หรือที่เรียกส่วนเกินของอนุภาคประจุบวกว่า "โฮล" (P-Type) ที่จุดต่อของชั้นผิวเอ็นและพีนั้นเรียกว่า "ชั้นผิวทำงาน" (Active Region) ซึ่งแสงสว่างจะเปล่งออกมาจากจุดนี้เมื่อไดโอดเปล่งแสงได้รับการไบอัส แรงดันไฟฟ้าจะไปขับอิเล็กตรอนและโฮลให้เข้าไปในชั้นผิวทำงาน ทำให้ชั้นทั้งสองมาบรรจบกันและจะปลดปล่อยโฟตอนออกมา อันเป็นหน่วยพื้นฐานของแสง โดยโครงสร้างระดับอะตอมของชั้นผิวทำงาน และวัสดุเชื่อมต่อแต่ละด้านนี้จะบ่งบอกถึงจำนวนโฟตอนและคลื่นแสงที่ผลิตขึ้น ความยาวคลื่นแสงหรือสีนั้นจะขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ประกอบในชั้นผิวเหล่านั้น โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง ถูกหุ้มไว้ด้วยเลนส์ซึ่งทำจากอีพอกซี่ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับตัวชิพสารกึ่งตัวนำที่อยู่ภายใน และเป็นส่วนที่ช่วยกรองเอาช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมา และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายแสงในทิศทางต่างๆด้วย

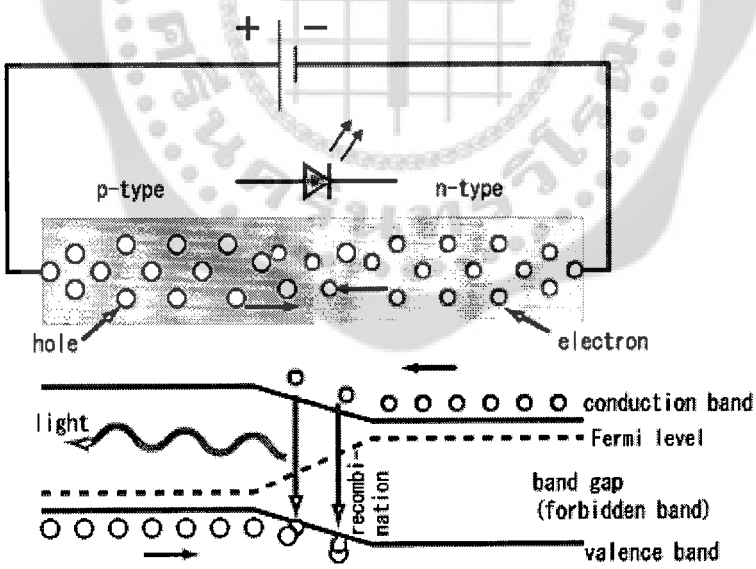


ภาพประกอบ 4 แสดงโครงสร้างหลักของหลอดไดโอดเปล่งแสง

หลักการทำงานเบื้องต้นของไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น รอยต่อระหว่างพีเอ็นจะเปล่งแสงออกมาเมื่อได้รับการไบอัสตรง โดยการไบอัสตรงคือ การจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันภายนอกให้แก่ไดโอดเปล่งแสง โดยการต่อขั้วบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดพี และขั้วลบเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันจะผลักอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อพีเอ็น หรือเข้าสู่ชั้นผิวทำงาน ในขณะเดียวกันแรงดันที่จ่ายให้นี้ก็จะทำให้อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเคลื่อนที่ออกมาและเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดช่องว่างหรือ "โฮล" ขึ้น อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจึงสามารถเคลื่อนเข้ามาและผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพีได้ ทำให้ไดโอดเปล่งแสงสามารถนำกระแสได้

ถ้าจ่ายแรงดันสลับขั้วจากเดิม คือการต่อขั้วบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และขั้วลบเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดพี จะเรียกว่าการไบอัสกลับ (Reverse Bias) เมื่อทำเช่นนี้ อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะเคลื่อนที่ออกห่างจากรอยต่อ ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจากแหล่งจ่ายแรงดันจะเข้าไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพี ส่งผลให้ผิวทำงานยิ่งกว้างขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ไม่สามารถข้ามชั้นผิวทำงานที่กว้างขึ้นไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีได้ ไดโอดเปล่งแสงจึงไม่สามารถนำกระแสได้



ภาพประกอบ 5 แสดงการไบอัสตรงและการนำกระแสของไดโอด

ในความเป็นจริงทางปฏิบัติจะมีอิเล็กตรอนบางตัวที่อยู่ใกล้ๆรอยต่อ สามารถข้ามไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีได้เล็กน้อย ส่งผลให้เกิดกระแสไหลขึ้นแต่เป็นจำนวนน้อยมากๆ นั่นคือเกิดเป็นกระแสรั่วไหลขึ้น (Leakage Current) การไบอัสกลับ หากจ่ายแรงดันที่สูงมากๆ และจ่ายเป็นระยะเวลานาน ก็จะทำให้ไดโอดเปล่งแสงเสียหาย

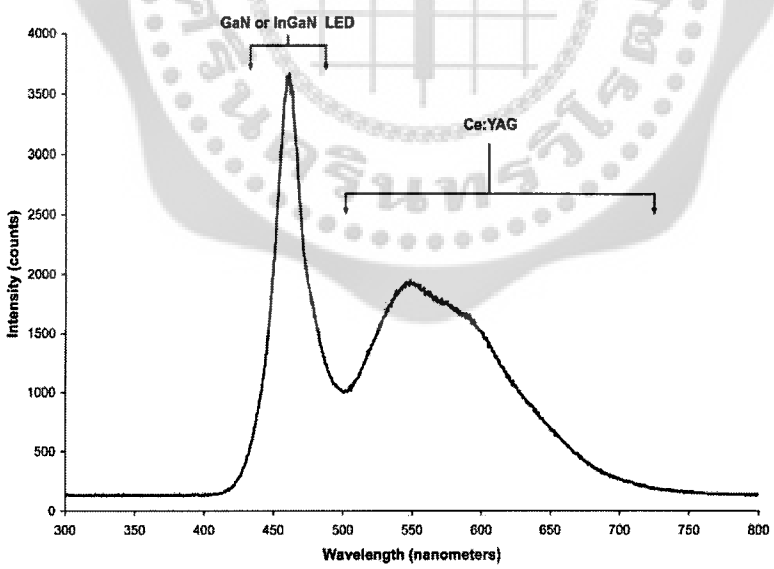
แอลอีดีแสงสีขาว

โดยทั่วไปหลอดแอลอีดีสามารถเปล่งแสงออกมาได้เพียงสีเดียว (ความถี่หรือความยาวคลื่นเดียว) เท่านั้น แต่แสงสีขาวประกอบด้วยแสงหลายสีผสมกัน ดังนั้นจึงมีความพยายามหาวิธีการและเทคนิคต่างๆ เพื่อทำให้แอลอีดีสามารถเปล่งแสงสีขาวออกมา ซึ่งปัจจุบันเทคนิคที่ใช้ผลิตหลอดแอลอีดีให้แสงสีขาวออกมาได้นั้น มี 2 เทคนิคด้วยกันคือ เทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่น (Wavelength Conversion) และเทคนิคการผสมสี (Color Mixing)

- การเปลี่ยนความยาวคลื่น (Wavelength Conversion)

เทคนิคนี้อาศัยสารเรืองแสงในการเปลี่ยนความยาวคลื่นแสงบางส่วน หรือทั้งหมด ซึ่งสามารถประยุกต์ได้ 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. การใช้แอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสารเรืองแสงสีเหลือง (yellow phosphor) แสงสีน้ำเงินจากแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำ จะไปกระตุ้นสารเรืองแสงสีเหลืองที่เคลือบอยู่ให้ปล่อยแสงสีเหลืองออกมา เมื่อปรับสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินและสารเรืองแสงสีเหลืองให้พอเหมาะ จะทำให้ดวงตาเห็นแสงที่ออกมาเป็นแสงสีขาว เทคนิคนี้พัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท นิชิอะ ประเทศญี่ปุ่น และเป็นเทคนิคการทำแอลอีดีให้แสงสีขาวที่มีต้นทุนต่ำที่สุด และใช้ผลิตหลอดแอลอีดีให้แสงสีขาวส่วนใหญ่ในตอนนี้



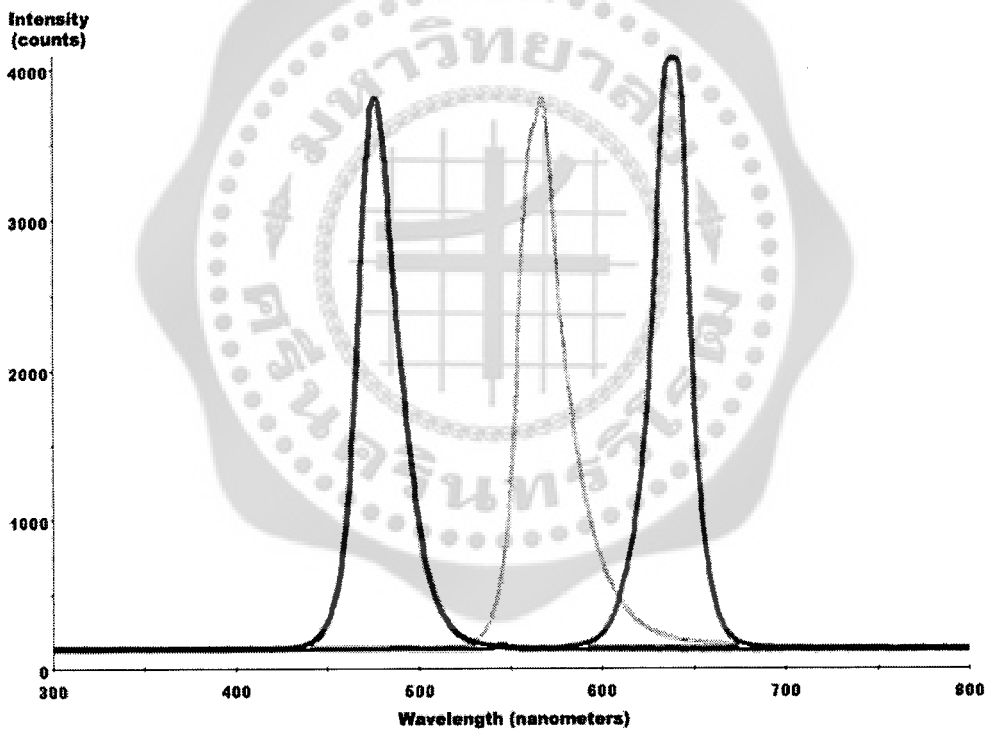
ภาพประกอบ 6 แสดงสเปกตรัมของแสงจากหลอดแอลอีดีขาวโดยวิธีการเปลี่ยนความยาวคลื่น

2. การเคลือบแอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินด้วยสารเรืองแสงหลายสี เทคนิคนี้คล้ายกับเทคนิคแรก แต่ใช้สารเรืองแสงที่ให้แม่สีแสงหลักร่วมกัน เมื่อผสมแสงที่ออกจากสารเรืองแสงแต่ละสีกับแสงสีน้ำเงินเข้าด้วยกัน จะได้แสงสีขาวเช่นกัน จุดเด่นของเทคนิคนี้คือ แสงสีขาวที่ผลิตได้มีคุณภาพดีกว่าเทคนิคแรก แต่หลอดแอลอีดีชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าด้วยเช่นกัน

3. การใช้แอลอีดีที่เปล่งแสงในช่วงคลื่นแสงยูวี (UV) ร่วมกับสารเรืองแสงหลายสี เทคนิคนี้มีรูปแบบคล้ายกับเทคนิคการเรืองแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยแสงยูวีจะไปกระตุ้นให้สารเรืองแสงแต่ละสีปล่อยแม่สีแสงหลักออกมาผสมกันได้เป็นแสงสีขาว

- การผสมสี (Color Mixing)

เทคนิคนี้ไม่ใช้สารเรืองแสง แต่ใช้การผสมแม่สีแสงหลักโดยตรง ภายในหลอดแอลอีดีชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นชิปให้แสงสีต่างกัน 3 ตัว เมื่อรวมแสงสีที่ออกมาจากแผ่นชิปแต่ละตัวอย่างเหมาะสมจะได้แสงสีขาวตามต้องการ หลอดแอลอีดีแบบนี้ มีจุดเด่นที่สามารถให้แสงสีขาวที่มีคุณภาพสูง แต่ขณะเดียวกัน เนื่องจากต้องใช้งานชิป 3 ตัว ซึ่งชิปแต่ละตัวต้องการแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ทำให้โครงสร้างแอลอีดีมีความซับซ้อน ส่งผลให้หลอดแอลอีดีลักษณะนี้มีราคาแพง



ภาพประกอบ 7 แสดงสเปกตรัมของแสงจากหลอดแอลอีดีขาวโดยวิธีการผสมสี

นอกจาก 2 เทคนิคดังที่กล่าวไปแล้วนั้น ยังมีเทคนิคอื่นๆ ที่อยู่ในระหว่างการพัฒนาให้หลอดแอลอีดีเปล่งแสงสีขาวออกมาได้ เช่น โฮโมอีพิแท็กเซียล ซิงค์เซเลไนด์ (Homoepitaxial ZnSe) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้แผ่นชิปสารกึ่งตัวนำให้แสงสีน้ำเงิน ทำงานร่วมกับตัวฐานรอง (substrate) ที่ทำจากวัสดุซิงค์เซเลไนด์ ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้ โดยฐานรองจะเปล่งแสงสีเหลืองออกมาผสมกับแสงสีน้ำเงินจากแผ่นชิปของสารกึ่งตัวนำ ทำให้ได้แสงสีขาวเช่นกัน

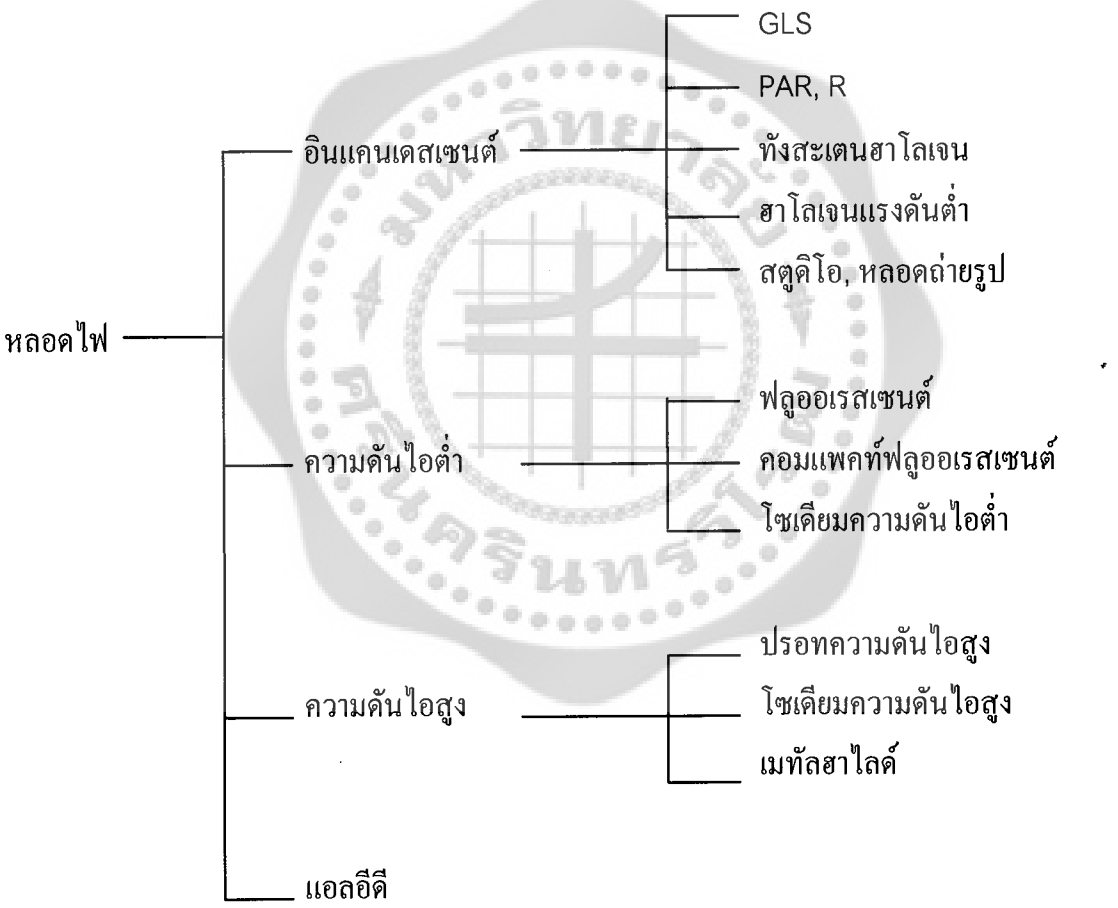
หลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ , ลูเมนและอายุการใช้งานของหลอด

หลอดไฟฟ้าแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. หลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือหลอดมีไส้

2. หลอดปล่อยประจุ เป็นหลอดที่ไม่ต้องใช้ไส้หลอด หลอดในตระกูลนี้มีหลอดฟลูออเรสเซนต์ (หลอดปรอทความดันไอต่ำ) หลอดคอมแพคท์ หลอดปรอทความดันไอสูง หลอดโซเดียมความดันไอต่ำสูงและสูง หลอดเมทัลฮาไลด์

การแบ่งชนิด ของหลอดดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนให้เห็นเป็นไดอะแกรมเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงชนิดหลอดไฟ

- หลอดอินแคนเดสเซนต์หรือหลอดไส้

เป็นหลอดมีไส้ที่มีประสิทธิผล (Efficacy) ต่ำ และมีอายุการใช้งานสั้นในเกณฑ์ประมาณ 1,000-3,000 ชม. หลอดประเภทนี้มีอุณหภูมิสีประมาณ 2,800 องศาเคลวิน แต่ให้แสงที่มีค่าความถูกต้องของสี 100

- หลอดทังสเตนฮาโลเจน

เป็นหลอดไฟฟ้าตระกูลหลอดไส้ ซึ่งมีอยู่หลายแบบหลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ซึ่งได้ถูกออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้หลอดไฟมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าหลอดไส้ธรรมดาทั่วไป เนื่องจากมีความคงทนกว่า ตลอดจนแสงสว่างสีที่ออกจากหลอดไฟฟ้าดีกว่าหลอดไส้ชนิดธรรมดา และภายในตัวหลอดทังสเตนฮาโลเจน ได้บรรจุก๊าซในกลุ่มของฮาโลเจนเอาไว้ รวมทั้งมีก๊าซไอโอดีนหรือโบรมีนรวมอยู่ด้วย ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดทังสเตนฮาโลเจนให้ดีขึ้นอีกประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ หรือประมาณ 40 % และยังมีผลทำให้อายุการใช้งานนานกว่าหลอดไส้ชนิดธรรมดาถึง 2 เท่า เป็นอย่างน้อย

ข้อเปรียบเทียบของหลอดทังสเตนฮาโลเจนกับหลอดไส้ธรรมดา คือเมื่อใช้งานหลอดไส้ไประยะหนึ่งแล้ว ที่บริเวณผิวผนังหลอดแก้วของหลอดไส้ด้านในจะมีคราบดำเกาะติดอยู่รอบๆ เนื่องมาจากไส้ของหลอดไส้ร้อนขึ้น อนุภาคของทังสเตนที่ใช้ทำไส้หลอดจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอเกาะที่ผนังของหลอดแก้วด้านใน ทำให้ความสว่างของหลอดไส้ลดลงไปเรื่อยๆ เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นกับหลอดไส้ธรรมดา แต่ถ้าเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจนแล้ว ภายในหลอดทังสเตนฮาโลเจนนี้จะมีการเติมก๊าซไอโอดีน หรือก๊าซโบรมีนเข้าไป เมื่ออุณหภูมิการทำงานของหลอดทังสเตนฮาโลเจนสูงขึ้นมากๆ หลายร้อยองศาเซลเซียส ไอของทังสเตนที่ระเหยออกมาจากไส้หลอดทังสเตนฮาโลเจน และไอของก๊าซไอโอดีนหรือโบรมีนนี้จะรวมตัวกับไอของทังสเตน กลายเป็นทังสเตนไอโอไดด์ และทังสเตนไอโอไดด์นี้จะไม่ไปเกาะติดที่บริเวณผนังของหลอดด้านใน แต่ไอทังสเตนจะถูกผลักดันให้กลับไปเกาะอยู่ที่ไส้หลอดทังสเตนฮาโลเจนหลังจากเลิกใช้งานแล้ว จึงมีผลทำให้หลอดแก้วด้านในของหลอดทังสเตนฮาโลเจนนั้น จะยังคงใสอยู่ไม่หมองดำ และทำให้ความสว่างของหลอดทังสเตนฮาโลเจนสูงกว่าหลอดไส้ชนิดธรรมดา และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า ประสิทธิภาพของหลอดทังสเตนฮาโลเจนสูงกว่าหลอดไส้ คืออยู่ที่ประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ ในขณะที่หลอดไส้ธรรมดา มีค่าประมาณ 10 - 18 ลูเมนต่อวัตต์ สีแสงสว่างที่ได้จะค่อนข้างไปทางสีขาวมากกว่าหลอดไส้ และการกระจายแสงสว่างจะคงที่อยู่ตลอดเวลาของการใช้งาน ค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า และอุณหภูมิของสีแสงสว่างจะสูงกว่าหลอดไส้ทั่วไป

- หลอดฟลูออเรสเซนต์

เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ ทำงานโดยอิเล็กตรอนถูก ปลดปล่อยจากขั้วหลอดไปกระทบกับไอปรอท ทำให้เกิดแสงยูวีขึ้น แสงยูวีนี้จะถูกดูดซับโดยสารเรืองแสง และปล่อยออกมาเป็นแสงสีขาว แม้จะมีการสูญเสียพลังงานบ้างในขั้นการเกิดแสงยูวี และขั้นของการเปลี่ยนแสงยูวีเป็นแสงสีขาว แต่หลอดฟลูออเรสเซนต์ก็มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง สูงกว่าหลอดไส้ สามารถให้แสงสว่างได้มากกว่า (เปรียบเทียบจากหลอดที่กินไฟ (วัตต์) เท่ากัน) สีของหลอด

มี 3 แบบคือ daylight , cool white และ warm white ชนิดของหลอดชนิดนี้ที่ใช้งาน กันทั่วไปคือแบบ Linear ขนาด 18 และ 36 วัตต์ และ Circular 22 32 และ 40 วัตต์ และมีประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ ถือว่าสูงพอสมควรและประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อเทียบกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 10-15 ลูเมนต่อวัตต์ และมีอายุการใช้งาน 9,000-12,000 ชม.

- หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบ คือ daylight , cool white และ warm white เช่นเดียวกันกับหลอดฟลูออเรส เซนต์ แบบที่ใช้งานกันมากคือหลอดเดี่ยว มีขนาดวัตต์ 5 7 9 11 วัตต์และหลอดคู่ มีขนาดวัตต์ 10 13 18 26 วัตต์ เป็นหลอดที่พัฒนาขึ้นมาแทนที่หลอดอินแคนเดสเซนต์ และมีประสิทธิผลสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ คือ ประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ และ อายุการใช้งานประมาณ 5,000-8,000 ชม

- หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ หลอดประเภทนี้มีสีเหลืองจัดและประสิทธิผลมากที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด คือ มีประสิทธิผลประมาณ 120-200 ลูเมนต่อวัตต์ แต่ความถูกต้องของสีน้อยที่สุด คือ มีความถูกต้องของสีเป็น 0 % ข้อดีของแสงสีเหลืองเป็นสีที่มนุษย์ สามารถมองเห็นได้ดีที่สุด หลอดประเภทนี้จึงเหมาะเป็นไฟถนนและอายุการใช้งานนานประมาณ 16,000 ชม หลอดมีขนาดวัตต์ 18 35 55 90 135 และ180 วัตต์

- หลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดโซเดียมความดันไอสูงมีประสิทธิผล รองจากหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ มีประสิทธิผลประมาณ 70-90 ลูเมนต่อวัตต์แต่ความถูกต้องของสีดีกว่าหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ 20 % และมี อุณหภูมิสีประมาณ 2,500 เคลวิน เป็นอุณหภูมิสีต่ำเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความส่งสว่างมาก เช่น ไฟถนน ไฟบริเวณ ซึ่งต้องการความส่องสว่างประมาณ 5-30 ลักซ์ และอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชม มีขนาดวัตต์ 50 70 100 150 250 400 และ 1,000 วัตต์

- หลอดปรอทความดันไอสูง หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าหลอดแสงจันทร์ และมีประสิทธิผลสูงพอกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ มีประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ แสงที่ออกมามีความถูกต้องของสีประมาณ 60 % ส่วนใหญ่ใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อต้องการวัตต์ สูงๆในพื้นที่ที่มีเพดานสูง อุณหภูมิสีประมาณ 4,000-6,000 เคลวิน แล้วแต่ชนิดของหลอด และอายุการใช้งานประมาณ 8,000-24,000 ชม มีขนาดวัตต์ 50 80 125 250 400 700 และ 1,000 วัตต์

- หลอดเมทัล ฮาไลด์ หลอดเมทัลฮาไลด์ก็เหมือนกับหลอดปล่อยประจุอื่นๆ แต่มีข้อดีที่ว่ามีสเปกตรัมแสงทุกสี ทำให้สีทุกชนิดเด่นภายใต้หลอดชนิดนี้ นอกจากความถูกต้องของสีสูงแล้ว แสงที่ออกมาก็อาจมีตั้งแต่ 3,000-4,500 เคลวิน (ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตต์) ส่วนใหญ่นิยมใช้กับสนามกีฬาที่มีการ ถ่ายทอดโทรทัศน์ มีอายุการใช้งานประมาณ 6,000-9,000 ชม และมีขนาดวัตต์ 100 125 250 300 400 700 และ 1,000 วัตต์

- หลอดแอลอีดี ให้แสงสว่างโดยการรวมตัวและสลายตัวของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และโฮลจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีในแอลอีดี เทียบได้กับการที่อิเล็กตรอนตกลงมาจากระดับชั้นพลังงานสูง (อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น) มายังชั้นที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า (แต่มีความเสถียรมากกว่า) ทำให้อิเล็กตรอนคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปโฟตอนหรือแสง ซึ่งแสงที่ออกมาจากสารกึ่งตัวนำในแอลอีดีอาจเป็นแสงความถี่ต่ำในช่วงแสง อินฟราเรดที่ตามองไม่เห็น หรือแสงสีที่ตามองเห็นก็ได้ สิ่งที่เป็นตัวกำหนดความ ถี่แสงคือ ชนิดของสารกึ่งตัวนำ หากเปลี่ยนชนิดสารกึ่งตัวนำที่ใช้ แสงที่ออกจากหลอดแอลอีดีจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย หลอดแอลอีดีให้แสงสีขาว มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูงประมาณ 100 ลูเมน/วัตต์ ขณะที่อายุการใช้งานมากกว่า 80,000 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดแอลอีดี

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาและประยุกต์ใช้งาน LED กับวิศวกรรมการส่องสว่างแนวใหม่
LED Application in Modern-Illumination Technology

[ถิรรัตน์ มณีกุล , ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2546]

ปริญญานิพนธ์การศึกษาและประยุกต์ใช้งาน LED กับวิศวกรรมการส่องสว่างแนวใหม่ เป็นโครงงานที่ได้ทดลองนำไดโอดเปล่งแสงมาทำเป็นหลอดไฟ เพื่อใช้งานแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ โดยได้ทำการทดสอบกับชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาเป็นดวงโคมที่ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทน จากนั้นทำการวัด เก็บข้อมูลเปรียบเทียบการกระจายความเข้มส่องสว่าง และค่าทางไฟฟ้า เพื่อมาวิเคราะห์

จากผลการทดลองจะพบว่าไดโอดเปล่งแสงมีลักษณะการกระจายแสงในทิศทางที่ต้องการใช้งาน และไม่มีการสูญเสียพลังงานแสงสว่างในทิศทางที่ไม่ได้ใช้งาน มีประสิทธิภาพสูง และสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ เรื่องของต้นทุนของไดโอดเปล่งแสงที่มีราคาค่อนข้างสูง แต่หากเปรียบเทียบกันในระยะยาว จะพบว่ามีความคุ้มค่า และกรณีที่ยังไม่สามารถใช้แทนที่หลอดไฟบางประเภทในการให้แสงสว่างครอบคลุมพื้นที่วงกว้างได้ เนื่องจากคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงแต่ละตัวที่ยังให้ความสว่างน้อย ซึ่งหากมีการพัฒนาโครงสร้างไดโอดเปล่งแสง ก็สามารถเชื่อได้ว่าในอนาคตสามารถนำไดโอดเปล่งแสงมาใช้งานแทนหลอดไฟที่ใช้กันอยู่ในระบบแสงสว่างภายใน

2. การพัฒนาระบบไฟสัญญาณจราจรชนิดหลอดแอลอีดีและประโยชน์ทางสังคม
กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย

[พัฒนพงษ์ วีรยุทธกำจร, สาขาวิชาการวิจัยและพัฒนาท้องถิ่น สถาบันราชภัฏเชียงราย, 2545]

วิทยานิพนธ์การพัฒนาระบบไฟสัญญาณจราจรชนิดหลอดแอลอีดีและประโยชน์ทางสังคม กรณีศึกษาจังหวัดเชียงรายนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ ผลของการประยุกต์ใช้งานหลอดแอลอีดีสำหรับผลิตไฟสัญญาณจราจรกับปัญหาของไฟสัญญาณจราจรระบบเดิม โดยได้วิเคราะห์ถึงผลตอบแทนทางด้านสังคม และพิจารณาถึงความเหมาะสมในการลงทุน โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาจากปัญหาการใช้ไฟสัญญาณจราจรในระบบเดิมซึ่งเป็นแบบใช้หลอดไส้ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ได้ออกแบบวงจรและจัดทำไฟสัญญาณต้นแบบชนิดใช้หลอดแอลอีดี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว จำนวน 3 ชุดประกอบ ด้วยหัวไฟสีแดง สีเหลือง และสีเขียว ซึ่งผลการทดลองวัดค่ากำลังงานได้ 4.6 วัตต์ 5.6 วัตต์ และ 3 วัตต์ ตามลำดับ จากนั้นได้นำไปทดสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผลการใช้งานและ เปรียบเทียบประโยชน์ทางสังคม ระหว่างการใช้งานของไฟสัญญาณจราจรทั้งสองระบบ

ผลการศึกษาวิจัยพบว่าไฟสัญญาณจราจรชนิดใช้หลอดแอลอีดีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากกว่าแบบใช้หลอดมีไส้ กล่าวคือสามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 137,688 – 147,900 กิโลวัตต์/ชั่วโมง คิดเป็นมูลค่าของผลประโยชน์ทางสังคมในรูปของการประหยัดค่าใช้จ่ายปีละ 244,541 – 262,714 บาท นอกจากนี้ยังมีผลดีด้านความปลอดภัยในการนำไปประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟแรงดันต่ำในการติดตั้งใช้งาน

3. การศึกษาและพัฒนาระบบแสงสว่างพลังงานต่ำด้วยหลอดแอลอีดี

[ชัยวัฒน์ เห็นถูก , สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี , 2550]

งานวิจันการศึกษาและพัฒนาระบบแสงสว่างพลังงานต่ำด้วยหลอดแอลอีดีนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานระหว่าง โคมไฟหลอดแอลอีดีกับโคมไฟที่ใช้หลอดชนิดต่างๆ (2) เพื่อศึกษาข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่องสว่างระหว่าง โคมไฟหลอดแอลอีดีกับโคมไฟที่ใช้หลอดชนิดต่างๆ

ผลการวิจัยพบว่า หลอดแอลอีดีสามารถนำมาใช้ในการส่องสว่างได้ เนื่องจากโคมไฟฟ้าที่ใช้หลอดแอลอีดีกินกระแสไฟฟ้าน้อย มีค่า Power Factor ที่ดี ต้องการกำลังไฟฟ้าน้อย เมื่อพิจารณาในด้านแรงดันไฟฟ้าฮาโมนิกส์ของหลอดแอลอีดีพบว่า มีค่าแรงดันไฟฟ้าฮาโมนิกส์ต่ำ ในด้านประสิทธิภาพค่าความสว่างของโคมไฟทางเดินที่ใช้หลอดแอลอีดี มีค่าความสว่างเฉลี่ยที่ 13 ลักซ์ และ 16 ลักซ์ สามารถมองเห็นได้ เมื่อนำโคมไฟฟ้าที่ใช้หลอดแอลอีดี ใช้งานเป็นโคมไฟตั้งโต๊ะอ่านหนังสือ มีค่าความสว่างที่ 1,256 ลักซ์ สามารถมองเห็นได้ชัดเจน และหลอดแอลอีดีไม่มีความร้อนสะสมที่หลอดในขณะใช้งาน สรุปได้ว่า สามารถนำมาใช้ให้ความสว่างในบริเวณที่ต้องการแสงสว่างเฉพาะแห่ง เช่น อ่านหนังสือ , ไฟทางเดิน ได้ดี ในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างหลอดแอลอีดีกับหลอดไส้ จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปี มีค่าเท่ากับ 731.78 บาท/โคม และ เปอร์เซ็นต์ที่หลอดไส้ใช้พลังงานมากกว่าหลอดแอลอีดี เท่ากับ 95%

4. บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (2552, มกราคม-กุมภาพันธ์). ไดโอดเปล่งแสง หลอดประหยัดไฟแห่งอนาคต. วารสารประชาคมวิจัย. 14(83) : 33-39.

บทความนี้มีข้อมูลเกี่ยวกับพัฒนาการของหลอดแอลอีดี การทำงานของไดโอดเปล่งแสง และเทคนิคเกี่ยวกับการทำแอลอีดีแสงสีขาว รวมถึงเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของหลอดแอลอีดี โดยในบทความได้สรุปว่า แม้วันนี้เทคโนโลยีหลอดแอลอีดีให้แสงสีขาวจะยังมีราคาค่อนข้างแพง กับมี

S 376730

ประสิทธิภาพการให้แสงสว่างด้อยกว่าเทคโนโลยีหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่ด้วยการแข่งขันกันพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุสารกึ่งตัวนำ และเทคโนโลยีวิศวกรรมด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง จึงเชื่อได้ว่า อีกไม่นานหลอดแอลอีดีให้แสงสีขาวจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขณะที่ราคาก็จะถูกลง ทำให้มีความคุ้มค่าที่จะเปลี่ยนมาใช้หลอดแอลอีดีมากขึ้น เมื่อถึงวันนั้น ค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์ให้แสงสว่างของบ้านจะลดลงได้อย่างแน่นอน

5. ปรณัฐ คล้ายมุข. (2551, ตุลาคม-ธันวาคม). LED แสงสว่างแห่งอนาคต. วารสาร Hobby Electronics. (165) : 57-62.

บทความนี้มีข้อมูลเกี่ยวกับประวัติของหลอดแอลอีดีตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การทำงานของแอลอีดี สีของแสงต่างๆของหลอดแอลอีดี และอายุการใช้งานของหลอดแอลอีดีที่ขึ้นกับอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม โดยในบทความได้สรุปว่า ปัจจุบันแอลอีดี ได้ถูกออกแบบในหลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบโมดูลสำเร็จรูป เป็นแผงวงจร หรือเป็นแบบโคมไฟเป็นต้น ดังนั้นผู้ออกแบบควรเลือกรุ่นและแบบแอลอีดีให้เหมาะสม เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด

6. เศรษฐกาญจน์ อนุวัตรวงศ์. (2551, เมษายน). หลอดแอลอีดีสีขาวบนเส้นทางสู่ตลาดแสงสว่าง. วารสารเซมิคอนดักเตอร์. (315) : 191-196.

บทความนี้ได้สรุปเกี่ยวกับส้นทางสูตลาดแสงสว่างของหลอดแอลอีดีสีขาวไว้ว่า ปัจจุบันแอลอีดีสีขาวที่มี Output สูงกว่า 2000 ลูเมนนั้น จะมีต้นทุนอยู่ที่ 10 เยนหรือมากกว่าต่อความสว่างแสง 1 ลูเมน ราคานี้ถูกกำหนดโดยพื้นฐานราคาตัวอย่าง ณ ปัจจุบัน ในขณะที่ต้นทุนจริงของผลิตภัณฑ์นั้น อาจจะมีค่าเพียงครึ่งเดียวของต้นทุนทั้งหมด แต่ก็ยังคิดได้เป็น 5 เยนต่อลูเมน นั่นหมายความว่าแสงในห้องที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 3,000 ลูเมน จะคิดเป็นต้นทุนได้อย่างน้อย 15,000 เยน เมื่อบวกกับต้นทุนจริงในการประกอบ ซึ่งเป็นค่าตายตัวเข้าไป ก็ยิ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตมีค่าสูงขึ้นไปอีก ซึ่งในอุตสาหกรรมการส่องสว่างนี้ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในระดับ Hi-End ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า 1 เยน ต่อลูเมน ดังนั้นการทดแทนหลอดไฟที่มีอยู่ในปัจจุบันด้วยหลอดแอลอีดี จึงยังคงเป็นเส้นทางที่ยาวไกลพอสมควร

อย่างไรก็ตาม การผลิตสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำแอลอีดีในปริมาณมากๆ และการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมยานยนต์ จะเป็นความคาดหวังสำคัญที่ทำให้ราคาต้นทุนแอลอีดีลดต่ำลงใกล้เคียงเป้าหมาย (คือที่ 1 เยน ต่อลูเมน) ก็เป็นได้ เมื่อถึงเวลานั้นหลอดแอลอีดีก็จะเป็นคู่แข่งที่น่ากลัวสำหรับตลาดหลอดไฟแสงสว่างปัจจุบัน

7. LEDs - A Competitive Solution for General Lighting Applications

[Rajesh Mehta , Dhanashri Deshpande , Kiran Kulkarni , IEEE Energy2030 Atlanta, Georgia, USA 17-18 November 2008]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Solid state lighting , หรือไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพและความเป็นไปได้ที่จะเข้ามาแทนที่งานส่องสว่างทั่วไปในหลายๆส่วน ซึ่งปัจจุบันถูกครอบครองโดยหลอดไส้และหลอดฮาโลเจน งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงข้อมูลเกี่ยวกับโอกาสและความท้าทายของไดโอดเปล่งแสง (LEDs) ในการใช้งานเพื่อการส่องสว่างทั่วไปและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบโดยรวมจากเทคโนโลยีนี้ที่เป็นไปได้

ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อระบบแสงสว่างโดยรวมในประเทศสหรัฐอเมริกานั้น คิดเป็นประมาณ 30% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด การหันมาให้ความสนใจและจริงจังในเรื่องการประหยัดพลังงาน เป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้หันมาใช้เทคโนโลยีส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพ.

กระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ประกาศและปรับปรุงแผนการพัฒนา (Roadmap) สำหรับ solid state lighting ในปี 2007 เนื่องจากพัฒนาการของหลอด LED ที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยที่ราคาของ LED แสงสีขาวที่เคยประมาณการไว้ที่ 40$ / klm ได้ถูกลดลงไปที่ 20$ / klm แล้ว และในอนาคตอันใกล้ ภายใน 5 ปีข้างหน้า เราจะได้เห็น LED แสงสีขาว ที่มีประสิทธิภาพอย่างต่ำ 130 lm / วัตต์ ได้ทั่วไป นี่จะทำให้ตลาดของ LED สำหรับการส่องสว่างทั่วไปพัฒนา และใช้งานกันกว้างขวางแพร่หลายขึ้น โดยจะเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในตลาดแสงสว่างของอเมริกาอย่างแน่นอน และจะส่งผลกระทบที่ชัดเจนจากการเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยี LED นั้น จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมได้มากถึง 200,000 GW-Hrs/year หรือเทียบเท่าโรงไฟฟ้าถ่านหินกำลังการผลิต 500 MW ถึง 20 โรง

งานวิจัยนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญของเทคโนโลยี LED ที่จะต้องข้ามผ่านไปให้ได้ ก่อนที่จะได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานทั่วไปว่าเหมาะสมกับงานการส่องสว่างทั่วไป โดยมี 2 แนวทางในการออกแบบพัฒนา คือ เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและเพื่อความเข้ากันได้กับระบบส่องสว่างเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยปัจจัยที่สำคัญมากก็คืออายุการใช้งานและราคาของหลอด ซึ่งการจัดการอุณหภูมิของหลอดจะส่งผลอย่างมากต่ออายุของหลอด ในขณะที่ปริมาณการผลิตหลอด และความแพร่หลายของหลอด LED กำลังสูง เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการยอมรับของตลาดในวงกว้าง นอกจากนี้ ตัวอย่างของกรณีศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงการใช้งานจริงแล้วว่า เพียงการประหยัดพลังงานของหลอดเพียงอย่างเดียว ก็สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาที่น้อยกว่า 2 ปี นี่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่โดดเด่นของเทคโนโลยี LED ในงานส่องสว่างทั่วไป ได้เป็นอย่างดี

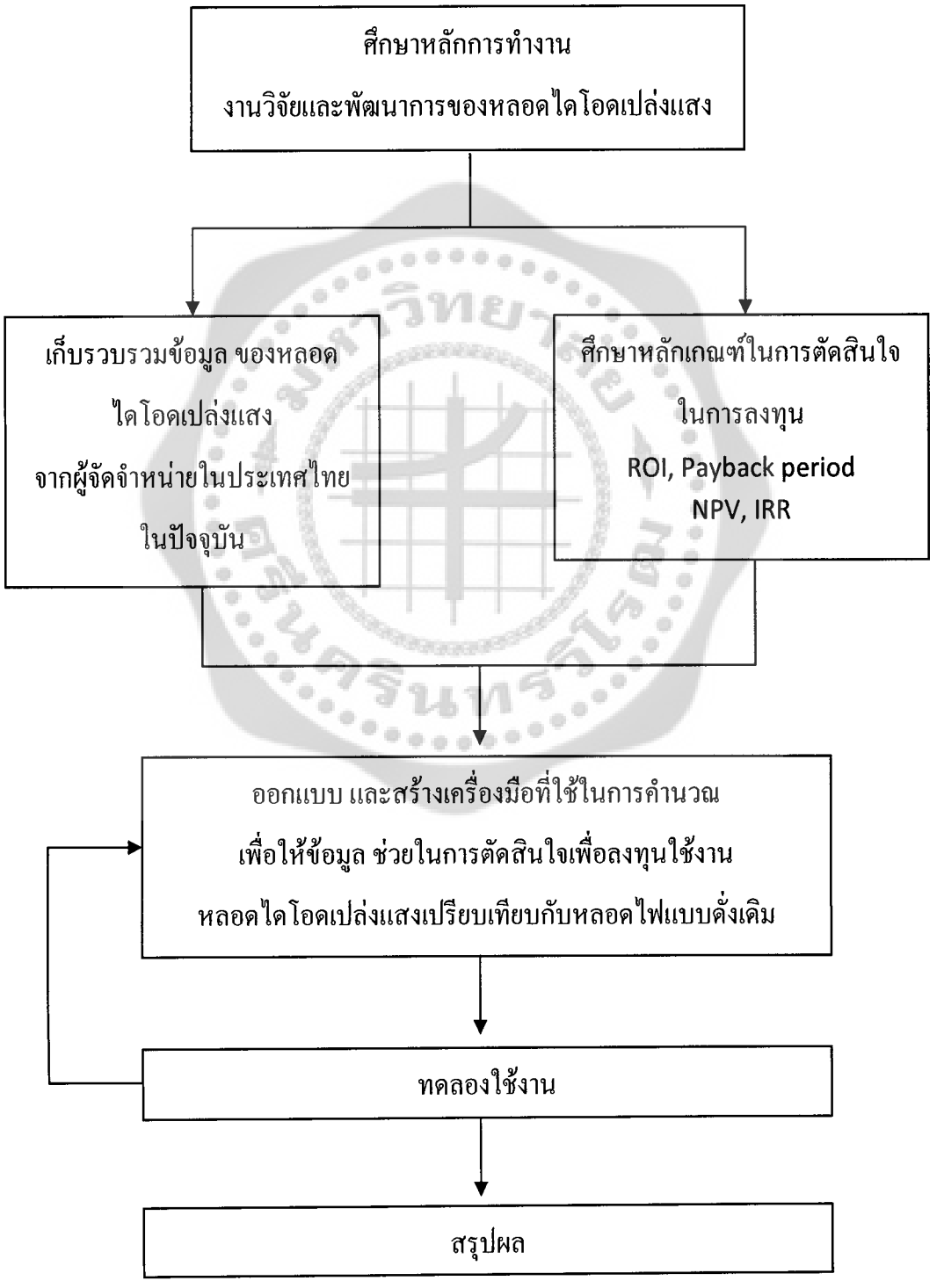
โดยสรุปจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว เทคโนโลยีของหลอดแอลอีดีได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นเทคโนโลยีให้แสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูง (ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง) และเป็นเทคโนโลยีที่สะอาดเนื่องจากไม่มีการใช้สารปรอทเจือปนเหมือนในหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทั้งยังสร้างความร้อนออกมาน้อยกว่า อายุการใช้งานที่นานกว่า เหล่านี้เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาประสิทธิภาพในการส่องสว่าง (ลูเมน/วัตต์) ในปัจจุบันก็เพียงพอที่จะใช้ในการส่องสว่างทั่วไปได้แล้ว หากแต่ปัจจุบันในประเทศไทย ยังไม่ค่อยมีการใช้งานหลอดแอลอีดีเพื่อการส่องสว่างทั่วไปมากนัก คงพบเห็นเพียงการใช้แอลอีดีเพื่องานการแสดงผล และแสงสว่างเพื่องานตกแต่งเท่านั้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความตั้งใจที่จะสร้างเครื่องมือช่วยคำนวณขนาดกระทัดรัด ที่ใช้งานง่าย สะดวก รวดเร็ว เพื่อให้ข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้หลอดแอลอีดีเพื่อแสงสว่างทั่วไป โดยใช้ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ที่เข้าใจได้ง่าย เช่น ระยะเวลาคืนทุน , อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน , NPV , IRR เป็นต้น โดยการเปรียบเทียบข้อมูลราคาแอลอีดีที่มีจำหน่ายในปัจจุบันกับหลอดไฟแบบเดิม เพราะปัจจุบันจะสังเกตได้ว่ามีการใช้งานหลอดแอลอีดีกันมากขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของราคาค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกต่ำลง ซึ่งหากเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่จะได้รับในระยะยาวแล้ว ก็เป็นสิ่งที่ท้าทายและน่าสนใจที่จะตัดสินใจเลือกใช้หลอดแอลอีดี ไม่ว่าจะเป็น วิศวกร , สถาปนิก , ผู้ออกแบบภายใน และเจ้าของโครงการเอง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

แผนภาพขั้นตอนหลักในการดำเนินงานวิจัย



ภาพประกอบ 9 แผนภาพแสดงขั้นตอนหลักในการดำเนินงานวิจัย

ตัวอย่างโครงสร้างของการจัดเก็บตารางฐานข้อมูลหลอดไฟ

ตาราง 3 โครงสร้างตารางการจัดเก็บข้อมูลของหลอดไฟที่ใช้ในการคำนวณ

	Brand	Model	Lumen Output (lumens)	Power Consume (watt)	Efficiency (lumens /watt)	Power Factor	Lamp Life (hours)	Price (baht)
1								
2								
3								
4								

Brand = ชื่อยี่ห้อ หรือผู้ผลิตหลอดไฟ

Model = รุ่นของหลอดไฟ

Lumen Output = ความสว่างของหลอดไฟ (ลูเมน)

Power Consume = กำลังไฟฟ้าขณะใช้งานของหลอดไฟ (วัตต์)

Efficiency = ประสิทธิภาพในการส่องสว่าง (ลูเมน / วัตต์)

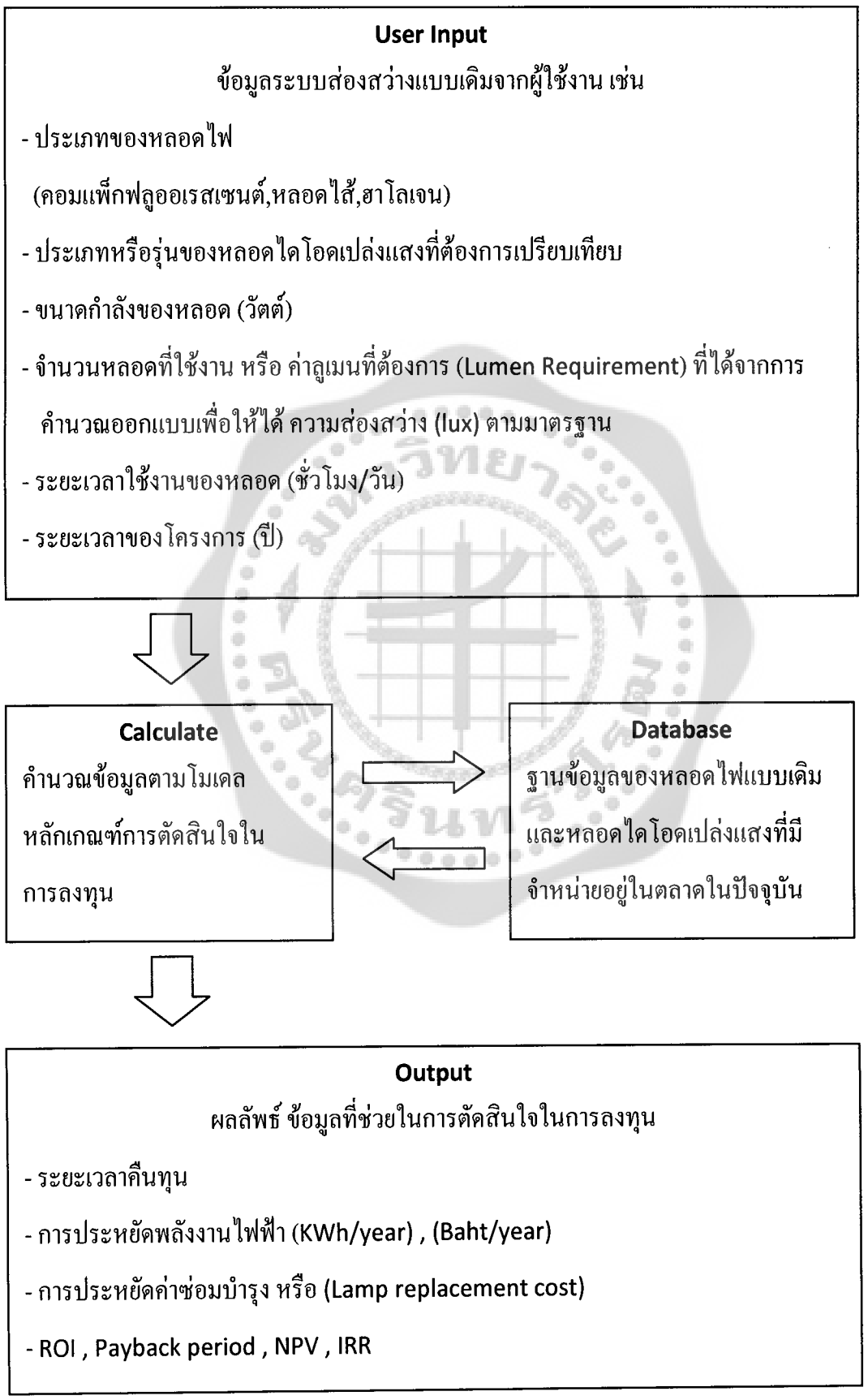
Power Factor = ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า อันเป็นผลมาจากอุปกรณ์ประกอบหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใดๆ ที่ใช้ในการขับหลอดไฟ เช่น บัลลาส, อินเวร์ทเตอร์ เป็นต้น

Lamp Life = อายุการใช้งานของหลอดไฟ (ชั่วโมง)

Price = ราคาของหลอดไฟ (บาท)

โดยฐานข้อมูลของหลอดไฟดังกล่าว ได้ถูกจัดทำให้อยู่ในรูปของ Worksheet ของโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแก้ไขเพิ่มเติมได้เองอย่างอิสระ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องตามพัฒนาการของหลอดไฟในปัจจุบันอยู่เสมอ และตรงตามความต้องการของผู้ออกแบบมากที่สุด เพียงแต่มีข้อจำกัดที่การเพิ่มเติมแก้ไขข้อมูลหลอดไฟนั้น ต้องไม่ไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตารางเก็บข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ เช่นการสลับที่คอลัมน์เป็นต้น

แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบ และสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อให้ข้อมูล ช่วยในการตัดสินใจเพื่อลงทุนใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง



ภาพประกอบ 10 แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องมือ

การคำนวณหาจำนวนหลอดไฟ ด้วยปริมาณแห่งการส่องสว่างผ่านวิธีการหาค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (Lumen Method)

วิธีคำนวณหาปริมาณแห่งการส่องสว่างโดยวิธีการหาค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (Lumen Method) คือ การพิจารณาปริมาณแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้า ที่กระจัดกระจายลงไปทั่วพื้นที่ใช้งาน และค่าระดับความสว่างที่คำนวณออกมาได้ จะเป็นค่าโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ การคำนวณโดยพิจารณาจากนิยามดังกล่าว จะได้ว่า

ปริมาณแห่งการส่องสว่าง = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกมาจากดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า (ลูเมน) / พื้นที่ที่ต้องการปริมาณแสงสว่าง (ตารางเมตร) , (ตารางฟุต)

$$E = \frac{L}{A}$$

E = ปริมาณแห่งการส่องสว่าง (ลักซ์) , (ฟุต-แคนเดิล)

L = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง ที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า (ลูเมน)

A = พื้นที่ที่ต้องการปริมาณแสงสว่าง (ตารางเมตร) , (ตารางฟุต)

ในทางปฏิบัติแล้ว แสงสว่างจะกระจัดกระจายทั่วทั้งห้อง และมีบางส่วนสะท้อนแสงสว่างกลับคืนออกมา และบางส่วนก็จะถูกกลืนหายเข้าไปในพื้นที่ผิวนั้นๆ การที่แสงสว่างจะสะท้อนแสงสว่างออกมามากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับความกว้าง ความยาว ความสูงของห้อง ตลอดจนความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของพื้นห้อง เพดาน และผนังของห้องด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้ว ค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง (E) ที่จะได้มานั้นจึงจะต้องคูณกับค่าที่เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบอกให้รู้ว่า แสงสว่างที่ออกมาจากดวงโคมไฟฟ้า จะไปตกลงบนพื้นงานจริงๆเท่าใด ซึ่งจะเขียนสูตรใหม่ได้ดังนี้

$$E = \frac{L \times CU}{A}$$

CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ จะขึ้นอยู่กับ ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง และความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของ เพดาน ผนัง และพื้นห้อง ซึ่งค่าค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นี้ ได้มาจากการเปิดตารางข้อมูลของดวงโคมไฟฟ้าที่ถูกกำหนดมาให้โดยบริษัทผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้า และเมื่อเราใช้หลอดไฟฟ้าไปเรื่อยๆ เป็นเวลานานๆ แสงสว่างที่เปล่งออกมาจากหลอดไฟฟ้าก็จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ ค่านี้เรียกว่า ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า(Lamp Lumen Depreciation : LLD) ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทและชนิดของหลอดไฟฟ้า ถ้าต้องการให้แสงสว่างที่ใช้งานคงไว้ซึ่งความสว่างอยู่ในระดับที่เราต้องการตลอดไปตามที่กำหนด จะต้องเผื่อค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้านี้เข้าไปด้วย เพราะฉะนั้นสูตรที่จะใช้คำนวณ จะต้องคูณด้วยค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้านี้ด้วย ซึ่งเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$E = \frac{L \times CU \times LLD}{A}$$

LLD = ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า

ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า(Lamp Lumen Depreciation : LLD) คือ อัตราส่วนของค่า ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเฉลี่ยของหลอดไฟฟ้า ต่อ ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มแรกของหลอดไฟฟ้า มีสูตรในการคำนวณดังนี้

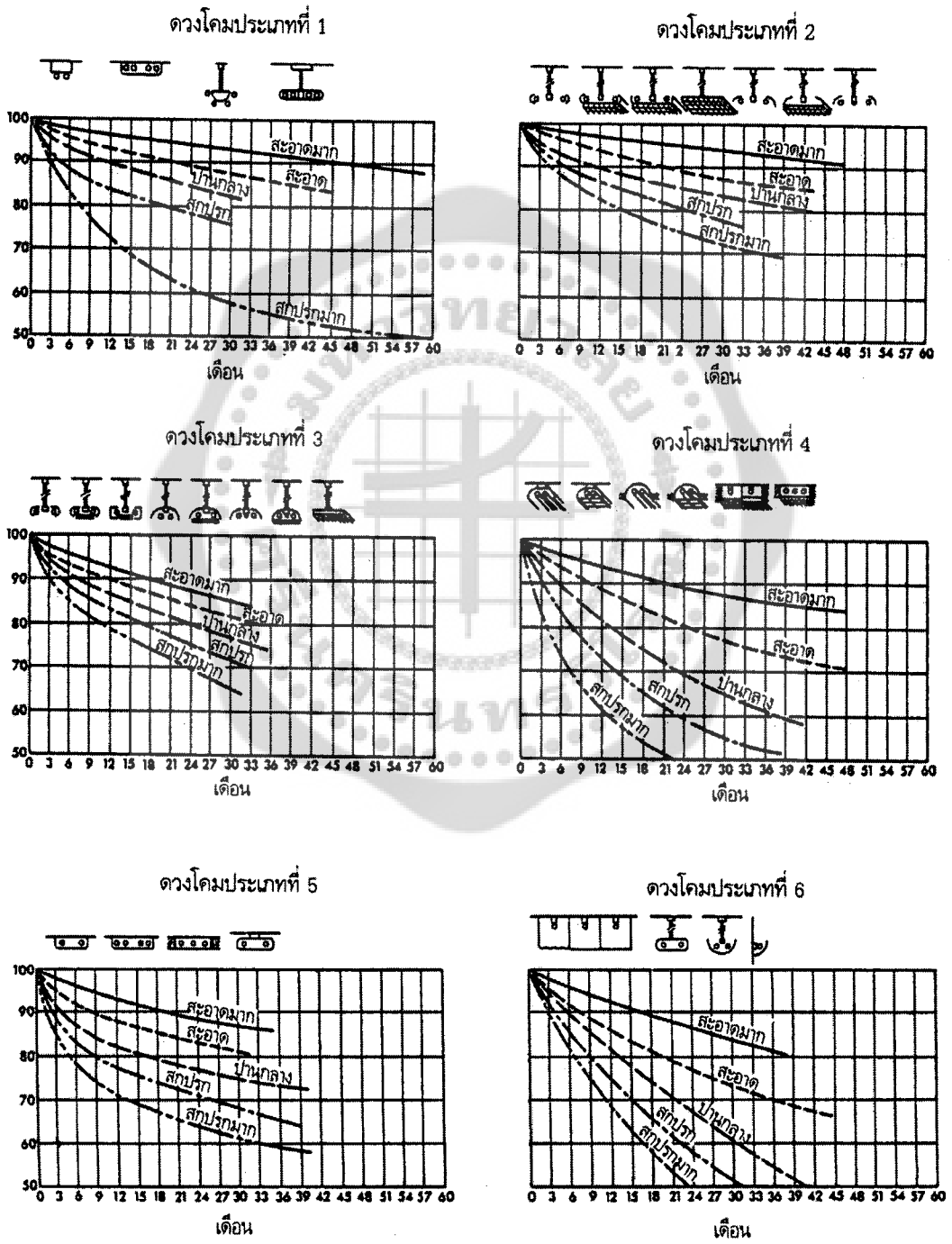
LLD = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเฉลี่ยของหลอดไฟฟ้า / ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มแรกของหลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในดวงโคมไฟฟ้า เมื่อใช้งานไปแล้วเป็นระยะเวลาหนึ่ง ดวงโคมไฟฟ้าจะเริ่มมีการสะสมฝุ่นละอองมากขึ้นเรื่อยๆ ในดวงโคมไฟฟ้า จะทำให้ความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างน้อยลงทุกที ซึ่งดวงโคมไฟฟ้าแต่ละชนิดหรือแต่ละประเภท จะสะสมฝุ่นละอองมากหรือน้อย ช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวดวงโคมไฟฟ้าเอง และบรรยากาศ สภาพแวดล้อมของสถานที่ที่ติดตั้งดวงโคมไฟฟ้านั้นๆ ค่านี้เรียกว่า ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (Luminaries Dirt Depreciation : LDD) ดังนั้น ถ้าเราต้องการให้แสงสว่างที่ใช้งานคงไว้ซึ่งความสว่างอยู่ในระดับที่เราต้องการตลอดไปตามที่กำหนด จะต้องเผื่อค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้านี้เข้าไปด้วย เพราะฉะนั้นสูตรที่ใช้คำนวณ จะต้องคูณด้วยค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า ซึ่งเขียนเพิ่มเติมได้ดังนี้

$$E = \frac{L \times CU \times LLD \times LDD}{A}$$

LDD = ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า

ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (LDD) สามารถหาค่านี้ได้จากตารางเลือกชนิดของดวงโคมไฟฟ้า และลักษณะสภาพแวดล้อมของสถานที่ที่ต้องการติดตั้ง ว่าอยู่ในสภาพที่มีความสะอาดหรือสกปรกอย่างไร ตลอดจนระยะเวลาของการทำความสะอาดประจำ ดังแสดง



ภาพประกอบ 11 แสดงค่าความเสื่อมสภาพของดวงโคมไฟฟ้าเนื่องจากความสกปรก (LDD)

การหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance Factor) ในการหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาส่วนใหญ่แล้วนั้น บริษัทผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้าจะกำหนดมาให้ พร้อมตารางค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ แต่บางบริษัทก็ไม่ได้จัดทำมาให้ ซึ่งเราสามารถหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาโดยการ นำค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (LLD) คูณด้วยค่าความเสื่อมสภาพของดวงโคมไฟฟ้าอันเนื่องมาจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้าที่เกิดจากการสะสมฝุ่นละออง (LDD)

$$MF = LLD \times LDD$$

MF = ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance Factor)

ดังนั้นเราสามารถที่จะเขียนความสัมพันธ์ในการคำนวณหาค่าปริมาณแห่งการสองสว่างใหม่ได้ดังต่อไปนี้

$$E = \frac{L \times CU \times MF}{A}$$

E = ปริมาณแห่งการสองสว่าง (ลักซ์) , (ฟุต-แคนเดิล)

L = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง ที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า (ลูเมน)

CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization)

MF = ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance Factor)

A = พื้นที่ที่ต้องการปริมาณแสงสว่าง (ตารางเมตร) , (ตารางฟุต)

วิธีการหาค่าอัตราส่วนของห้อง หรือดัชนีห้อง

(Room Ratio or Room Index : Kr)

เป็นวิธีการคำนวณโดยการใช้อัตราส่วนต่างๆ ของห้องมาเกี่ยวข้องในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นี้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมไฟฟ้า จะเป็นตัวบอกให้ทราบถึงความสามารถในการกระจายแสงสว่างลงไปยังพื้นงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วน ขนาด ความกว้าง ความยาว ความสูงของดวงโคมไฟฟ้า ตลอดจนความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของห้อง ผนัง เพดาน กำแพง รวมอยู่ด้วย เพื่อประกอบการหาค่าอัตราส่วนห้อง ซึ่งจะนำไปสู่การหาค่าของสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) ต่อไป

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้า ไปตกลงบนพื้นที่ที่ต้องการใช้งานจริงๆ ต่อปริมาณแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้าทั้งหมด

สูตรในการคำนวณหา ค่าอัตราส่วนห้อง (Room Ratio) มีดังนี้

1. กรณีที่การกระจายแสงสว่างของดวงโคมไฟฟ้าเป็นแบบกระจายแสงสว่างโดยตรง หรือแบบกระจายแสงสว่างแบบกึ่งโดยตรง หรือแบบกระจายแสงสว่างรอบทิศทาง ค่าอัตราส่วนของห้องจะมีสูตรดังนี้

$$Kr = \frac{W \times L}{h(W + L)}$$

Kr = อัตราส่วนของห้อง (Room Ratio or Room Index)

W = ความกว้างของห้อง หน่วย ฟุตหรือเมตร

L = ความยาวของห้อง หน่วย ฟุตหรือเมตร

h = ความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน หน่วย ฟุตหรือเมตร

2. กรณีการกระจายแสงสว่างของดวงโคมไฟฟ้าเป็นแบบกระจายแสงสว่างกึ่งโดยอ้อม หรือแบบกระจายแสงสว่างโดยอ้อม ค่าอัตราส่วนของห้องจะมีสูตรดังนี้

$$Kr = \frac{3 \times W \times L}{2hc(W + L)}$$

hc = ความสูงของเพดานเหนือพื้นงาน หน่วยเป็นฟุตหรือเมตร

3. การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมไฟฟ้าแต่ละแบบ แต่ละชนิดนั้น จะมีผลจากการสะท้อนแสงสว่างของด้านต่างๆภายในห้อง เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งค่าการสะท้อนแสงสว่างของแต่ละด้าน แต่ละส่วนของห้องจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับสีที่ใช้ทาห้องหรือวัสดุที่ใช้ ตัวอย่างของการสะท้อนแสงสว่างของสีและวัสดุ แสดงในตาราง 4 และ 5 ตามลำดับ

ตาราง 4 แสดงค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของสี

สี	% การสะท้อนแสงสว่าง
ดำ	0.5
เทา	10 – 60
ขาว	70 – 90
แดง	10 – 55
น้ำเงิน	10 – 50
เขียว	10 – 50
เหลือง	40 – 80
น้ำตาล	20 – 30

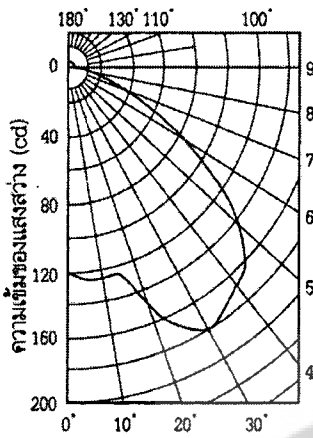
ตาราง 5 แสดงค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของวัสดุ

วัสดุ	% การสะท้อนแสงสว่าง
คอนกรีต	10 – 30
อิฐ	10 – 20
หินอ่อน	20 – 70
ปูนฉาบ	40 – 50
ไม้	10 – 40

4. การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ที่จะหาได้นี้ จะเป็นผลมาจากการเลือกชนิดดวงโคมไฟฟ้าที่ต้องการจะใช้งาน โดยบริษัทผู้ผลิตจะจัดทำตารางข้อมูลสำหรับดวงโคมไฟฟ้าทุกชนิด เพื่อประกอบการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมไฟฟ้านั้นๆ ขึ้นมา ตารางดังกล่าวจะมีความสัพพันธ์กับค่าอัตราส่วนของห้อง (Room Ratio) และเปอร์เซ็นต์

ของการสะท้อนแสงสว่าง จากส่วนต่างๆของห้อง เข้ามาเกี่ยวข้องในการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ด้วย ดังแสดงตัวอย่าง

ลักษณะการกระจาย

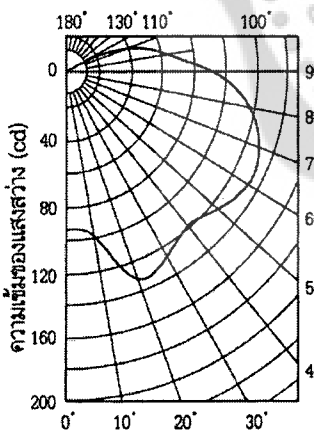


หลอด HN 360 FLX
ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง = 47,500 lm
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง 50.0%

การสะท้อนแสง		HN360FLX-ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (x 0.01)												
พื้น (%) (ρ_f)		10												0
เพดาน (%) (ρ_c)		80			70			50			30			0
กำแพง (%) (ρ_w)		70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30	0
ดัชนีห้อง	K_r= 0.60	28	21	17	27	21	17	26	24	17	24	20	17	13
	K_r = 0.80	33	27	23	32	27	23	30	26	22	29	25	22	18
	K_r = 1.00	37	32	28	36	31	28	34	30	27	33	29	26	23
	K_r = 1.25	40	35	32	39	34	31	37	33	30	35	32	30	26
	K_r = 1.50	42	38	35	41	38	35	40	36	34	38	35	33	30
	K_r = 2.00	45	42	39	44	41	39	43	40	38	41	39	37	34
	K_r = 2.50	47	44	42	46	43	41	44	42	40	43	41	39	36
	K_r = 3.00	48	46	44	47	45	43	45	44	42	44	42	41	38
	K_r = 4.00	50	48	46	49	47	45	47	46	44	45	44	43	40
	K_r = 5.00	50	49	47	50	48	47	48	47	46	46	45	44	42
	K_r = 7.00	51	50	49	51	50	48	49	48	47	47	47	46	43
	K_r = 10.00	52	51	51	51	51	50	50	49	49	48	48	47	45

(ก)

ลักษณะการกระจาย



หลอด NH 360 FLX
ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง = 47,500 lm
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง 65.0%

การสะท้อนแสง		NH360FLX-ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (x 0.01)												
พื้น (%) (ρ_f)		10												0
เพดาน (%) (ρ_c)		80			70			50			30			0
กำแพง (%) (ρ_w)		70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30	0
ดัชนีห้อง	K_r = 0.60	30	21	16	29	20	15	26	19	14	23	17	13	8
	K_r = 0.80	36	27	21	34	25	20	30	23	18	27	21	17	11
	K_r = 1.00	40	31	25	37	30	24	34	27	22	30	24	20	14
	K_r = 1.25	43	35	29	41	33	28	37	30	25	33	28	23	16
	K_r = 1.50	46	38	32	44	37	31	39	34	29	35	30	26	19
	K_r = 2.00	50	43	38	48	41	36	43	38	34	39	34	31	24
	K_r = 2.50	53	47	42	50	45	40	46	41	37	41	37	34	27
	K_r = 3.00	55	49	44	52	47	43	47	43	40	43	40	37	29
	K_r = 4.00	57	53	49	55	51	47	50	47	43	46	43	40	33
	K_r = 5.00	59	55	51	56	53	50	52	49	46	47	45	43	35
	K_r = 7.00	61	58	55	59	56	53	54	52	49	50	48	46	39
	K_r = 10.00	63	60	58	60	58	56	56	54	52	51	50	48	42

ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU) ของดวงโคมไฟฟ้าแบบต่างๆ โดยใช้ค่าดัชนีของห้องเพื่อพิจารณา

5. ตามปกติแล้วในตารางการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นั้น ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสว่างของพื้น (pf) ที่บริษัทผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้ากำหนดมา จะมีค่าดังนี้คือ 0% , 10% , 20% , 30% แต่ในกรณีที่บริษัทผู้ผลิตบอกมาเฉพาะค่าใดค่าหนึ่ง เช่นที่ 10% หรือ 20% บริษัทผู้ผลิตจะมีตารางสำหรับแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ หรือที่เขียนเป็นตารางตัวคูณเพื่อแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ให้ถูกต้องตามลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นที่แตกต่างกัน

6. การหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance Factor) ในการหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาส่วนใหญ่แล้วนั้น บริษัทผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้าจะกำหนดมาให้ พร้อมตารางค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ แต่บางบริษัทก็ไม่ได้จัดทำมาให้ ซึ่งเราสามารถหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาโดยการ นำค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (LLD) คูณด้วยค่าความเสื่อมสภาพของดวงโคมไฟฟ้าอันเนื่องมาจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้าที่เกิดจากการสะสมฝุ่นละออง (LDD)

7. การหาค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างทั้งหมด ที่จะใช้กับพื้นที่ที่กำลังคำนวณหาค่าได้จากสูตร

$$Lt = \frac{E \times A}{CU \times MF}$$

เมื่อ

Lt = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างทั้งหมด ที่ต้องการ (ลูเมน)

E = ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่ต้องการ (ลักซ์)

A = พื้นที่ที่ต้องการคำนวณหาค่า (ตารางเมตร)

CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์

MF = ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (LLD x LDD)

8. ถ้าต้องการหาจำนวนดวงโคมไฟฟ้าหรือจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ต้องการใช้ทั้งหมด ก็ให้นำปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มแรกของหลอดไฟฟ้าที่เลือกใช้ในการออกแบบ มาหารค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างทั้งหมด

$$Nt = \frac{Lt}{L}$$

เมื่อ

Nt = จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ต้องใช้ทั้งหมด

Lt = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างทั้งหมด ที่ต้องการ (ลูเมน)

L = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มแรกของหลอดไฟฟ้าที่เลือกใช้ (ลูเมน)

เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน

เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนสำหรับการวิเคราะห์โครงการของเอกชนนั้น จะเน้นมูลค่าผลประโยชน์สุทธิที่ตกอยู่กับผู้เป็นเจ้าของโครงการ (Internal to the project itself) มากกว่าโครงการของรัฐบาลที่จะให้ความสำคัญกับมูลค่าของผลประโยชน์สุทธิที่ตกอยู่กับสังคมโดยรวม (Net social benefits) ภายใต้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ไม่ว่าจะเป็นโครงการใดก็ตาม ผลการวิเคราะห์เป็นการพิจารณาว่า ผลประโยชน์ที่ได้รับนั้นมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าใช้จ่าย ซึ่งการเปรียบเทียบค่าของผลประโยชน์กับค่าใช้จ่ายเพื่อพิจารณาว่า โครงการใดเป็นโครงการที่ดี คุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่นั้น จำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนมี 2 ประเภท

1. เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา

2. เกณฑ์แบบปรับค่าเวลา

1. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าเวลา

เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา เป็นเกณฑ์ที่ไม่นำเวลาเข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดมูลค่าของเงินตรา (value of money) ซึ่งจะมีผลทำให้มูลค่าของเงินในอนาคต (future valve) เท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน (present value)

1.1 วิธีตรวจสอบด้วยการจัดเรียงลำดับ (Ranking by Inspection)

เกณฑ์นี้เป็นการจัดเรียงลำดับความสำคัญของโครงการ โดยเราทราบเพียงปริมาณการลงทุนและผลประโยชน์ของโครงการ เช่น โครงการ A และ B มีปริมาณการลงทุนเท่ากัน ผลประโยชน์ในแต่ละปีเท่ากัน แต่โครงการ B ให้ผลประโยชน์ติดต่อกันหลายปี หรือ นานกว่าโครงการ A ดังนั้น เราย่อมเลือกลงทุนในโครงการ B

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า เกณฑ์ดังกล่าวมีข้อบกพร่องในประเด็นที่ถ้าแต่ละโครงการซึ่งเรากำลังพิจารณาตัดสินใจเลือกลงทุนนั้น มีปริมาณเงินลงทุนและผลประโยชน์ในจำนวนที่แตกต่างกัน จะทำให้เราตัดสินใจเลือกโครงการได้ยาก

1.2 **ระยะคืนทุน** (Payback Period)

เกณฑ์ระยะคืนทุน เป็นเกณฑ์ที่คำนึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการใช้งาน เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์ คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้น หากดำเนินงานหรือใช้งานแล้วผลประโยชน์คุ้มกับจำนวนเงินที่ลงทุนไปได้รวดเร็วเท่าไรก็จะดี เพราะความเสี่ยงน้อยและผู้ลงทุนสามารถนำเงินที่ถอนทุนได้ไปลงทุนเพื่อหาประโยชน์ในกิจการอื่นๆต่อไป

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

ข้อบกพร่องของเกณฑ์ระยะคืนทุน

1. เกณฑ์นี้ไม่พิจารณาผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นหลังระยะคืนทุน โดยข้อสมมติของเกณฑ์นี้คือ เลือกโครงการลงทุนที่มีระยะคืนทุนยิ่งเร็วยิ่งดี ลักษณะเช่นนี้อาจนำไปสู่ การเรียงลำดับการลงทุนที่ผิดพลาด เพราะบางโครงการใช้ระยะเวลาคืนทุนที่นาน แต่หลังระยะเวลาคืนทุนแล้วอาจให้ผลประโยชน์เข้ามามากก็เป็นได้ ขณะที่โครงการซึ่งมีระยะคืนทุนสั้น อาจให้ผลประโยชน์เข้ามาหลังระยะคืนทุนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2. ไม่วัดความสามารถในการสร้างกำไรของโครงการ แต่ชี้ให้เห็นสภาพคล่องของโครงการเท่านั้น

3. เกณฑ์นี้ไม่ให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงิน ทั้งด้านค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นต่างเวลากัน นั่นคือ ให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินจำนวนเท่ากันในปัจจุบัน

1.3 **อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน** (Rate of Return on Investment)

เกณฑ์อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนนี้ จะวัดค่าของโครงการในรูปอัตราส่วน ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยจากการดำเนินงานต่อการลงทุน

$$\text{ROI} = \frac{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยจากการดำเนินงาน}}{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก x 100}}$$

ทั้งนี้เราจะตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการที่ให้ค่า ROI สูงสุดเป็นอันดับแรก และลดหลั่นลงมาตามลำดับ โดยที่เกณฑ์นี้มีข้อบกพร่องดังเช่นสองเกณฑ์ที่ผ่านมาคือ นอกจากจะไม่คำนึงถึงระยะเวลาของการได้มาซึ่งผลประโยชน์ ยังให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน

2. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าของเวลา

จากเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าของเวลาที่กล่าวมานั้น มีข้อบกพร่องในประเด็นที่คิดมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน ซึ่งถ้าอายุของโครงการมีเพียงปีเดียว ก็จะไม่มีปัญหาในการตัดสินใจเลือกลงทุน เนื่องจากค่าของเงินไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ด้วยข้อเท็จจริงที่ว่า โครงการส่วนใหญ่มีอายุโครงการมากกว่า 1 ปีขึ้นไป ประกอบกับผลประโยชน์สุทธิของแต่ละโครงการแตกต่างกันในแต่ละปี หรือกรณีบางโครงการอาจมีผลประโยชน์สุทธิ สูง-ต่ำสลับกันในแต่ละปี มูลค่าของเงินมีความแตกต่างกันแต่ละปี จึงเป็นการยากต่อนักลงทุนที่จะตัดสินใจเลือกว่าโครงการใดเหมาะสมแก่การลงทุน ดังนั้นจำเป็นที่ผู้วิเคราะห์โครงการต้องปรับค่าของเวลา สำหรับรายการค่าใช้จ่าย และผลประโยชน์ทุกรายการของโครงการ ให้มาอยู่บนฐานเวลาเดียวกันเสียก่อนในเบื้องต้น

การปรับค่าของเวลา

เป็นกระบวนการซึ่งมูลค่าที่คิดเป็นเงินของต้นทุน ผลประโยชน์ และผลประโยชน์สุทธิของโครงการ ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาต่างๆ กันในอนาคต ปรับให้มาอยู่ในเวลาปัจจุบัน หรือในเวลาที่เป็นศูนย์ มูลค่าของเงินที่เกิดขึ้นในอนาคตซึ่งถูกปรับมาเป็นปัจจุบันนั้น เราเรียกว่า มูลค่าปัจจุบัน (present value : PV) กระบวนการปรับค่าของเวลาดังกล่าว จะกระทำโดยการหักลดมูลค่าของเงินที่เกิดขึ้นในอนาคตด้วยอัตราส่วนลด (discount rate) ซึ่งสามารถอธิบายโดยใช้หลักการพื้นฐาน เกี่ยวกับหลักการหาค่าเงินรวม

กรณีหาค่าเงินรวม

สมมติ เงินลงทุน (เงินปัจจุบัน) เท่ากับ P บาท อัตราดอกเบี้ย r%/ปี เงินรวมในอนาคต เท่ากับ S บาท

ปีที่ 1 ดอกเบี้ย = rP เงินรวม S1 = P+rP = P(1+r)

ปีที่ 2 ดอกเบี้ย = rP(1+r) S2 = P(1+r)+rP(1+r) = $P(1+r)^2$

ปีที่ 3 ดอกเบี้ย = $rP(1+r)^2$ S3 = $P(1+r)^3$

ปีที่ n ดอกเบี้ย = $rP(1+r)^n$ Sn = $P(1+r)^n$

P : จำนวนเงินปัจจุบัน

Sn : ค่าของ P เมื่อสิ้นปีที่ n (เงินรวม)

การหามูลค่าปัจจุบัน (Present Value : PV)

เราสามารถหามูลค่าปัจจุบัน ของเงินหรือผลประโยชน์ของโครงการที่ได้รับในอนาคต โดยพิจารณาจากหลักการหาค่าเงินรวมในมุมกลับ

จาก $S = P(1+r)^n$

P หรือ PV = $\frac{S}{(1+r)^n} = S\frac{1}{(1+r)^n}$

เรียก $\frac{1}{(1+r)^n}$ ว่าแฟกเตอร์ความคุ้มค่าปัจจุบันของการจ่ายครั้งเดียว

(Single payment present worth factor : PWF)

กรณี มีรายการทางการเงินเกิดขึ้นมากกว่า 1 ปี สามารถหามูลค่าปัจจุบันดังนี้

$$PV = \frac{S_1}{(1+r)^1} + \frac{S_2}{(1+r)^2} + \frac{S_3}{(1+r)^3} + \ldots + \frac{S_n}{(1+r)^n}$$

r : อัตราดอกเบี้ย (มองจากปัจจุบัน ไป อนาคต)

เรานำ r มาใช้ทำส่วนหักลด เพื่อปรับค่าเงินอนาคตให้เป็นปัจจุบัน เรียก r นี้ว่าอัตราส่วนลด

ความสำคัญของอัตราส่วนลด

ปัจจัยที่กำหนดการปรับค่าเวลา

ได้แก่ ช่วงเวลาจากปัจจุบันถึงอนาคตของโครงการ และ r ที่เลือกมาใช้

1. ถ้า r มีค่าสูง และช่วงระยะเวลาที่จะได้ผลประโยชน์ยาวนาน จะทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ยิ่งลดต่ำ

2. r คือ อัตราส่วนลดหรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์

3. อัตราส่วนลดที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์โครงการของรัฐบาล ก็คือค่าเสียโอกาส (opportunity cost) ซึ่งหมายถึงผลประโยชน์ของการใช้ทุนไปในทางเลือกอื่น ที่ดีที่สุด แต่ไม่มีโอกาสได้ใช้เนื่องจากต้องนำทุนนั้นมาใช้ในโครงการที่กำลังพิจารณา (maximum alternative benefit forgone) ซึ่งสามารถนำอัตราดอกเบี้ย หรืออัตราผลตอบแทนที่ได้จากพันธบัตรรัฐบาล มาใช้เป็นอัตราส่วนลดได้

4. อัตราส่วนลดที่เลือกต้องไม่สูงหรือต่ำเกินไป เพราะถ้าสูงไปจะส่งผลให้มีการลงทุนน้อยกว่าที่ระบบเศรษฐกิจต้องการ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันของเงินจะต่ำมาก แต่ถ้ากำหนด r ต่ำไป ก็จะส่งผลให้มีการจัดสรรเงินทุนไปในโครงการที่ให้ผลประโยชน์ต่ำ

2.1 **มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ** (Net Present Value : NPV)
หมายถึง ผลรวมของผลประโยชน์สุทธิ ซึ่งได้มีการปรับค่าของเวลาแล้ว

กำหนดให้ NPV = มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจากโครงการ

Bt = ผลประโยชน์จากโครงการ ในปีที่ t

Ct = ค่าใช้จ่ายของโครงการ ในปีที่ t

t = ปีของโครงการ มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n = อายุของโครงการ (project life)

r = อัตราส่วนลด อัตราดอกเบี้ย หรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

C_0 = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (initial cost)

$$\text{NPV} = -C_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} \quad \text{หรือ} \quad \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

หลักการตัดสินใจเพื่อการลงทุนในโครงการ

ถ้า NPV > 0 คุ้มค่าแก่การลงทุน

NPV < 0 ไม่สมควรลงทุน

NPV = 0 เท่าทุน

ค่า NPV จะแปรผันตามอัตราส่วนลด (r) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า อัตราส่วนลดเป็นตัวที่แสดงความสามารถของเงินลงทุน ที่จะทำให้ผู้ลงทุนได้รับการคืนทุนได้ โดยอัตราส่วนลดควรจะต้องมากกว่าอัตราดอกเบี้ย นั่นคือ ถ้าผู้ลงทุนได้รับอัตราดอกเบี้ยเท่ากับอัตราส่วนลด หรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน ก็ไม่มีประโยชน์อะไรที่จะลงทุนในโครงการ

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาอายุของโครงการ ก็เป็นสิ่งที่สำคัญในการคำนวณค่า NPV เพราะยิ่งอายุของโครงการยิ่งนาน จะมีผลให้มูลค่าของเงินในอนาคต ถูกทอนค่าลงมากขึ้น โครงการหนึ่งๆ เราสามารถพิจารณาอายุของโครงการได้จาก อายุทางเศรษฐกิจของอุปกรณ์เครื่องจักร (10-15 ปี) ตัวสิ่งก่อสร้าง อาคาร โรงงาน (30-40 ปี) ซึ่งในทางปฏิบัติ หากในกรณีที่สินทรัพย์ถาวรใด ที่มีอายุน้อยกว่าอายุโครงการ ก็ต้องมีค่าใช้จ่ายเพื่อทดแทนทรัพย์สินถาวรที่ชำรุด สึกหรอหรือหมดอายุการใช้งาน (Replacement Cost)

อาทิ สมมติว่า โครงการก่อสร้างโรงแรม มีอายุประมาณ 30 ปี แต่หลอดไฟให้แสงสว่างบริเวณโถงทางเดินหน้าห้องพักทั้งหมด มีอายุ 2 ปี เช่นนี้ ถ้าโครงการมีการวางแผนที่ดี จำเป็นต้องมีการพิจารณาซื้อหลอดไฟใหม่ทดแทน ค่าใช้จ่ายนี้เป็นรายการประเภท ทุนที่จ่ายทดแทน ในปีที่คาดว่าหลอดไฟจะหมดอายุ และจะนำมาคิดเป็นต้นทุนของโครงการ ในปีที่คาดว่าจะมีรายจ่ายเกิดขึ้น

ความสำคัญและความหมายของอัตราส่วนลด

การประเมินต้นทุนและผลประโยชน์อันเกิดจากการลงทุนนั้น เป็นเรื่องที่เกี่ยวพันกับช่วงเวลาของการได้มาซึ่งต้นทุนและผลประโยชน์ ที่มักเกิดขึ้นต่างเวลากัน มูลค่าที่แท้จริงของเงิน 1 บาท ในปัจจุบันจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้เนื่องจากมีทางเลือกมากมายที่สามารถนำเงินไปลงทุนหาประโยชน์ ดังนั้น เมื่อการดำเนินโครงการใดก่อให้เกิดกระแสผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายต่างวาระกัน การแสผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในอนาคตย่อมมีค่าน้อยกว่าที่เกิดในปัจจุบัน ดังนั้น ความสนใจในการกำหนดค่าของเวลาจึงเป็นสิ่งสำคัญ และมีผลกระทบต่อมูลค่าของต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ ค่าของเวลาและมูลค่าของต้นทุนและผลประโยชน์ดังกล่าวถูกเชื่อมโยงด้วย "อัตราส่วนลด"

อัตราส่วนลด (Discount rate : r) เป็นค่าที่แสดงในรูปร้อยละ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำแฟกเตอร์ส่วนลด (Discount factor : $\frac{1}{(1+r)^t}$)

โดยแฟกเตอร์ส่วนลดเป็นสิ่งที่ใช้ปรับลดค่าของเงินในอนาคตเป็นค่าปัจจุบัน จากเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าของเวลา ได้แสดงการเปรียบเทียบกระแสผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายต่างวาระกัน โดยพิจารณาในรูปของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ : NPV

โดยที่ r เป็นค่าอัตราส่วนลดที่เป็นปัจจัยสำคัญในการหามูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ ค่า r ยิ่งสูง จะทำให้ NPV มีค่าน้อยกว่าค่า r ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะถ้าสมมติว่าโครงการ A และ B ต่างเป็นโครงการที่มีต้นทุนเท่ากัน แต่โครงการ A ให้ผลประโยชน์เร็วกว่าโครงการ B การที่กำหนดค่า r สูง จะมีผลให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนโครงการ A ในขณะที่การกำหนดค่า r ต่ำ โครงการ B จะเป็นโครงการที่คุ้มค่าในการลงทุน

กระบวนการของอัตราส่วนลด ตั้งอยู่บนข้อสมมติฐาน 2 ประการ

ประการแรก อัตราส่วนลดที่นำมาใช้ในกระแสไหลเวียนของผลประโยชน์สุทธิของโครงการต้องเป็นอัตราเดียวกันในทุกๆปี ดังนั้นอัตราการลดลงของมูลค่าผลประโยชน์จากปีหนึ่งไปยังอีกปีหนึ่งจะเป็นอัตราคงที่ (constant rate)

ประการที่สอง อัตราส่วนลดอัตราเดียวกัน ต้องนำมาประยุกต์ใช้กับทรัพยากรทั้งหมดที่ปรากฏในกระแสไหลเวียนของทรัพยากร ไม่ว่าทรัพยากรเหล่านั้นจะอยู่ในรูปของผลประโยชน์หรือต้นทุน และไม่ว่าต้นทุนจะอยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายลงทุน หรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก็ตาม

ค่าอัตราส่วนลด r มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการอย่างมาก เพราะเป็นสิ่งที่จะกำหนดว่าโครงการจะมีประสิทธิภาพเพียงใด ค่าอัตราส่วนลดที่ต่างกันจะทำให้ผลลัพธ์ของค่า NPV ที่ได้แตกต่างกัน ทั้งนี้แม้จะเป็นการลงทุนในโครงการเดียวกันแต่ผู้วิเคราะห์สามารถเลือกใช้ค่าอัตราส่วนลดที่แตกต่างกันได้ ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่า

- ความพึงพอใจที่จะเลือกบริโภคในปัจจุบัน มากกว่าที่จะรอไปบริโภคในอนาคต ซึ่งมีผลทำให้การกำหนดอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงอาจแปรผันระหว่างบุคคล บุคคลที่ให้ความสำคัญและพอใจกับการบริโภคในปัจจุบันมาก ย่อมต้องการอัตราผลตอบแทนในระดับสูง เพราะฉะนั้นย่อมเลือกใช้อัตราส่วนลดค่าสูง

- บุคคลแต่ละบุคคลคาดคะเนอัตราเงินเฟ้อแตกต่างกัน ดังนั้น การกำหนดค่าอัตราส่วนลดอาจแปรผันไปในแต่ละบุคคล โดยที่อัตราเงินเฟ้อสูง ย่อมหมายถึงอัตราส่วนลดมีค่าสูง

- ดีกรีของการไม่ชอบความเสี่ยง อาจแปรผันระหว่างบุคคล ดังนั้นความแตกต่างในส่วนนี้ ซึ่งคือการยอมรับและการจำกัดความเสี่ยงที่พัวพันกับความไม่แน่นอนของแต่ละบุคคล มีผลต่อการกำหนดค่าอัตราส่วนลด โดยความเสี่ยงสูง ย่อมหมายถึงอัตราส่วนลดมีค่าสูง

ในการประเมินโครงการลงทุนต่างๆ อัตราส่วนลดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ การเลือกใช้อัตราส่วนลดค่าต่ำ เป็นการสนับสนุนให้มีโครงการลงทุนที่ก่อให้เกิดผลประโยชน์ในอนาคต ขณะที่การเลือกใช้อัตราส่วนค่าสูง ทำให้โครงการลงทุนที่ให้ผลประโยชน์ในอนาคตไม่น่าลงทุน เพราะมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจะต่ำจนอาจติดลบได้ การกำหนดค่าของอัตราส่วนลด จึงควรอาศัยหลักการที่มีเหตุมีผล และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของโครงการและลักษณะของโครงการ ค่าของอัตราส่วนลดอาจเป็นค่าของอัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล อัตราดอกเบี้ยของเงินฝากออมทรัพย์ของธนาคาร หรืออาจเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้โดยทั่วไปก็เป็นได้

2.2 อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR)

จากเกณฑ์ NPV จะเห็นได้ว่ามีข้อเสียประการหนึ่งคือ NPV บอกเพียงว่า โครงการนี้จะสามารถทำกำไรให้แก่ผู้เป็นเจ้าของโครงการได้หรือไม่ ถ้าได้จะได้มากน้อยเพียงใด โดยเราเป็นผู้กำหนดอัตราส่วนลด (r) ลงไปในสูตร NPV แต่ NPV ไม่สามารถบอกได้ว่า โครงการที่กำลังพิจารณานั้นจะคืนทุนในอัตราเท่าใด เมื่อเป็นเช่นนี้ ผู้ลงทุนโดยทั่วไป จึงหันมานิยมใช้เกณฑ์อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) โดยที่ IRR หมายถึง

: อัตราส่วนลด ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย

: อัตราความสามารถของเงินทุน ที่ทำให้ผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่าย เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน

: อัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV = 0

IRR คือ r ที่ทำให้ $\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$

การพิจารณาตัดสินใจลงทุน กระทำโดยนำค่า IRR ไปเปรียบเทียบกับอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งอาจเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของสถาบันการเงิน อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจยอมรับได้ หรืออัตราผลตอบแทน จากการลงทุนในระยะยาว ตามที่กฎหมายกำหนด อาทิ อัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล เป็นต้น

หลักการตัดสินใจเพื่อการลงทุนมีดังนี้

ถ้า IRR > r คุ้มค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

IRR < r ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุนและไม่ยอมรับข้อเสนอโครงการ

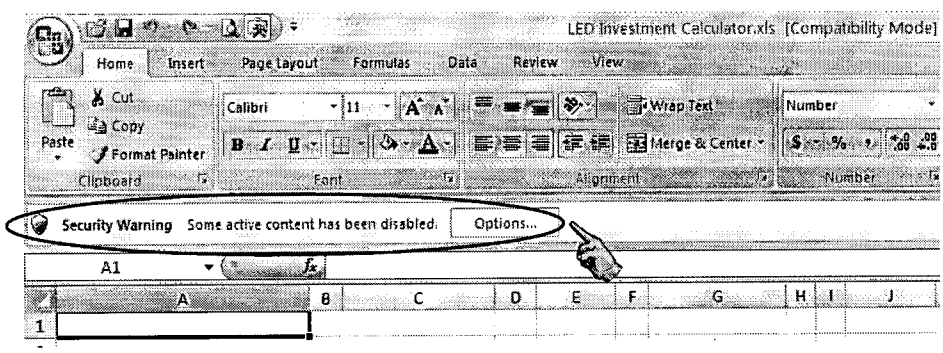
IRR = r เสมอตัว

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการวิจัยในสารนิพนธ์ฉบับนี้นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงการประยุกต์เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน ซึ่งประกอบไปด้วยเกณฑ์ 4 ตัว ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) , อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Rate of return on investment) , มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net present valuve) และ อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal rate of return) ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีแทนหลอดไฟแบบดั่งเดิมเพื่อระบบแสงสว่างทั่วไปภายในอาคาร

โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Visual Basic for Application บน Microsoft Excel 2007 เพื่อช่วยในการคำนวณเกณฑ์ในการตัดสินใจดังกล่าว เนื่องจากในปัจจุบันการใช้ "ตารางจัดการ" (spreadsheet) ของโปรแกรม Excel เป็นไปอย่างกว้างขวางและแพร่หลายทั้งในทางธุรกิจและการศึกษา เพราะ Excel เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่ายและสะดวก ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จึงคุ้นเคยกับการใช้ตารางจัดการใน Excel เป็นอย่างดี แม้ว่าการใช้ตารางจัดการในยุคแรกๆจะนิยมใช้ทำบัญชีกันมาก แต่ในปัจจุบัน Excel ได้รับการพัฒนาจนสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการช่วยแก้ปัญหาต่างๆได้หลากหลาย เช่น ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น หรือ ปัญหาการขนส่ง เป็นต้น โดยจะอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน ผ่านทางส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) ที่เข้าใจง่าย และให้ผลลัพธ์พร้อมรายงานผลอย่างรวดเร็ว

ผู้ที่ต้องการใช้งานโปรแกรมเพียงมีคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows และโปรแกรม Microsoft Office Excel ตั้งแต่เวอร์ชั่น Excel 97 เป็นต้นไป การเริ่มต้นโปรแกรมโดยการเปิดไฟล์ชื่อ LED Investment Calculator.xls โดยเมื่อเปิดมาแล้ว Excel จะขึ้นข้อความเตือนด้านความปลอดภัย ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 ข้อความเตือนด้านความปลอดภัย

เนื่องจากโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาเป็นลักษณะที่เรียกว่า (Macro & ActiveX) ซึ่งอาจจะเป็นไวรัส หรือ เป็นอัตรายต่อระบบความปลอดภัยของคอมพิวเตอร์ได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ในเบื้องต้น Excel จึงได้ปิดระบบดังกล่าว แต่ผู้ใช้สามารถเปิดการทำงานของ(Macro & ActiveX) ได้หากมั่นใจในแหล่งที่มาของไฟล์ ซึ่งในกรณีนี้ โปรแกรมของงานวิจัยนี้จะใช้งานได้ ก็ต่อเมื่อผู้ใช้งานเปิดระบบการทำงานของ (Macro & ActiveX) ดังภาพประกอบ 14 โดยวิธีการเปิดระบบใช้งาน (Macro & ActiveX) อาจแตกต่างกันบ้างในกรณีที่ใช้โปรแกรม Excel รุ่นก่อนหน้านี้

ภาพประกอบ 14 วิธีเปิดการทำงานของ (Macro & ActiveX)

ผลลัพธ์การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ประยุกต์เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนมาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีในระบบแสงสว่างทั่วไป

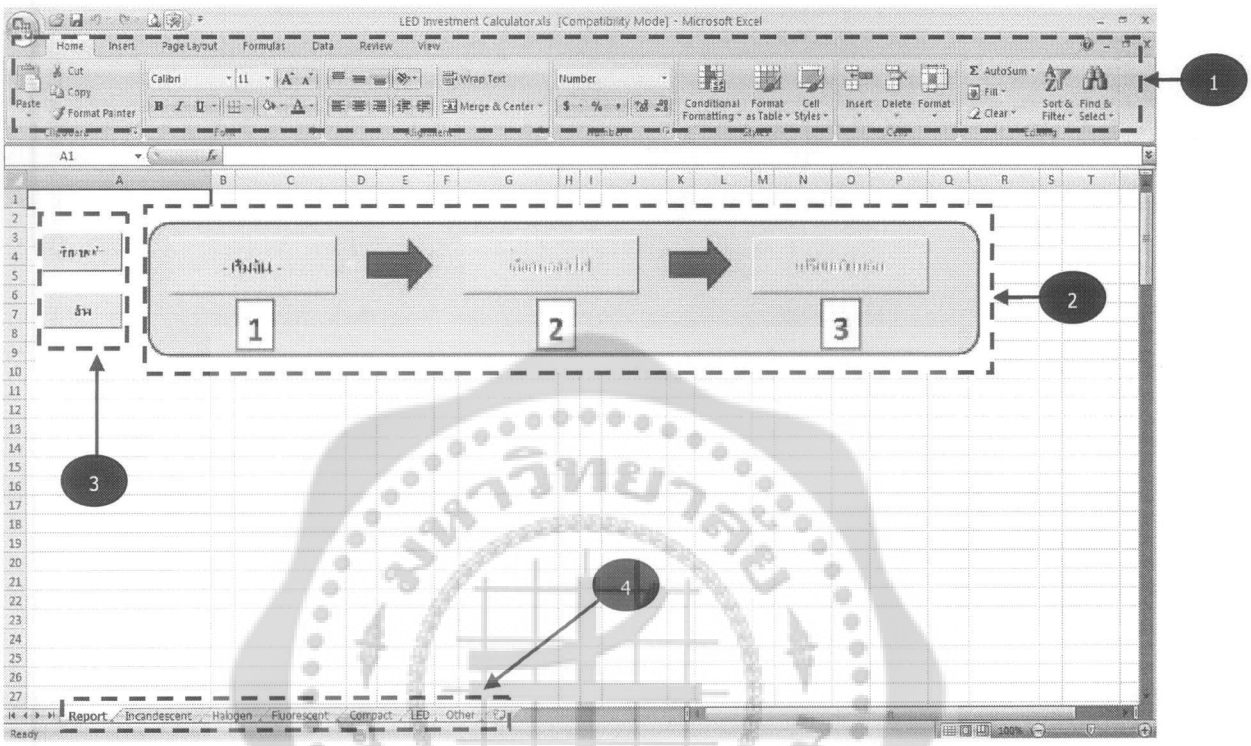
จากการพัฒนาโดยได้ทำการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ได้หน้าต่างของโปรแกรมเพื่อรองรับการป้อนข้อมูลของผู้ออกแบบทั้งหมด 3 ขั้นตอนหลักๆ อันได้แก่

1.ส่วนระบุข้อมูลระบบส่องสว่างที่ต้องการจากผู้ใช้งาน

2.ส่วนระบุหลอดไฟแบบดั่งเดิมที่ผู้ออกแบบเลือกใช้

3.ส่วนระบุหลอดไฟแบบใหม่ ที่ต้องการเปรียบเทียบกับแบบเดิม

ส่วนประกอบของระบบการคำนวณเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนมาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีในระบบแสงสว่างทั่วไป จากจอภาพเมื่อเปิดไฟล์ขึ้นมาจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ดังภาพประกอบ 15

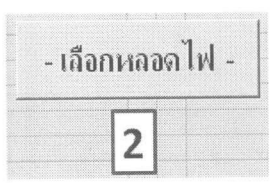


ภาพประกอบ 15 แสดงส่วนประกอบหลักภายในโปรแกรม

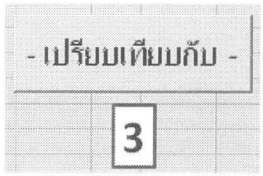
ส่วนที่ 1 (1) เมนูบาร์ (Main bar) และแถบเครื่องมือ (Toolbar)
เมนูบาร์ (Main bar) และแถบเครื่องมือ (Toolbar) คือ ส่วนที่ใช้แสดงคำสั่งการใช้งานต่างๆ ทั่วไปทั้งหมดใน Microsoft Excel

ส่วนที่ 2 (2) ปุ่ม (Button) 3 ขั้นตอนหลักในการป้อนข้อมูลของผู้ใช้งาน ประกอบด้วย

1). ปุ่ม - เริ่มต้น - เป็นขั้นตอนที่ 1 ใช้สำหรับเปิดแบบฟอร์มสำหรับให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่มีความจำเป็นในการคำนวณเกณฑ์ในการตัดสินใจ เช่น ประเภทของพื้นที่ที่ใช้งาน , มาตรฐานที่จะใช้ในการคำนวณ



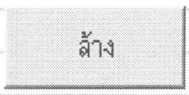
2). ปุ่ม - เลือกหลอดไฟ - เป็นขั้นตอนที่ 2 ใช้สำหรับเปิดแบบฟอร์มสำหรับให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลเกี่ยวกับหลอดไฟในแบบเดิมที่เลือกใช้ในพื้นที่ต่างๆ ของโครงการ เช่น ยี่ห้อ , รุ่น , กำลังหลอดไฟ



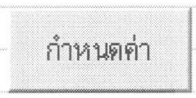
3). ปุ่ม – เปรียบเทียบกับ - เป็นขั้นตอนที่ 3 ใช้สำหรับเปิดแบบฟอร์มสำหรับให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลเกี่ยวกับหลอดไฟในแบบใหม่ที่เลือกเปลี่ยนและต้องการเปรียบเทียบกับแบบเดิมในขั้นที่2 เช่น ยี่ห้อ , รุ่น , กำลังไฟ

ส่วนที่ 3

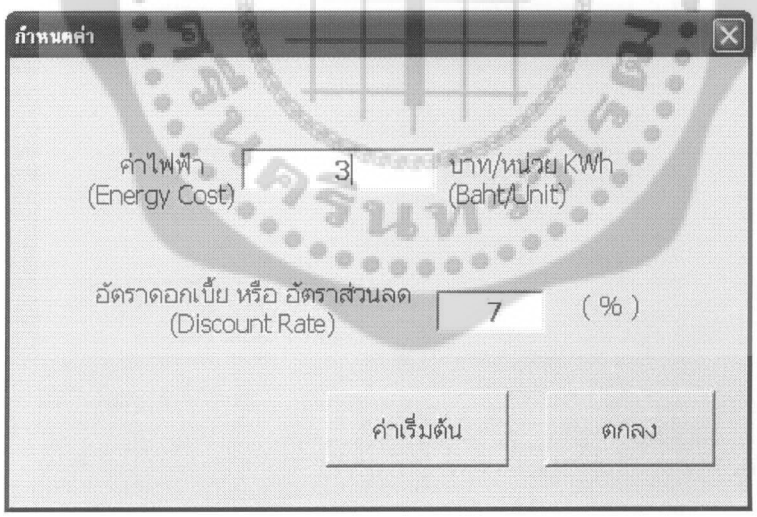
ปุ่ม (Button) ในการล้างหน้าจอรายงานผลและการตั้งค่าคงที่ต่างๆ ประกอบด้วย 2 ปุ่มดังต่อไปนี้



1). ปุ่ม - ล้าง - ใช้สำหรับล้างและลบหน้าจอในซีทรายงานผล ใช้งานในกรณีที่ต้องการเริ่มต้นการคำนวณใหม่ทุกครั้ง



2). ปุ่ม - กำหนดค่า - ใช้สำหรับการกำหนดค่าคงที่ ที่จำเป็นในการคำนวณหาค่าทางเศรษฐศาสตร์ เช่น อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราส่วนลด (Discount Rate) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า NPV และค่าไฟฟ้าต่อหน่วย โดยเมื่อกดปุ่มจะเปิดแบบฟอร์มให้ตั้งค่าดังกล่าวได้ตามภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 การกำหนดค่าเริ่มต้นในการคำนวณ

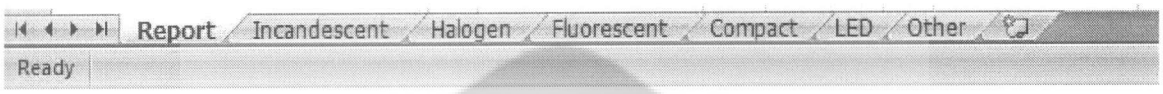
โดยหากผู้ใช้งานเปิดโปรแกรมมาและไม่ได้กำหนดค่าในส่วน (กำหนดค่า) นี้ ตัวโปรแกรมจะกำหนดค่าเริ่มต้น (Default) ที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

- ค่าไฟฟ้า (Energy Cost) ที่ 3 บาท/หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง)
- อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราส่วนลด (Discount Rate) ที่ 7 % ต่อปี

ค่าคงที่ดังกล่าวนี้ ส่งผลอย่างมากต่อผลการวิเคราะห์เกณฑ์การลงทุน เช่น ในกรณีที่หลอดไฟที่เปลี่ยนช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ ดังนั้นการเปิดใช้งานหลอดที่นาน ก็จะทำให้ผลประโยชน์สุทธิโดยรวมมากขึ้น หรือสำหรับอัตราส่วนลดที่เป็นเหมือนตัวแสดงความสามารถของเงินลงทุนที่จะสร้างผลประโยชน์ให้แก่ผู้ลงทุนได้ โดยอัตราส่วนลดควรจะมากกว่าอัตราดอกเบี้ย เพราะถ้าผู้ลงทุนได้รับอัตราดอกเบี้ย เท่ากับอัตราส่วนลดหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน ก็ไม่มีประโยชน์อะไรที่จะลงทุน

ส่วนที่ 4 (4) ตารางฐานข้อมูลของหลอดไฟ แยกตามประเภทของหลอดไฟ

รายละเอียดดังภาพประกอบ 17

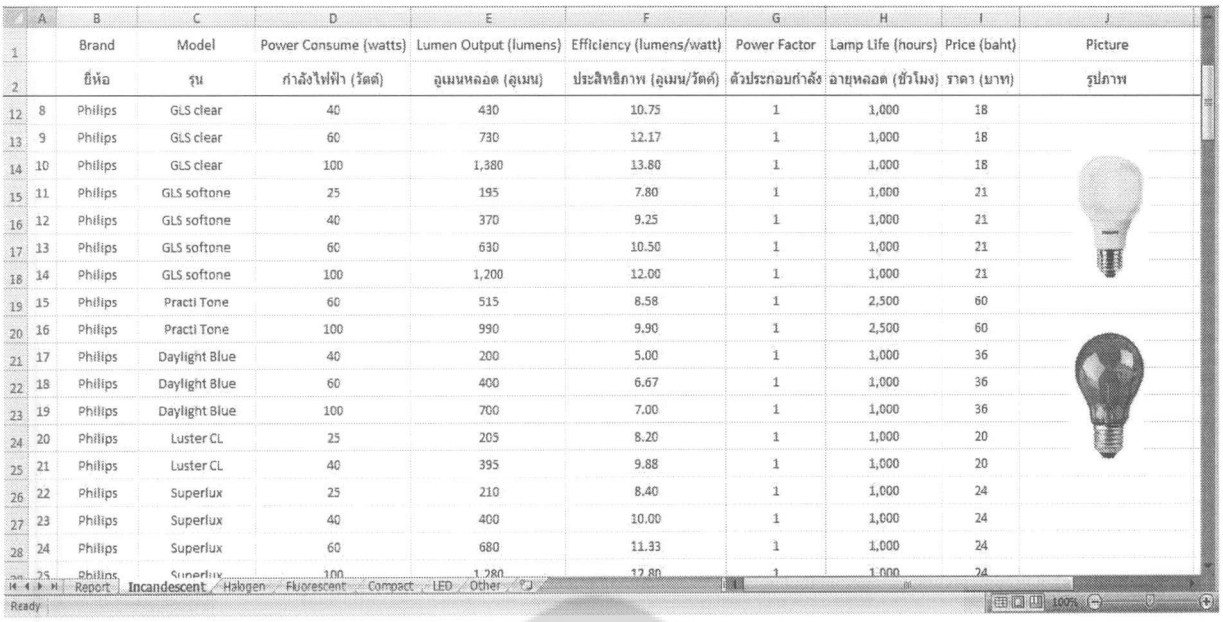


ภาพประกอบ 17 ชีทรายงานผลและชีทประเภทหลอดไฟ

ประกอบด้วย

- ชีท Report เป็นชีทเริ่มต้นที่จะแสดงเมื่อเปิดไฟล์เข้ามา ใช้สำหรับกำหนดค่าคงที่,ป้อนข้อมูลจากผู้ใช้งานที่จำเป็นต้องใช้ในการหาเกณฑ์ รวมถึงใช้แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณด้วย
- ชีท Incandescent เป็นชีทที่ใช้เก็บข้อมูลของหลอดไฟ ประเภทหลอดไส้
- ชีท Halogen เป็นชีทที่ใช้เก็บข้อมูลของหลอดไฟ ประเภทหลอดไส้ ทังสเตน ฮาโลเจน
- ชีท Fluorescent เป็นชีทที่ใช้เก็บข้อมูลของหลอดไฟ ประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์
- ชีท Compact เป็นชีทที่ใช้เก็บข้อมูลของหลอดไฟ ประเภทหลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดตะเกียบประหยัดไฟ
- ชีท LED เป็นชีทที่ใช้เก็บข้อมูลของหลอดไฟ ประเภทหลอดแอลอีดี
- ชีท Other เป็นชีทที่ใช้เก็บข้อมูลของหลอดไฟ ประเภทอื่นๆ ที่ทางผู้ใช้งานเพิ่มเติมเอง

การเก็บข้อมูลของหลอดไฟประเภทต่างๆ ดังกล่าว มีโครงสร้างของตารางในการเก็บข้อมูลที่เหมือนกันทั้งหมด ดังภาพประกอบ 18 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Brand	Model	Power Consume (watts)	Lumen Output (lumens)	Efficiency (lumens/watt)	Power Factor	Lamp Life (hours)	Price (baht)	Picture
2		ยี่ห้อ	รุ่น	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ลูเมนหลอด (ลูเมน)	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	อายุหลอด (ชั่วโมง)	ราคา (บาท)	รูปภาพ
12	8	Philips	GLS clear	40	430	10.75	1	1,000	18	
13	9	Philips	GLS clear	60	730	12.17	1	1,000	18	
14	10	Philips	GLS clear	100	1,380	13.80	1	1,000	18	
15	11	Philips	GLS softone	25	195	7.80	1	1,000	21	
16	12	Philips	GLS softone	40	370	9.25	1	1,000	21	
17	13	Philips	GLS softone	60	630	10.50	1	1,000	21	
18	14	Philips	GLS softone	100	1,200	12.00	1	1,000	21	
19	15	Philips	Practi Tone	60	515	8.58	1	2,500	60	
20	16	Philips	Practi Tone	100	990	9.90	1	2,500	60	
21	17	Philips	Daylight Blue	40	200	5.00	1	1,000	36	
22	18	Philips	Daylight Blue	60	400	6.67	1	1,000	36	
23	19	Philips	Daylight Blue	100	700	7.00	1	1,000	36	
24	20	Philips	Luster CL	25	205	8.20	1	1,000	20	
25	21	Philips	Luster CL	40	395	9.88	1	1,000	20	
26	22	Philips	Superlux	25	210	8.40	1	1,000	24	
27	23	Philips	Superlux	40	400	10.00	1	1,000	24	
28	24	Philips	Superlux	60	680	11.33	1	1,000	24	
	25	Philips	Superlux	100	1,280	12.80	1	1,000	24	

ภาพประกอบ 18 โครงสร้างตารางการเก็บข้อมูลของหลอดไฟ

โครงสร้างตารางการเก็บข้อมูล ประกอบด้วย

- คอลัมน์ A คือ หมายเลขลำดับที่ของข้อมูลหลอดไฟ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานจะระบุหรือไม่ก็ได้ เนื่องจากไม่ได้นำไปใช้ในการคำนวณแต่อย่างใด เพียงเป็นข้อมูลให้ผู้ใช้งานทราบเท่านั้น

- คอลัมน์ B คือ ชื่อยี่ห้อของผู้ผลิตหลอดไฟ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องระบุ เนื่องจากนำไปใช้ในการคำนวณ เพื่อแสดงรายชื่อในขั้นตอนของการเลือกหลอดไฟ

- คอลัมน์ C คือ ชื่อรุ่นหรือโมเดลหรือ Item Code ของผู้ผลิตหลอดไฟ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องระบุ เนื่องจากนำไปใช้ในการคำนวณ เพื่อแสดงรายชื่อในขั้นตอนของการเลือกหลอดไฟ

- คอลัมน์ D คือ กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ มีหน่วยเป็นวัตต์ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องระบุ เนื่องจากนำไปใช้ในการคำนวณ ในขั้นตอนของการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า

- คอลัมน์ E คือ ฟลักซ์แสงสว่างของหลอดไฟ มีหน่วยเป็นลูเมน ในส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องระบุ เนื่องจากนำไปใช้ในการคำนวณ ในขั้นตอนของการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟเพื่อหาฟลักซ์ติดตั้ง

- คอลัมน์ F คือ ประสิทธิภาพของหลอดไฟ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ ข้อมูลในส่วนนี้ได้มาจากการนำข้อมูลในคอลัมน์ E หารด้วยข้อมูลในคอลัมน์ D นำไปแสดงผลในขั้นตอนของการเลือกหลอดไฟ และนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของหลอดแบบเดิมว่าสูงกว่าหรือไม่

- คอลัมน์ G คือ ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) ของหลอดไฟ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานจะระบุหรือไม่ก็ได้ เนื่องจากไม่ได้นำไปใช้ในการคำนวณ เนื่องจากไม่คำนึงถึงค่า VAR charge ในกรณีผู้ใช้ไฟรายย่อย หรือได้มีการชดเชยค่า VAR จาก Capacity Bank ที่ตู้ MDB หลัก ในกรณีผู้ใช้ไฟรายใหญ่

- คอลัมน์ H คือ ค่าอายุการใช้งานหลอดไฟของผู้ผลิต มีหน่วยเป็น ชั่วโมง ในส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องระบุ เนื่องจากนำไปใช้ในการคำนวณ ในขั้นตอนของการคิดราคาเปลี่ยนหลอดใหม่ทดแทนหลอดเดิมที่หมดอายุ

- คอลัมน์ I คือ ราคาหลอดไฟ จำนวน 1 หลอด มีหน่วยเป็น บาท ในส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องระบุ เนื่องจากนำไปใช้ในการคำนวณในขั้นตอนการหาเงินลงทุนเริ่มแรก (Initial Investment) และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอด

- คอลัมน์ J คือ รูปภาพอ้างอิงของหลอดไฟ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานจะระบุหรือไม่ก็ได้ เนื่องจากไม่ได้นำไปใช้ในการคำนวณ เพียงเป็นข้อมูลให้ผู้ใช้งานรับทราบเท่านั้น

ซึ่งข้อมูลภายในตารางทั้งหมดข้างต้น ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยน แก้ไข เพิ่มเติม ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับลักษณะการออกแบบของผู้ใช้งานเอง และปรับเปลี่ยนไปตามการพัฒนาประสิทธิภาพของหลอดแอลอีดี ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนในการใช้งาน

เพื่อให้สะดวกในการทำความเข้าใจ และเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอใช้กรณีศึกษาซึ่งมีสถานะการณ์กำหนดให้ดังต่อไปนี้

เมื่อวิศวกร หรือผู้ออกแบบงานระบบได้รับแบบอาคารจากทางสถาปนิกแล้ว เพื่อให้ทำการออกแบบวางระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารดังกล่าว ซึ่งประกอบไปด้วย

- ห้องทำงานทั่วไป 5x6 เมตร จำนวน 3 ห้อง
- ห้องน้ำ ขนาด 3x3 เมตร จำนวน 2 ห้อง
- ทางเดินโดยรอบอาคาร คิดเป็นพื้นที่รวม 80 ตารางเมตร

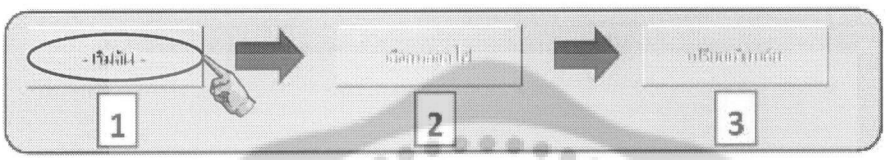
โดยที่หลอดไฟของระบบแสงสว่างเดิม กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

- ห้องทำงานทั่วไป แบบเดิมกำหนดใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์
- ห้องน้ำ แบบเดิมกำหนดใช้หลอดไส้ ขนาด 40 วัตต์
- ทางเดินโดยรอบอาคารแบบเดิมกำหนดใช้หลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์ขนาด 15 วัตต์

หากผู้ออกแบบต้องการวิเคราะห์ว่า การเปลี่ยนไปใช้หลอดแอลอีดีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบันแทนหลอดแบบเดิมในพื้นที่ดังกล่าว จะคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจ เสนอต่อเจ้าของโครงการในการพิจารณาต่อไป

หลังจากเปิดโปรแกรมและทำการตั้งค่าค่าคงที่เรียบร้อยแล้ว
(ในตัวอย่างนี้จะกำหนดค่าไฟฟ้าที่ 3 บาท/หน่วย , อัตราส่วนลดที่ 7% ต่อปี)

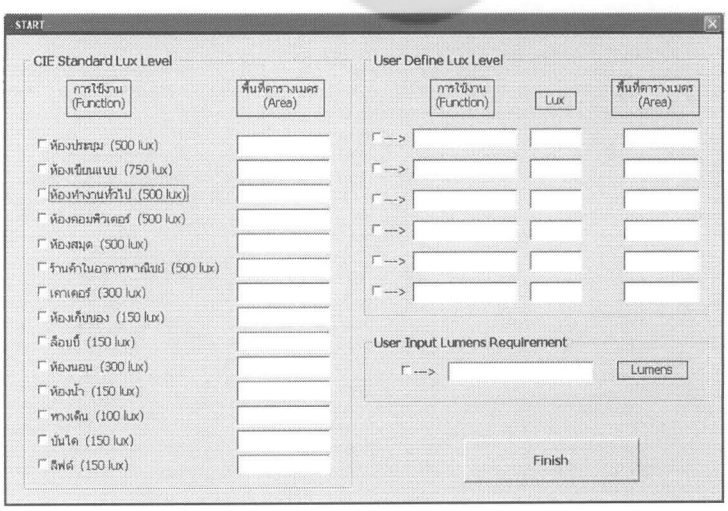
1. **<u>ขั้นตอนที่ 1</u>** คลิกที่ปุ่ม - เริ่มต้น – เพื่อเปิดแบบฟอร์มดังภาพประกอบ 20 ให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลพื้นที่ และฟังก์ชั่นการใช้งานของพื้นที่



ภาพประกอบ 19 แสดง 3 ขั้นตอนหลักในการใช้งาน

โดยแบบฟอร์มตามภาพประกอบที่ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

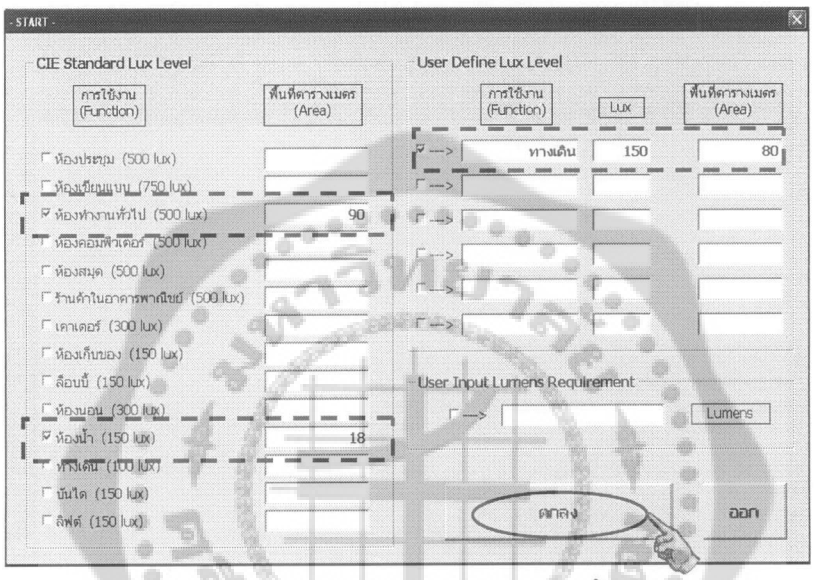
- CIE Standard Lux Level เป็นค่าระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE ของพื้นที่บางส่วนที่มีฟังก์ชั่นการใช้งานในการออกแบบบ่อยครั้ง เช่น ห้องนอน, ห้องน้ำ
- User Define Lux Level เป็นค่าระดับความสว่างที่ทางผู้ออกแบบกำหนดเอง หรืออาจจะใช้การอ้างอิงมาจากมาตรฐานอื่นที่ต้องการ
- User Input Lumens Requirement กรณีนี้จะไม่คำนึงถึงประเภทของการใช้งานพื้นที่ เป็นการกำหนดค่าฟลักซ์แสงสว่าง(lumens) โดยผู้ออกแบบกำหนดเองตามความต้องการที่เฉพาะเจาะจง



ภาพประกอบ 20 แบบฟอร์มในการป้อนข้อมูลในขั้นตอนที่ 1

หากผู้ออกแบบเลือกใช้มาตรฐาน CIE และ มีฟังก์ชั่นการใช้งานของพื้นที่ปรากฏในกรอบ CIE Standard Lux Level แล้ว ก็สามารเลือกพื้นที่การใช้งานและใส่ข้อมูลพื้นที่(ตารางเมตร) ได้เลย แต่หากผู้ออกแบบต้องการใช้มาตรฐานอื่น หรือการใช้งานอื่นนอกเหนือจากที่ได้กำหนดไว้ให้ ผู้ออกแบบต้องระบุการใช้งาน ระบุระดับความสว่าง (lux) และพื้นที่ลงในกรอบ User Define Lux Level หรือกำหนดฟลักซ์ส่องสว่างเอง

จากตัวอย่างกรณีศึกษา ให้ผู้ใช้งานกรอกข้อมูล ประเภทของการใช้งานพื้นที่ และ ขนาดพื้นที่ที่ใช้งาน ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 21 การระบุประเภทและขนาดพื้นที่ใช้งาน

จากภาพประกอบ 21 ทำเครื่องหมายถูกในกล่องหน้าชื่อประเภทของพื้นที่ใช้งานที่ต้องการ และระบุขนาดของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด เช่น

- ห้องทำงานทั่วไป 5x6 เมตร จำนวน 3 ห้อง = พื้นที่ 30x3 = 90 ตารางเมตร
- ห้องน้ำ ขนาด 3x3 เมตร จำนวน 2 ห้อง = พื้นที่ 9x2 = 18 ตารางเมตร
- ทางเดินโดยรอบอาคาร คิดเป็นพื้นที่รวม 80 ตารางเมตร

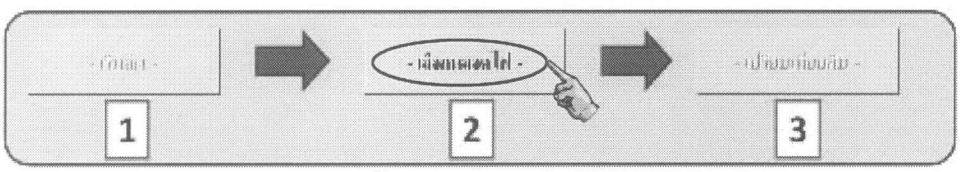
เมื่อระบุประเภทการใช้งานพื้นที่ และขนาดของพื้นที่เรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม -ตกลง- แล้ว โปรแกรมจะปิดหน้าต่างแบบฟอร์มลง พร้อมกับคำนวณฟลักซ์ส่องสว่างหรือค่าลูเมนรวมที่ต้องการในแต่ละประเภทพื้นที่การใช้งาน และรวมฟลักซ์ส่องสว่างที่ต้องการของทุกพื้นที่ให้ทราบ

10					
11	- START -				
12	Function	Area (square meter)	Standard	Lux	Lumens Requirement
13	ห้องทำงานทั่วไป	90.00	CIE	500.00	45,000.00
14	ห้องนอน	18.00	CIE	300.00	5,400.00
15	ทางเดิน	80.00	User	150.00	12,000.00
16	TOTAL				62,400.00
17					
18					

ภาพประกอบ 22 ผลการคำนวณลูเมนติดตั้งที่ต้องการ

โดยที่ค่าของฟลักซ์แสงสว่างที่ต้องการ (Lumens Requirement) โปรแกรมคำนวณมาจากการนำขนานของพื้นที่ (ตารางเมตร) คูณกับระดับความสว่าง (Lux = Lumen/ตารางเมตร)

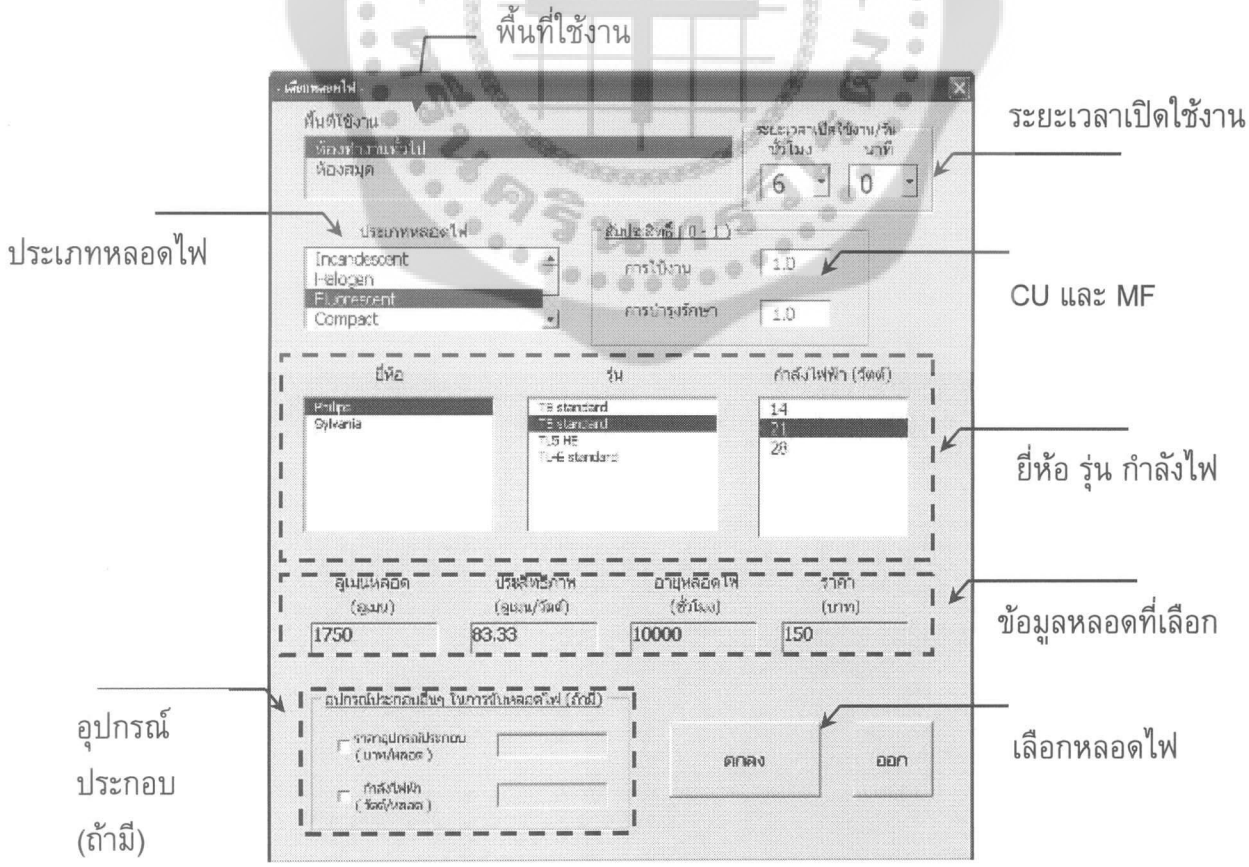
2. **<u>ขั้นตอนที่ 2</u>** คลิกที่ปุ่ม - เลือกหลอดไฟ – เพื่อเปิดแบบฟอร์มดังภาพประกอบ 24 เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของหลอดไฟแบบเดิมที่เลือกใช้งาน ในแต่ละพื้นที่



ภาพประกอบ 23 ขั้นตอน 2 การเลือกหลอดไฟแบบเดิม

โดยแบบฟอร์มในขั้นตอนนี้ ตามภาพประกอบ 24 แบ่งออกเป็นส่วนสำคัญต่างๆ ดังต่อไปนี้

- พื้นที่ใช้งาน เป็นส่วนที่ใช้แสดงชื่อประเภทของพื้นที่ในขณะนี้ ที่ให้ผู้ใช้งานต้องเลือกสเปคของหลอดไฟแบบเดิม ในส่วนนี้ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนได้ โดยต้องเลือกหลอดไฟให้กับประเภทของพื้นที่ต่างๆ ตามลำดับ จนครบทุกประเภทพื้นที่ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1



ภาพประกอบ 24 แสดงส่วนประกอบแบบฟอร์มในการป้อนข้อมูลขั้นตอนที่ 2

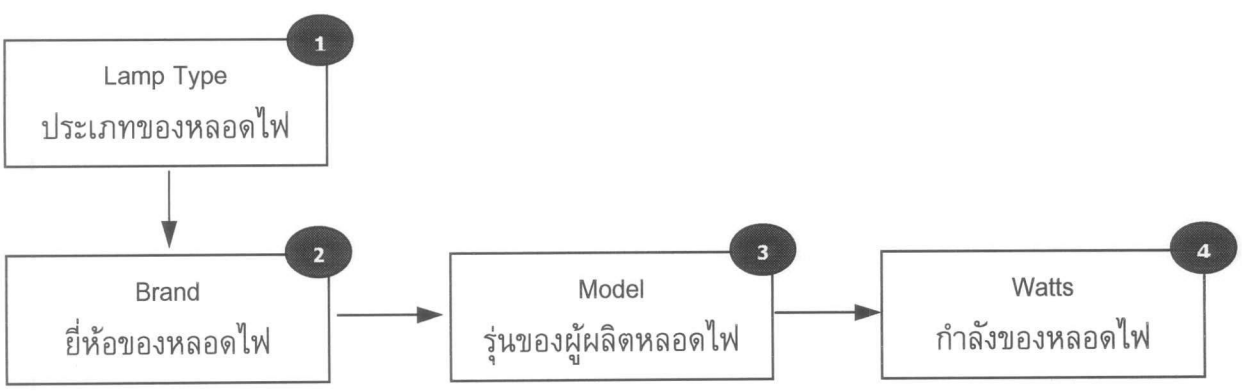
- ระยะเวลาเปิดใช้งาน เป็นระยะเวลาการเปิดใช้งานหลอดไฟของ Area Function นั้นๆ รวมเวลากันทั้งหมด เฉลี่ยระยะเวลาการเปิดใช้งานภายใน 1 วัน

- ประเภทหลอดไฟ คือ ประเภทของหลอดไฟ ที่ใช้ในงานระบบแสงสว่างภายในหลักๆ ได้แก่ หลอดไส้ , หลอดฮาโลเจน , หลอดฟลูออเรสเซนต์ , หลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์ , หลอดแอลอีดี หรือประเภทหลอดอื่นๆ (other) ที่ผู้ใช้เพิ่มเติมข้อมูลมา

- CU คือ Coefficient of Utilization (CU) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์,การใช้งาน เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของดวงโคม ที่จะให้แสงตกลงบนพื้นที่ทำงาน ภายใต้เงื่อนไขต่างๆได้ดีมากน้อยเพียงใด โดยค่า CU นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม ขนาดความกว้าง ยาวของห้อง ตำแหน่งความสูงในการติดตั้งควงโคม และค่าการสะท้อนแสงของบริเวณต่างๆ ภายในห้อง เช่น เพดาน ผนัง และ พื้น โดยค่า CU นี้สามารถหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิตดวงโคม หรือจากตารางการออกแบบแสงสว่าง ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1

- MF คือ Maintenance Factor (MF) หรือ ค่าการบำรุงรักษา คิดจากอาคารที่อยู่ในสถานที่ที่มีสภาพแวดล้อม สภาวะอากาศ สะอาดหรือสกปรก และมีการเปลี่ยนหลอดใหม่ตามสภาพค่าการเสื่อมของหลอดชนิดนั้นๆ โดยพิจารณาออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ บำรุงรักษาดี (0.75-0.85) , บำรุงรักษาปานกลาง (0.65-0.75) , บำรุงรักษาต่ำ (0.5-0.7)

- ยี่ห้อ , รุ่น และกำลังไฟของหลอด (Brand , Model , Watts) จะแสดงรายชื่อยี่ห้อของหลอดไฟทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ตามประเภทของหลอดไฟที่เลือก ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องคลิกเลือกที่ช่องประเภทของหลอดไฟ (Lamp type) ก่อน ในทางเดียวกันกับการเลือกรุ่นและวัตต์ของหลอดไฟที่ผู้ใช้งานต้องเลือกที่ ยี่ห้อก่อนรุ่น และเลือกรุ่นก่อนวัตต์เสมอ ตามลำดับการเลือกดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 25 แสดงลำดับการป้อนข้อมูลในขั้นตอนที่ 2

- ข้อมูลหลอดที่เลือก ในส่วนนี้จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับหลอดไฟที่เลือกมา ให้กับทางผู้ใช้ทราบ ประกอบไปด้วย ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ (ลูเมน) , ประสิทธิภาพของหลอด (ลูเมนต่อวัตต์) , อายุการใช้งานของหลอด (ชั่วโมง) , และราคาของหลอดไฟต่อ 1 หลอด (บาท)

โดยข้อมูลในส่วนนี้จะเชื่อมโยงและสัมพันธ์กับข้อมูลที่เก็บอยู่ในตารางฐานข้อมูลหลอดไฟตามที่ได้ชี้แจงรายละเอียดไปแล้วในหัวข้อ โครงสร้างตารางเก็บข้อมูล ซึ่งได้ถูกแบ่งตามประเภทของหลอดไฟ

- อุปกรณ์ประกอบ หมายถึง อุปกรณ์ประกอบเพิ่มเติมอื่นใดที่มีความจำเป็นในการขับหลอดไฟ (ต่อ 1 หลอดไฟ) ให้ใช้งานได้ ตัวอย่างเช่น บัลลาส , สตาร์ทเตอร์ เป็นต้น หรือในกรณีของหลอดแอลอีดี อาจเป็นอุปกรณ์พวกหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) หรือวงจร Converter เป็นต้น

ภาพประกอบ 26 การกำหนดราคาและกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ประกอบขับหลอด

ราคาอุปกรณ์ประกอบ คือ ราคาของอุปกรณ์ประกอบในการขับหลอด (บาทต่อ1หลอดไฟ) ตัวอย่างเช่น ในการขับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ ต้องใส่ราคาของบัลลาสและสตาร์ทเตอร์รวมกัน เป็นต้น

กำลังไฟฟ้า คือ กำลังไฟของอุปกรณ์ประกอบในการขับหลอด (วัตต์ต่อ 1 หลอดไฟ)

- ปุ่ม ตกลง (เลือกหลอดไฟ)

เมื่อผู้ใช้เลือกหลอดที่ออกแบบไว้เดิม และกรอกข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณครบถ้วนแล้ว ให้ผู้ใช้คลิกที่ปุ่มนี้เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลลงในชีท Report พร้อมทั้งโปรแกรมจะคำนวณจำนวนหลอดไฟที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ระดับความสว่างตามที่มาตรฐานกำหนด โดยเมื่อกดปุ่ม -ตกลง- แล้ว ผู้ใช้จะสังเกตได้ว่าในส่วนของกรอบพื้นที่ใช้งาน ชื่อประเภทของพื้นที่ใช้งานที่ผู้ใช้ได้เลือกหลอดไฟไปแล้วนั้น ได้หายไปแล้ว และผู้ใช้ก็ต้องระบุหลอดของพื้นที่ใช้งานถัดไปจนกว่าจะครบทุกพื้นที่

โดยโปรแกรมจะให้ผู้ใช้ระบุหลอดไฟให้ครบทุกประเภทพื้นที่ใช้งานก่อนจึงจะดำเนินการขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งเมื่อผู้ใช้ได้เลือกหลอดไฟให้กับทุกพื้นที่แล้ว โปรแกรมจะปิดหน้าต่างแบบฟอร์มนี้และกลับไปที่หน้า ชีท Report โดยจะมีข้อมูลที่คำนวณให้ผู้ใช้ทราบเบื้องต้น ดังภาพประกอบ 27

19	- Select Lamp -									
20	Function	Lamp Type	Brand	Model	Watts	Price	Equipment	Number of Lamp	Use Time/Day	Lamp Life
21	ห้องทำงานทั่วไป	Fluorescent	Philips	T8 standard	46.00	170.00	80.00	40.00	8.00	15,000.00
22	ห้องน้ำ	Incandescent	Philips	GLS clear	40.00	18.00	0.00	15.00	3.00	1,000.00
23	ทางเดิน	Compact	Philips	Tornado	15.00	180.00	0.00	30.00	10.00	6,000.00
24	Total Lamp and Equipment Cost	15,670.00								
25	Total Energy	21.02	KWh / day							

ภาพประกอบ 27 สรุปจำนวนหลอด,เงินลงทุน,และพลังไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดไฟแบบเดิม

ในชีท Report จะแสดงประเภทหลอดไฟที่ผู้ใช้เลือก ยี่ห้อ , รุ่น และกำลังไฟ ราคาหลอดไฟ , ราคาของอุปกรณ์ประกอบ , จำนวนหลอดไฟที่ต้องใช้ , ชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดไฟใน 1 วัน และอายุของหลอดไฟ

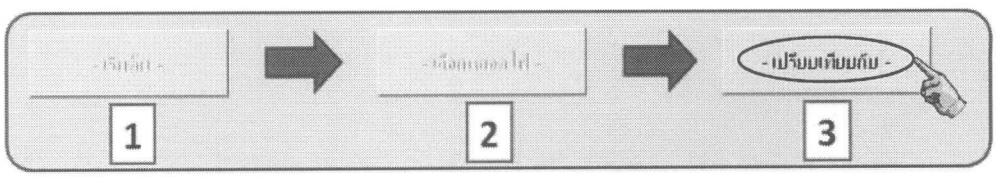
โดยจำนวนหลอดไฟที่ต้องใช้ คำนวณตามการออกแบบระบบแสงสว่างด้วยวิธีลูเมน ตามสมการดังต่อไปนี้

จำนวนหลอดไฟ x ลูเมนต่อหลอด = ฟลักซ์ส่องสว่างติดตั้ง

$$\text{ฟลักซ์ส่องสว่างติดตั้ง} = \frac{\text{ระดับความสว่าง (Lux) x ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)}}{\text{CU x MF}}$$

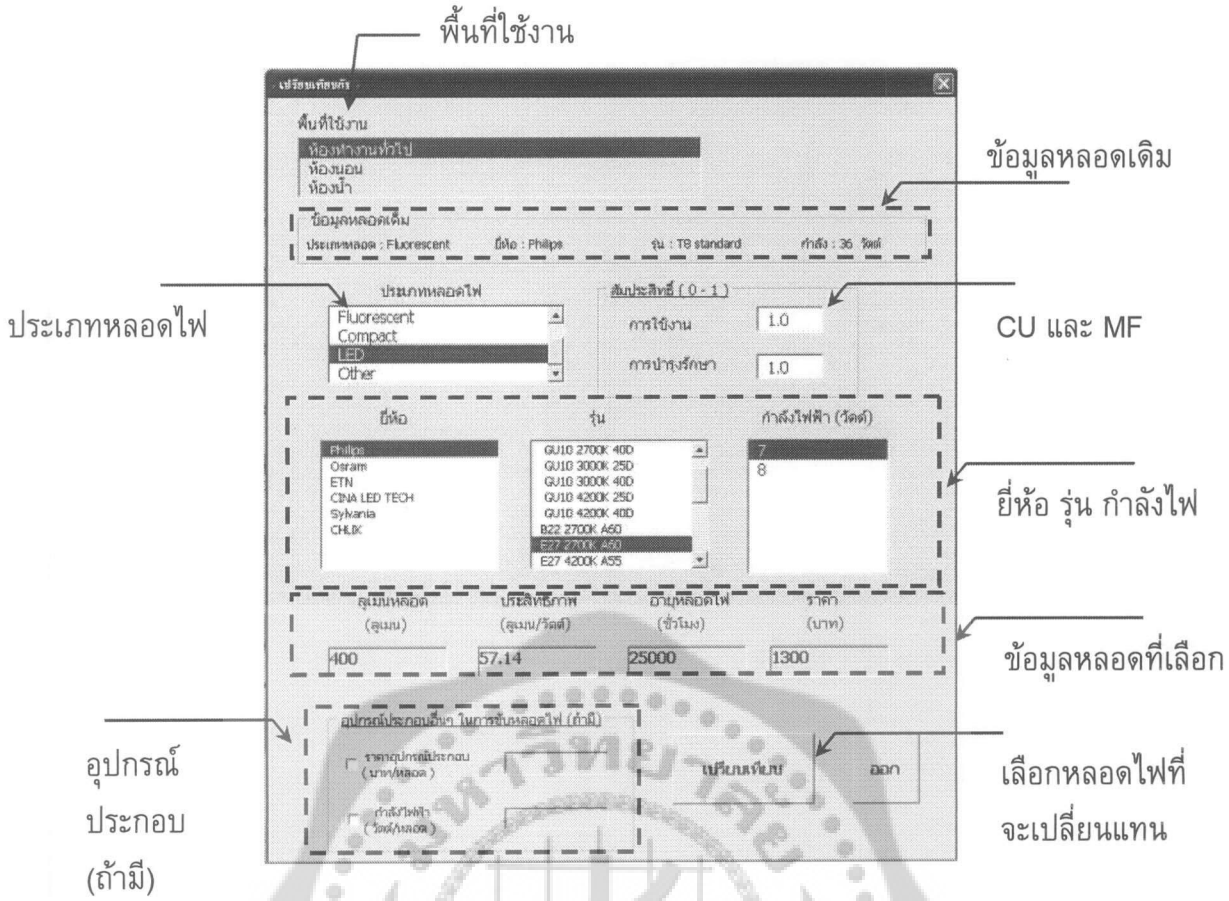
นอกจากนี้โปรแกรมจะแสดงค่าเงินลงทุนทั้งหมดสำหรับหลอดไฟและอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ในการขับหลอดตามระบุใน รวมราคาหลอดไฟ (Total Lamp and Equipment Cost) แต่ทั้งนี้ไม่รวมถึงค่าโคมไฟ , สวิทช์ , สายไฟ และท่อร้อยสายอื่นๆ รวมถึงแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าของทุกพื้นที่ใช้งานรวมกัน (Total Energy) ที่ใช้ไปต่อวัน มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันหรือหน่วยต่อวัน (KWh/day)

3. **ขั้นตอนที่** 3 คลิกที่ปุ่ม – เปรียบเทียบกับ – เพื่อเปิดแบบฟอร์มดังภาพประกอบ 29 ซึ่งให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของหลอดไฟแบบใหม่ที่ต้องการเปรียบเทียบกับแบบเดิม ในแต่ละพื้นที่



ภาพประกอบ 28 ขั้นตอน 3 การเลือกหลอดไฟเปรียบเทียบ

โดยแบบฟอร์มในขั้นตอนนี้จะคล้ายกันกับในขั้นตอนที่ 2 แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 แสดงส่วนประกอบแบบฟอร์มในการป้อนข้อมูลขั้นตอนที่ 3

โดยส่วนประกอบเกือบทั้งหมดในแบบฟอร์มของขั้นตอนที่ 3 นี้จะมีหน้าตาและขั้นตอนในการใช้งาน คล้ายคลึงกับแบบฟอร์มในส่วนของตอนเลือกหลอดไฟแบบเดิมในขั้นตอนที่ 2 จึงไม่ขออธิบายซ้ำอีก ต่างกันเพียงในขั้นตอนที่ 3 (เปรียบเทียบกับ) นี้ จะมีข้อมูลของหลอดแบบเดิมที่เลือกในขั้นตอนที่ 2 แสดงให้ผู้ใช้งานทราบ และจะไม่สามารถกำหนดระยะเวลาการเปิดใช้งานของหลอดไฟได้ เนื่องจากจะถูกกำหนดให้มีระยะเวลาในการเปิดใช้งานเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 (เลือกหลอดไฟ) ในแต่ละพื้นที่เพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบกันได้

- พื้นที่ใช้งาน เป็นส่วนที่ใช้แสดงชื่อประเภทของพื้นที่ในขณะนี้ ที่ให้ผู้ใช้งานต้องเลือกสเปคของหลอดไฟแบบใหม่ที่จะเปลี่ยนหรือต้องการเปรียบเทียบกับแบบเดิม ในส่วนนี้ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนได้ โดยต้องเลือกหลอดไฟให้กับประเภทของพื้นที่ต่างๆ ตามลำดับ จนครบทุกประเภทพื้นที่ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

- ปุ่ม (เปรียบเทียบ) เลือกหลอดไฟที่จะเปลี่ยนแทนหรือใช้เปรียบเทียบกับแบบเดิม

เมื่อผู้ใช้เลือกหลอดไฟที่จะเปลี่ยนแทนแบบเดิม และกรอกข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณครบถ้วนแล้ว ให้ผู้ใช้คลิกที่ปุ่มนี้เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลลงในชีท Report พร้อมทั้งโปรแกรมจะ

คำนวณจำนวนหลอดไฟแบบใหม่ที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้ได้ระดับความสว่างตามที่กำหนด โดยเมื่อกดปุ่ม –เปรียบเทียบ- แล้ว ผู้ใช้จะสังเกตได้ว่าในส่วนของกรอบพื้นที่ใช้งาน ชื่อประเภทของพื้นที่ใช้งานที่ผู้ใช้ได้เลือกเปลี่ยนหลอดไฟไปแล้วนั้น ได้หายไปแล้ว

โดยโปรแกรมจะให้ผู้ใช้เลือกเปลี่ยนหลอดไฟให้ครบทุกประเภทพื้นที่ก่อนจึงจะได้ข้อมูลครบที่ต้องการและสามารถดำเนินการขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งเมื่อผู้ใช้ได้เลือกเปลี่ยนหลอดไฟให้กับทุกพื้นที่แล้ว โปรแกรมจะปิดหน้าต่างแบบฟอร์มนี้ และกลับไปที่หน้า ชีท Report โดยจะมีข้อมูลที่คำนวณให้ผู้ใช้ทราบเบื้องต้น แบบเดียวกันกับในขั้นตอนที่ 2 ดังภาพประกอบ 30

27										
28	- Replace with -									
29	Function	Lamp Type	Brand	Model	Watts	Price	Equipment	Number of Lamp	Use Time/Day	Lamp Life
30	ห้องทำงานทั่วไป	Fluorescent	Philips	T8 standard	20.00	170.00	300.00	17.00	8.00	15,000.00
31	ห้องน้ำ	Fluorescent	Philips	T8 standard	19.00	170.00	350.00	1.00	3.00	15,000.00
32	ทางเดิน	Fluorescent	Philips	T8 standard	19.00	170.00	400.00	5.00	10.00	15,000.00
33	Total Lamp and Equipment Cost	11,360.00								
34	Total Energy	3.73	KWh / day							
35										

ภาพประกอบ 30 สรุปจำนวนหลอด,เงินลงทุน,และพลังไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนหลอดไฟใหม่

นอกจากนี้โปรแกรมจะแสดงค่าเงินลงทุนทั้งหมดในกรณีที่เปลี่ยนเป็นหลอดไฟที่ผู้ใช้เลือกใหม่นี้ สำหรับหลอดไฟและอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ขับหลอด (Total Lamp and Equipment Cost) รวมถึงแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าของทุกพื้นที่ (Total Energy) ที่ใช้ไปต่อวัน เมื่อเปลี่ยนหลอดไฟเป็นแบบใหม่นี้หน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันหรือหน่วยต่อวัน (KWh/day)

เมื่อผู้ใช้มาถึงขั้นตอนนี้แล้ว โปรแกรมก็จะได้ข้อมูลที่ครบถ้วนทั้ง 3 ส่วน ซึ่งก็คือ

1. ข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ใช้งาน ,
2. ข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาการใช้งาน , ข้อมูลเกี่ยวกับหลอดไฟแบบเดิม และ
3. ข้อมูลเกี่ยวกับหลอดไฟแบบใหม่ที่เปลี่ยนทดแทน หรือต้องการเปรียบเทียบกับหลอดไฟแบบเดิม

โดยเมื่อจบจากขั้นตอนที่ 3 แล้ว โปรแกรมจะคำนวณและพิมพ์ผลลัพธ์ค่าของ เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนทั้งหมดออกมาที่ ชีท Report โดยมีโครงสร้างในการแสดงผล และรายละเอียดตามลำดับดังต่อไปนี้

รูปแบบและรายละเอียดในการแสดงผล

ผลลัพธ์เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน ที่จะคำนวณจากข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับจากผู้ใช้ออกมามีด้วยกันทั้งหมด 2 แบบ คือแบบไม่ปรับค่าของเวลา ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) และ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on investment) กับแบบปรับค่าของเวลา ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net Present Value) และ อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (IRR)

โดยโปรแกรมจะคำนวณผลลัพธ์ออกมา 3 รูปแบบ ได้แก่

1. คิดผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

พื้นที่ใช้งาน	เงินลงทุน (บาท)	ประหยัดพลังงาน (หน่วย/ปี)	ประหยัดค่าไฟ (บาท/ปี)	Break-Even Point (ปี)	(เดือน)	(วัน)	ROI (%)
ห้องทำงานทั่วไป	40,656.00	367.92	1,103.76	36.00	10.00	0.00	2.71
ห้องนอน	24,948.00	394.20	1,182.60	21.00	1.00	4.00	4.74
ทางเดิน	8,316.00	2,332.35	6,997.05	1.00	2.00	7.00	84.14
รวมทุกพื้นที่ใช้งาน	73,920.00	3,094.47	9,283.41	7.00	11.00	16.00	12.56

ภาพประกอบ 31 แสดงระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน โดยคิดที่ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น

- คอลัมน์ พื้นที่ใช้งาน คือ ประเภทพื้นที่ใช้งานตามที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1
- คอลัมน์ เงินลงทุน (บาท) คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกในการเปลี่ยนเป็นหลอดแบบใหม่ หรือก็คือค่าใช้จ่ายของการจัดหาหลอดไฟแบบใหม่นั่นเอง
- คอลัมน์ ประหยัดพลังงาน (หน่วย/ปี) คือ จำนวนหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (KWh/year) เมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแบบใหม่
- คอลัมน์ ประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี) คือ จำนวนเงินจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี เมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแบบใหม่ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบเดิม
- คอลัมน์ Break-Even Point คือ ระยะเวลาคืนทุน
- คอลัมน์ ROI (%) คือ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (เปอเซ็นต์ต่อปี)
- บรรทัดสุดท้าย รวมทุกพื้นที่ใช้งาน คือ การรวมค่าของทุกพื้นที่ใช้งานทั้งหมดภายในโครงการที่ผู้ใช้งานกำหนดในขั้นตอนที่ 1 เข้าด้วยกัน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าระยะเวลาคืนทุน (Break-Even Point) และ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) เป็นภาพรวมของทุกพื้นที่ใช้งานร่วมกัน

2. คิดผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า และผลประโยชน์ที่ได้จากข้อได้เปรียบอายุใช้งานของหลอดไฟที่ยาวนานกว่าแบบเดิม แยกตามพื้นที่ใช้งาน

แยกวิเคราะห์ตาม
ประเภทพื้นที่ใช้งาน

รวมผลประโยชน์จากอายุหลอดไฟ ห้องทำงานทั่วไป

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ประหยัดค่าไฟ (บาท / ปี)	ผลประโยชน์จากอายุหลอด (บาท / ปี)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท / ปี)
ลงทุนปีแรก	40,656.00	-	-	-
1	-	1,103.76	-	1,103.76
2	-	1,103.76	-	1,103.76
3	-	1,103.76	-	1,103.76
4	-	1,103.76	-	1,103.76
5	-	1,103.76	-	1,103.76
6.00	-	1,103.76	-	1,103.76
7.00	-	1,103.76	2,415.00	3,518.76
8.00	-	1,103.76	-	1,103.76
9.00	-	1,103.76	-	1,103.76
10.00	-	1,103.76	-	1,103.76
11.00	-	1,103.76	-	1,103.76
12.00	-	1,103.76	-	1,103.76
13.00	-	1,103.76	-	1,103.76
รวม	24,948.00	26,017.20	43,680.00	69,697.20

Net Present Value : NPV	8,281.46	บาท
ที่อัตราส่วนลด	7.00	%
IRR (internal rate of return)	10.42	%
Break-Even Point	7.87	ปี
อายุใช้งานหลอด	50,000.00	ชั่วโมง
เวลาใช้งานต่อปี	2,190.00	ชั่วโมง/ปี
หมดอายุ	22.83	ปี

ผลลัพธ์เกณฑ์การ
ตัดสินใจในการลงทุน

ภาพประกอบ 32 แสดงผลของเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนที่ได้จากการคำนวณ โดยคิดที่ผลประโยชน์จากอายุการใช้งานของหลอดไฟด้วย

การที่คิดผลประโยชน์จากอายุของหลอดไฟด้วยนั้น จำเป็นต้องแยกคิดเป็นรายปี เนื่องจากผลประโยชน์สุทธิในแต่ละปีจะไม่คงที่เหมือนกับการคิดเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

- คอลัมน์ ปีที่ คือ ปีที่ของอายุโครงการ

- คอลัมน์ เงินลงทุน (บาท) คือ ค่าใช้จ่าย ในการลงทุนเปลี่ยนเป็นหลอดไฟแบบใหม่ โดยค่าลงทุนเริ่มแรกนี้จะเกิดขึ้นตั้งแต่ต้นปีที่ 1 ของการลงทุนเพื่อเริ่มใช้งาน

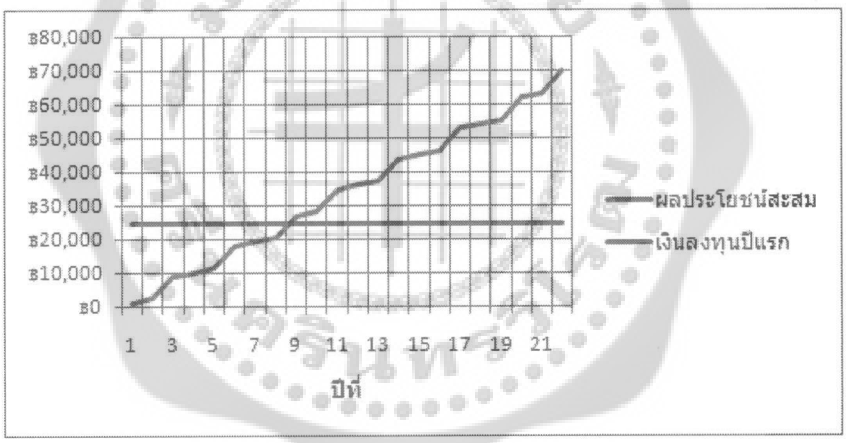
- คอลัมน์ ประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี) คือ ผลประโยชน์จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปี จากค่าพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแบบใหม่

- คอลัมน์ ผลประโยชน์จากอายุหลอด (บาท/ปี) คือ ผลประโยชน์จำนวนเงินที่ประหยัดได้ในปีนั้นๆ จากค่าเปลี่ยนหลอดไฟ เนื่องจากหลอดไฟแบบเดิมหมดอายุการใช้งาน

- คอลัมน์ ผลประโยชน์สุทธิ (บาท/ปี) คือ ผลประโยชน์รวมกันระหว่างจำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีจากค่าพลังงานไฟฟ้าและจำนวนเงินที่ประหยัดได้ในปีนั้นๆ จากค่าเปลี่ยนหลอดไฟ เนื่องจากหลอดไฟแบบเดิมหมดอายุ

โดยมีผลลัพธ์การคำนวณเกณฑ์การตัดสินใจการลงทุนประกอบไปด้วย (Break-Even Point,NPV,IRR) อยู่ที่ด้านท้ายของตาราง และสรุปอายุใช้งานของหลอดแบบใหม่,เวลาใช้งานรวมต่อปี อีกทั้งแสดงกราฟเงินลงทุนในปีแรกเทียบกับผลประโยชน์สุทธิสะสมในแต่ละปี

Net Present Value : NPV	8,281.46	บาท
ที่อัตราส่วนลด	7.00	%
IRR (internal rate of return)	10.42	%
Break-Even Point	7.87	ปี
อายุใช้งานหลอด	50,000.00	ชั่วโมง
เวลาใช้งานต่อปี	2,190.00	ชั่วโมง/ปี
หมดอายุ	22.83	ปี



ภาพประกอบ 33 แสดงผลของเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนที่ได้จากการคำนวณ

สาระสำคัญและการอธิบายผลที่ได้จากเกณฑ์การตัดสินใจ

เพื่อการทำความเข้าใจที่ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างนี้สมมติเป็นระบบส่องสว่างภายในโรงแรมแห่งหนึ่งที่มีห้องพักชั้นละ 10 ห้อง จำนวน 5 ชั้น และทางเดินหน้าห้องพักที่ต้องให้แสงสว่างเกือบตลอดเวลา ต้องการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อตัดสินใจในการลงทุน เมื่อใช้มาตรฐานความสว่างของ CIE และจะเปลี่ยนไปใช้หลอดแอลอีดีในการส่องสว่าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตัวอย่างพื้นที่ใช้งานดังนี้ (ข้อมูลส่วนที่ 1)

- ห้องนอน 5x5 เมตร ชั้นละ 10 ห้อง 5 ชั้น จำนวน 50 ห้อง
- ทางเดินหน้าห้องพัก ชั้นละ 60 ตารางเมตร 5 ชั้น คิดเป็นพื้นที่รวม 300 ตารางเมตร

โดยที่หลอดไฟของระบบแสงสว่างเดิม กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ (ข้อมูลส่วนที่ 2)

- ห้องนอน แบบเดิมกำหนดใช้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ Philips T8 Standard ขนาด 18 วัตต์

เปิดทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน

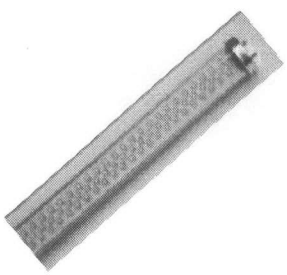
- ทางเดินหน้าห้องพัก แบบเดิมกำหนดใช้

หลอด Philips GLS Softone ขนาด 40 วัตต์

เปิดทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

ต้องการเปลี่ยนเป็นหลอดไฟใหม่ ดังต่อไปนี้ (ข้อมูลส่วนที่ 3)

- ห้องนอน แบบใหม่กำหนดใช้



หลอดแอลอีดี ETN LED T10 Tube ขนาด 20 วัตต์

เปิดทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน

- ทางเดินหน้าห้องพัก แบบใหม่กำหนดใช้

หลอด Philips Master LED Bulb E27 2700K A55 ขนาด 7 วัตต์

เปิดทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อผู้ใช้ได้ระบุข้อมูลทั้ง 3 ส่วน ตามลำดับขั้นตอนและวิธีการที่ได้เสนอไปแล้วนั้น โปรแกรมจะคำนวณผลลัพธ์เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน แสดงต่อลงมาในหน้าเดียวกัน ในส่วนของ Report มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Report Function	Initial Investment Cost (Baht)
ห้องนอน	139,720.00
ทางเดิน	95,778.00
Project Total	235,498.00

ภาพประกอบ 34 รายละเอียดข้อมูลภายในตาราง Report (1)

Initial Investment Cost หมายถึง เงินลงทุนเริ่มต้น จากตัวอย่างนี้ ที่ห้องนอนหากจะเปลี่ยนจากฟลูออเรสเซ็นต์ธรรมดาเป็นหลอดแอลอีดี ETN LED T10 Tube ขนาด 20 วัตต์ แล้วจะต้องเพิ่มเงินอีก 139,720 บาท เพื่อให้ได้ความสว่างหรือลูเมน Output ที่เท่ากัน ในทางเดียวกัน บริเวณทางเดินหน้าห้องพักหากจะเปลี่ยนเป็นหลอด Philips Master LED Bulb E27 2700K A55 ขนาด 7 วัตต์ จะต้องเพิ่มเงินอีก 95,778 บาท หรือในอีกความหมายหนึ่งก็คือส่วนต่างเงินลงทุนของระบบส่องสว่างแบบเดิม กับระบบส่องสว่างแบบใหม่นั่นเอง

Report Function	Energy save unit (KWh/year)	Energy save cost (Baht/year)
ห้องนอน	6,962.01	20,886.03
ทางเดิน	12,066.90	36,200.70
Project Total	19,028.91	57,086.73

ภาพประกอบ 35 รายละเอียดข้อมูลภายในตาราง Report (2)

Energy save unit , Energy save cost หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ จากตัวอย่างนี้ ที่ห้องนอนหากตัดสินใจเปลี่ยนเป็นระบบหลอดแอลอีดีแล้วจะทำให้ประหยัดไฟได้ 6,962.01 หน่วยต่อปี หรือคิดเป็นจำนวนเงิน (หากกำหนดค่าไฟฟ้าโดยรวมที่ 3 บาทต่อหน่วย) เท่ากับ 20,886.03 บาทต่อปี ในทางเดียวกันกับบริเวณทางเดินหน้าห้องพัก ที่เมื่อตัดสินใจเปลี่ยนเป็นระบบหลอดแอลอีดีแล้วจะทำให้ประหยัดไฟได้ 12,066.90 หน่วย เท่ากับ 36,200.70 บาทต่อปี หรือในอีกความหมายหนึ่งก็คือส่วนต่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบส่องสว่างแบบเดิม กับระบบส่องสว่างแบบใหม่นั่นเอง

Report Function	Payback Period (Year)	(Month)	(Days)	ROI (%)
ห้องนอน	6.00	8.00	8.00	14.95
ทางเดิน	2.00	7.00	22.00	37.80
Project Total	4.00	1.00	15.00	24.24

ภาพประกอบ 36 รายละเอียดข้อมูลภายในตาราง Report (3)

ในส่วนของตาราง Report นี้โปรแกรมจะคำนวณเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุน 2 เกณฑ์ ประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ซึ่งจากตัวอย่างนี้ ที่ห้องนอนหากตัดสินใจเปลี่ยนเป็นระบบหลอดแอลอีดีแล้ว จะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 ปี 8 เดือน 8 วัน หรือในความหมายเดียวกันว่า ที่ระยะเวลาดังกล่าว (6 ปี 8 เดือน 8 วัน) ระบบไฟแอลอีดีของห้องนอนจะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้เป็นจำนวนเงินเท่ากับเงินลงทุนในการเปลี่ยนมาใช้ระบบไฟแอลอีดีนั่นเอง

เกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุนตัวที่ 2 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ที่แสดงในตาราง ซึ่งจากตัวอย่างนี้ ที่ห้องนอนหากตัดสินใจเปลี่ยนเป็นระบบหลอดแอลอีดีแล้ว จะมีค่า ROI เท่ากับ 14.95 เปอร์เซ็นต์นั้น ตัวเลขนี้บอกให้เราทราบว่า เมื่อลงทุนไป 100 บาท จะได้ผลประโยชน์สุทธิจากการลงทุน 14.95 บาทต่อปี หรือก็คือค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 20,886.03 บาทต่อปี (ผลประโยชน์สุทธิจากค่าไฟฟ้าเท่ากันทุกปี) เทียบกับเงินลงทุน 139,720 บาท นั่นเอง

ในส่วนของ Project Total จะเป็นการรวมกันของทุกพื้นที่ใช้งาน ในตัวอย่างนี้จะเป็นการรวมกันระหว่างห้องนอน และบริเวณทางเดินหน้าห้องพัก เพื่อมองในภาพรวมของทั้งโครงการ

แต่สิ่งที่สำคัญในส่วนของตาราง Report นี้จะเป็นข้อมูลที่คำนวณจากผลประโยชน์จากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟที่เปลี่ยนใหม่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงค่าบำรุงรักษาและอายุการใช้งานของหลอดไฟ และไม่คำนึงถึงค่าของเงินในอนาคต หรือให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินจำนวนเท่ากันในปัจจุบัน ซึ่งตามหลักความเป็นจริงแล้วการลงทุนระยะยาวเช่นนี้ เราควรจะพิจารณาถึงมูลค่าของเงินในอนาคตและอายุใช้งานของหลอดไฟด้วย ดังที่จะแสดงในส่วนของ Include Lamp Replacement Cost

ห้องนอน

Include Lamp Replacement Cost ห้องนอน

Year	Initial Investment Cost (Baht)	Replacement cost (Baht/year)	Energy save cost (Baht/year)	Lamp Life Benefit (Baht/year)	Net Benefit (Baht/year)
1st	139,720.00	-	20,886.03	-	-118,833.97
2nd	-	-	20,886.03	-	20,886.03
3rd	-	-	20,886.03	-	20,886.03
4th	-	-	20,886.03	-	20,886.03
5th	-	-	20,886.03	-	20,886.03
6th	-	-	20,886.03	-	20,886.03
7th	-	-	20,886.03	43,820.00	64,706.03
8th	-	-	20,886.03	-	20,886.03
9th	-	-	20,886.03	-	20,886.03
10th	-	-	20,886.03	-	20,886.03
Total	139,720.00	0.00	208,860.30	43,820.00	112,960.30

Payback Period	=	12.00	(Years)	4.00	(Month)	12.00	(Days)
ROI	=	8.08	(%)				
NPV	=	34,263.63	at	7.00	(%) Discount Rate		
IRR	=	11.69	(%)				

ภาพประกอบ 37 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (1)

ในส่วนของตาราง Report ที่ได้กล่าวไปข้างต้นนั้น จะมีเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน 2 เกณฑ์ คือ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) และอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) เท่านั้น ซึ่งทั้งสองเกณฑ์มีข้อบกพร่องคือ ไม่คิดผลมูลค่าของเงินในอนาคต และไม่คำนึงถึงอายุการใช้งานของหลอดไฟ แต่ในการลงทุนเกี่ยวกับระบบแสงสว่างด้วยหลอดแอลอีดีนั้นเป็นการลงทุนที่ใช้ระยะเวลานาน จึงควรพิจารณาถึงมูลค่าของเงินในอนาคตด้วย อีกข้อสำคัญหนึ่งที่เป็นจุดเด่นของแอลอีดีคืออายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไส้ และหลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นที่จำนวนชั่วโมงเปิดใช้งานต่อวันเท่ากัน หลอดไส้หรือหลอดคอมแพ็กจึงต้องเปลี่ยนก่อนหลอดแอลอีดี เป็นต้น

ดังนั้น ด้วยปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้ผลประโยชน์สุทธิที่เกิดขึ้นในแต่ละปีแตกต่างกันไปและจะต้องคำนวณเป็นปีต่อปีไป จึงเป็นที่มาของรายงานผลตาราง Include Lamp Replacement Cost ซึ่งมีสาระสำคัญดังต่อไปนี้

Year	Initial Investment Cost (Baht)
1st	139,720.00
2nd	-
3rd	-
4th	-
5th	-
6th	-
7th	-
8th	-
9th	-
10th	-
Total	139,720.00

ในส่วนคอลัมน์แรก Year หมายถึงปีที่ของโครงการ จากตัวอย่างนี้ได้กำหนดระยะเวลาที่จะพิจารณาเท่ากับ 10 ปี ถัดมาคือคอลัมน์ Initial Investment Cost เป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุนเปลี่ยนมาใช้ระบบแอลอีดี ซึ่งจะมีเฉพาะปีแรกเท่านั้น

ภาพประกอบ 38 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (2)

Year	Replacement cost (Baht/year)
1st	-
2nd	-
3rd	-
4th	-
5th	-
6th	-
7th	-
8th	-
9th	-
10th	-
Total	0.00

ภาพประกอบ 39 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (3)

ในส่วนคอลัมน์ Replacement cost หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอดไฟแบบใหม่เนื่องจากอายุหลอดไฟหมดลงจากการใช้งาน ซึ่งจากตัวอย่างนี้เป็นห้องนอน แบบใหม่ที่กำหนดให้ใช้หลอดแอลอีดี ETN LED T10 Tube ขนาด 20 วัตต์ เปิดทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็น 6x365 = 2,190 ชั่วโมงต่อปี และเท่ากับ 21,900 ชั่วโมงในเวลา 10 ปี โดยจากฐานข้อมูลของหลอดแอลอีดี ETN LED T10 Tube จะมีอายุใช้งานเกิน 21,900 ชั่วโมงขึ้นไป จึงไม่มีค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนหลอดในส่วนนี้

Year	Energy save cost (Baht/year)
1st	20,886.03
2nd	20,886.03
3rd	20,886.03
4th	20,886.03
5th	20,886.03
6th	20,886.03
7th	20,886.03
8th	20,886.03
9th	20,886.03
10th	20,886.03
Total	208,860.30

ภาพประกอบ 40 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (4)

ในส่วนคอลัมน์ Energy save cost หมายถึง ผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าในการลงทุนใช้ระบบแสงสว่างแบบใหม่ โดยมีสมมติฐานที่ว่าระยะเวลาเปิดใช้งานเฉลี่ยของหลอดไฟและค่าไฟฟ้าเท่ากันตลอดทั้งระยะเวลาของโครงการ จากตัวอย่างคือเมื่อตัดสินใจลงทุนเปลี่ยนไปใช้หลอดแอลอีดี ETN LED T10 Tube ขนาด 20 วัตต์แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ Philips T8 Standard ขนาด 18 วัตต์ แล้วจะประหยัดค่าไฟได้ปีละ 20,886.03 บาท

Year	Lamp Life Benefit (Baht/year)
1st	-
2nd	-
3rd	-
4th	-
5th	-
6th	-
7th	43,820.00
8th	-
9th	-
10th	-
Total	43,820.00

ภาพประกอบ 41 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (5)

ในส่วนคอลัมน์ Lamp Life Benefit หมายถึง ผลประโยชน์ที่ได้เนื่องจากหลอดไฟแบบเดิมหมดอายุลงจากการใช้งานและต้องเปลี่ยนใหม่ ซึ่งจากตัวอย่างนี้เป็นห้องนอน แบบเดิมที่กำหนดให้ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ Philips T8 Standard ขนาด 18 วัตต์ เปิดทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็น 6x365 = 2,190 ชั่วโมงต่อปี และเท่ากับ 21,900 ชั่วโมงในเวลา 10 ปี โดยจากฐานข้อมูลของหลอดฟลูออเรสเซนต์ Philips T8 Standard ขนาด 18 วัตต์ มีอายุใช้ที่ 15,000 ชั่วโมง ดังนั้นจาก 2,190 ชั่วโมงต่อปี เพราะฉะนั้น ในระหว่างปีที่ 7 (2,190x7=15,330 ชม.) หลอดไฟจะหมดอายุใช้งาน จึงต้องทำการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ Philips T8 Standard ขนาด 18 วัตต์ ในปีนั้นๆ

Year	Net Benefit (Baht/year)
1st	-118,833.97
2nd	20,886.03
3rd	20,886.03
4th	20,886.03
5th	20,886.03
6th	20,886.03
7th	64,706.03
8th	20,886.03
9th	20,886.03
10th	20,886.03
Total	112,960.30

ภาพประกอบ 42 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของห้องนอน (6)

ในส่วนคอลัมน์ Net Benefit หมายถึง ผลประโยชน์สุทธิในแต่ละปี ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (NPV) เมื่อสิ้นสุดโครงการ จากตัวอย่างในตาราง ปีที่ 1 ผลประโยชน์สุทธิติดลบจากการลงทุนเริ่มแรก และในปีที่ 7 ผลประโยชน์สุทธิมีค่าสูงกว่าในปีอื่นๆ เนื่องจากการหมดอายุใช้งานของหลอดไฟแบบเดิมนั่นเอง

Payback Period	=	12.00	(Years)		4.00		(Month)	12.00	(Days)
ROI	=	8.08	(%)						
NPV	=	34,263.63		at	7.00	(%)	Discount Rate		
IRR	=	11.69	(%)						

ภาพประกอบ 43 สรุปผลเกณฑ์การตัดสินใจที่คำนวณได้ ของห้องนอน

ในส่วนสรุปผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนทั้ง 4 เกณฑ์ของโครงการเปลี่ยนระบบแสงสว่างห้องนอนจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 Standard เป็นหลอดแอลอีดีนั้น สรุปดังนี้

1. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการอยู่ 12 ปี 4 เดือน 12 วัน ซึ่งยาวนานกว่าอายุของโครงการ
2. อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนอยู่ที่ร้อยละ 8.08
3. มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิของโครงการ อยู่ที่ 34,263.63 บาท
4. อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุนที่ร้อยละ 11.69

จากภาพประกอบ 42 จะสังเกตได้ว่าผลประโยชน์สุทธิของโครงการรวมทั้ง 10 ปี แล้วอยู่ที่ 112,960.30 บาทนั้น แต่เมื่อปรับมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน ที่อัตราส่วนลด 7% แล้ว จะทำให้ได้มูลค่าปัจจุบันที่ 34,263.63 บาท เท่านั้น

ค่าร้อยละของอัตราผลตอบแทนภายใน หรือ IRR = 11.69% นั้น ก็คือค่าอัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV เท่ากับศูนย์ โดยเป็นอัตราที่บอกให้นักลงทุนทราบว่า เมื่อเขาลงทุนในโครงการนี้แล้ว ต้องได้รับอัตราผลตอบแทนเท่าใด จึงจะคุ้มค่ากับค่าเสียโอกาสของทุน ตัวอย่างเช่น จากโครงการนี้ซึ่งเปลี่ยนระบบแสงสว่างห้องนอนจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 Standard เป็นหลอดแอลอีดี มี IRR = 11.69% ดังนั้น อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมต้องต่ำกว่า 11.69% จึงจะเหมาะสมแก่การลงทุน เป็นต้น

ทางเดินหน้าห้องพัก

Include Lamp Replacement Cost ทางเดิน

Year	Initial Investment Cost (Baht)	Replacement cost (Baht/year)	Energy save cost (Baht/year)	Lamp Life Benefit (Baht/year)	Net Benefit (Baht/year)
1st	95,778.00	-	36,200.70	6,888.00	-52,689.30
2nd	-	-	36,200.70	6,888.00	43,088.70
3rd	-	-	36,200.70	8,610.00	44,810.70
4th	-	-	36,200.70	6,888.00	43,088.70
5th	-	-	36,200.70	6,888.00	43,088.70
6th	-	97,500.00	36,200.70	8,610.00	-52,689.30
7th	-	-	36,200.70	6,888.00	43,088.70
8th	-	-	36,200.70	8,610.00	44,810.70
9th	-	-	36,200.70	6,888.00	43,088.70
10th	-	-	36,200.70	6,888.00	43,088.70
Total	95,778.00	97,500.00	362,007.00	74,046.00	242,775.00

Payback Period	=	3.00	(Years)		11.00		(Month)	10.00	(Days)
ROI	=	25.35	(%)						
NPV	=	145,445.96		at	7.00	(%)	Discount Rate		
IRR	=	38.00	(%)						

ภาพประกอบ 44 ข้อมูลใน Include Lamp Replacement Cost ของทางเดินหน้าห้องพัก (1)

จากภาพประกอบ 44 จะสังเกตได้ว่าการลงทุนเปลี่ยนระบบแสงสว่างที่บริเวณทางเดินหน้าห้องพัก พื้นที่ 300 ตารางเมตร เปิดใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน จากหลอดไส้ Philips GLS Softone ขนาด 40 วัตต์ เป็นหลอดแอลอีดี Philips Master LED Bulb E27 2700K A55 ขนาด 7 วัตต์ สามารถให้ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3 ปี 11 เดือน อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนที่ 25.35% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 145,445.96 บาท ที่อัตราส่วนลด 7% และอัตราผลตอบแทนภายในที่ 38% ซึ่งผลลัพธ์ของเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุนทั้ง 4 เกณฑ์ ล้วนให้ผลที่ดีกว่าการลงทุนในการเปลี่ยนระบบแสงสว่างที่บริเวณห้องนอนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแอลอีดี

ทั้งนี้เนื่องมาจาก หลอดไส้หรือ GLS มีข้อด้อยหลายประการเช่น ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างต่ำ ทำให้กินไฟมาก สังเกตได้จากผลประโยชน์ของค่าไฟที่ประหยัดได้ถึง 36,200.70 บาทต่อปี เมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอดแอลอีดีแทน ข้อด้อยที่สำคัญอีกประการของหลอด GLS คือมีอายุใช้งานสั้น จากตัวอย่างนี้หลอด Philips GLS Softone ขนาด 40 วัตต์ มีอายุใช้งานเพียง 1,000 ชั่วโมง เมื่อเปิดใช้งานที่บริเวณทางเดินหน้าห้องพักโรงแรม ซึ่งต้องเปิดถึงวันละ 12 ชั่วโมง เท่ากับ 1,000/12 = 83.3 วัน หรือประมาณเกือบ 3 เดือนเท่านั้น ผลประโยชน์ที่ได้นี้แสดงให้เห็นในคอลัมน์ Lamp Life Benefit ซึ่งหากทางโรมแรมเลือกใช้หลอด Philips GLS Softone ขนาด 40 วัตต์ จะต้องเสียค่าเปลี่ยนหลอดใหม่ถึงปีละกว่า 6,888 บาท

ทุกพื้นที่รวมกัน (ห้องนอน + ทางเดินหน้าห้องพัก)

SUB TOTAL

Year	Initial Investment Cost (Baht)	Replacement cost (Baht/year)	Energy save cost (Baht/year)	Lamp Life Benefit (Baht/year)	Net Benefit (Baht/year)
1st	235,498.00	0.00	57,086.73	6,888.00	-171,523.27
2nd	-	0.00	57,086.73	6,888.00	63,974.73
3rd	-	0.00	57,086.73	8,610.00	65,696.73
4th	-	0.00	57,086.73	6,888.00	63,974.73
5th	-	0.00	57,086.73	6,888.00	63,974.73
6th	-	97,500.00	57,086.73	8,610.00	-31,803.27
7th	-	0.00	57,086.73	50,708.00	107,794.73
8th	-	0.00	57,086.73	8,610.00	65,696.73
9th	-	0.00	57,086.73	6,888.00	63,974.73
10th	-	0.00	57,086.73	6,888.00	63,974.73
Total	235,498.00	97,500.00	570,867.30	117,866.00	355,735.30

Payback Period	=	6.00	(Years)	7.00	(Month)	13.00	(Days)
ROI	=	15.11	(%)				
NPV	=	179,709.49		at 7.00	(%) Discount Rate		
IRR	=	21.82	(%)				

ภาพประกอบ 45 ข้อมูลรายงาน SUB TOTAL ของตัวอย่างโรงแรม

ตาราง SUB TOTAL เป็นการวิเคราะห์รวมกันของทุกพื้นที่ใช้งาน ที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลมาในขั้นตอนแรก จากตัวอย่างของโรงแรมนี้ จะเป็นการรวมกันของพื้นที่ห้องนอนและพื้นที่ทางเดินหน้าห้องพัก เป็นต้น เพื่อให้เห็นภาพรวมของทั้งโครงการ โดยมีรูปแบบการแสดงผลเช่นเดียวกัน

จากตัวอย่างนี้ อาจไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในตารางนี้ เนื่องจากเจ้าของอาจเลือกลงทุนเฉพาะบริเวณทางเดินหน้าห้องพักเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากในส่วนของห้องนอนเกณฑ์ที่คำนวณได้ชี้ไปในทิศทางที่ยังไม่คุ้มค่าในการลงทุน เป็นต้น

ข้อจำกัดในการคำนวณหาเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

ในการคำนวณหาเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนทั้ง 4 เกณฑ์ของโปรแกรมนั้นได้มีข้อจำกัดบางประการดังต่อไปนี้

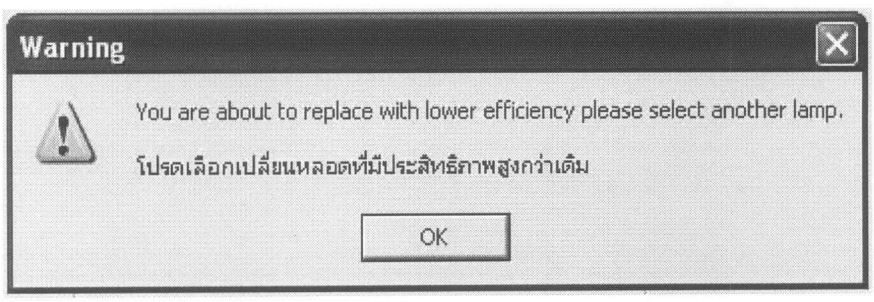
- หากหลอดไฟที่เปลี่ยนทดแทน มีประสิทธิภาพ (ลูเมนต่อวัตต์) สูงกว่าเดิม ในราคาที่ถูกกว่าเดิมด้วย ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของหลอดไฟและราคาหลอดประเภทต่างๆของผู้วิจัย ไม่พบกรณีดังกล่าว แต่มีความเป็นไปได้ในอนาคตหากผู้ใช้งานเพิ่มเติม ปรับปรุง ข้อมูลหลอดไฟใหม่ เช่น หลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์อาจจะถูกกว่าหลอดไส้ ซึ่งถ้าโปรแกรมพบว่าหลอดไฟที่เลือกเปลี่ยนราคาถูกกว่าและประสิทธิภาพดีกว่าด้วยแล้ว โปรแกรมจะไม่คำนวณเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนให้ และจบการทำงานโดยแสดงข้อความดังภาพประกอบ 46

The replace lamp is more efficiency and total cost is lower
หลอดที่คุณเลือกเปลี่ยนมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยที่ราคารวมถูกกว่าแบบเดิม

ภาพประกอบ 46 หลอดที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพดีกว่าในราคาที่ถูกกว่า

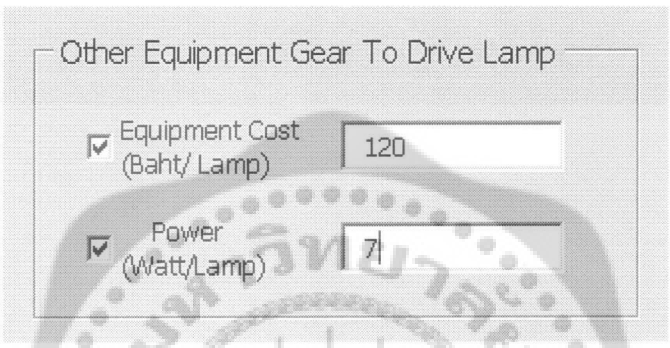
การที่หลอดไฟมีประสิทธิภาพดีกว่าและราคาถูกกว่า ทำให้ไม่สามารถหาค่าเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน เช่น ระยะเวลาคืนทุนได้ หรือถึงหาค่าได้ก็ไม่สามารถอธิบายความหมายได้ เนื่องจากผู้ใช้งานก็ควรจะเลือกใช้หลอดที่มีประสิทธิภาพดีกว่าในราคาที่ถูกกว่าอยู่แล้ว

- ในการเปรียบเทียบหลอดไฟที่เปลี่ยนทดแทนต้องเลือกที่มีประสิทธิภาพ (ลูเมนต่อวัตต์) สูงกว่าเดิมเสมอ เพราะถ้าหากเลือกใช้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างต่ำกว่าเดิม ก็จะไม่เกิดผลประโยชน์ใดๆในการลงทุนขึ้นมา ดังนั้นหากผู้ใช้งานเลือกหลอดที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเดิม โปรแกรมจะขึ้นข้อความเตือนดังภาพประกอบ 47 เพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกเปลี่ยนเป็นหลอดประเภทอื่นหรือรุ่นอื่น ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิมในการเปรียบเทียบแทน



ภาพประกอบ 47 คำเตือนให้เปลี่ยนหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม

- การคำนวณผลประโยชน์ที่ได้เนื่องจากหลอดไฟแบบเดิมหมดอายุลงจากการใช้งานในส่วนคอลัมน์ Lamp Life Benefit ตามภาพประกอบ 44 หรือ 45 นั้น เป็นผลประโยชน์จากราคาของตัวหลอดไฟเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงอุปกรณ์ประกอบ (Other equipment gear to drive lamp) ในการขับหลอดไฟสำหรับหลอดไฟบางประเภท ตัวอย่างเช่นหลอดไฟประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่จำเป็นต้องมีบัลลาสและสตาร์ทเตอร์ซื้อแยกต่างหากจากตัวหลอด หรือในกรณีของหลอดแอลอีดีบางประเภทที่ไม่ได้ออกแบบมาให้สามารถทดแทนของเดิมได้ทันที ก็จะมีอุปกรณ์ประกอบเช่น หม้อแปลงลดแรงดันหรือวงจร converter ในการแปลงกระแส เป็นต้น



ภาพประกอบ 48 ตัวอย่างอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จำเป็นเพื่อขับหลอดฟลูออเรสเซนต์

ตัวอย่างเช่น ในกรณีหลอดฟลูออเรสเซนต์ยาว 120 เซนติเมตร ขนาด 36 วัตต์ทั่วๆไป ผู้ใช้งานอาจเติมข้อมูลในส่วนอุปกรณ์ประกอบดังภาพประกอบ 47 ซึ่งมีที่มาจากราคาของบัลลาสประมาณ 110 บาท บวกกับสตาร์ทเตอร์ 10 บาท เท่ากับ 120 บาท ต่อหลอดไฟ 1 หลอด และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่อุปกรณ์ประกอบในการขับหลอดอีก 7 วัตต์

หากสมมติในพื้นที่ต้องการใช้งานหลอดไฟเพียง 1 หลอดและราคาของหลอดฟลูออเรสเซนต์เท่ากับ 140 บาท แล้ว เงินลงทุนเริ่มต้นจะเท่ากับราคาของหลอดรวมกับอุปกรณ์ประกอบ เท่ากับ 140+120 = 260 บาทต่อ 1 หลอด

แต่เมื่อหลอดดังกล่าวนี้หมดอายุใช้งานลงในปีใดก็ตาม ผลประโยชน์ (Lamp life benefit) ในกรณีเปลี่ยนหลอดที่เป็นหลอดเดิม หรือค่าใช้จ่าย (Replacement cost) ในกรณีเปลี่ยนหลอดที่ต้องการเปรียบเทียบกับหลอดเดิม ที่เกิดขึ้นในปีนั้นๆ ก็จะเป็นเพียงราคาของหลอดไฟเท่านั้น เท่ากับ 140 บาท นั่นคือพิจารณาบนสมมติฐานที่ว่าอุปกรณ์ประกอบของหลอดไฟสามารถใช้งานได้จนสิ้นสุดอายุของโครงการ

การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆกับข้อสรุปผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนที่ได้

เนื่องจากผลที่ได้ของเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนทั้งหมดที่กล่าวมานี้ เป็นผลสัมพันธ์และเชื่อมโยงกับตัวแปรต่างๆมากมาย เช่น พื้นที่ขนาดของห้อง , ประเภทการใช้งานของพื้นที่ , ประเภทของหลอดไฟเดิมกับหลอดไฟที่เปลี่ยนทดแทน , ระยะเวลาเปิดใช้งาน , ระยะเวลาของโครงการ , ค่าไฟฟ้า เหล่านี้ ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้ทดลองโดยการคงค่าตัวแปรอื่นๆไว้ทั้งหมด และปรับเปลี่ยนเฉพาะตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียว เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรนั้นๆ กับผลของเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนที่คำนวณได้ ดังผลที่ได้ต่อไปนี้

ตาราง 6 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้งานกับผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

ทางเดิน เปิดใช้งาน 12 ชม ต่อวัน

เปลี่ยนจาก Sylvania compact 3U 11 W (135 B) to ETN LED BULB E27 5 W (630 B)
7% discount rate

พื้นที่ทางเดิน (ตรม)	Pay back	ROI	NPV	IRR
25	7Y 1M	14.05	1,705	18.58
50	7Y 1M	14.05	3,410	18.58
100	6Y 1M	16.26	7,912	21
200	6Y 2M	16.04	15,126	20.75

จากตารางเป็นการคงที่ประเภทพื้นที่ใช้งานคือทางเดิน เปิดใช้งาน 12 ชม.ต่อวัน โดยเป็นการลงทุนเปลี่ยนจากหลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 11 วัตต์ ราคา 135 บาท เป็นหลอดแอลอีดี ขนาด 5 วัตต์ ราคา 630 บาท ที่อัตราส่วนลด 7% อายุโครงการ 10 ปี ค่าไฟฟ้าที่ 3 บาทต่อหน่วย และเปลี่ยนเฉพาะขนาดของพื้นที่ใช้งานไป จาก 25,50,100,200 ตารางเมตรตามลำดับ ซึ่งผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนที่ได้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ใช้งานที่ต่างกันเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่ส่งผลต่ออัตราผลประโยชน์ที่ได้รับมากนัก ในส่วนของค่า NPV ที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น เนื่องมาจากขนาดของการลงทุนที่เพิ่มสูงขึ้นตามขนาดของพื้นที่ใช้งาน

กรณีต่อไป เป็นการคงที่ประเภทพื้นที่ใช้งานคือห้องนอน ขนาด 20 ตารางเมตร โดยเป็นการลงทุนเปลี่ยนจากหลอดไส้ GLS ขนาด 40 วัตต์ ราคา 21 บาท เป็นหลอดแอลอีดีขนาด 7 วัตต์ ราคา 1,300 บาท ที่อัตราส่วนลด 7% อายุโครงการ 10 ปี ค่าไฟฟ้าที่ 3 บาทต่อหน่วย และเปลี่ยนเฉพาะเวลาที่เปิดใช้งานจาก 3 , 8 , 12 , 24 ชั่วโมงต่อวันตามลำดับ ได้ผลดังต่อไปนี้

ตาราง 7 ความสัมพันธ์ของเวลาเปิดใช้งานกับผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

ห้องนอน ขนาด 20 ตรม

switch Philips GLS soft tone 40 W (21 B) to Philips LED E27 A55 7 W (1300 B)
7% discount rate

เปิดใช้งาน (ชม)	Pay back	ROI	NPV	IRR
3	57Y 8M	1.73	-3,368	3.02
8	8Y 8M	11.53	12,816	24.5
12	3Y 7M	27.3	31,696	40.4
24	1Y 9M	54.6	69,256	77.4

ผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนที่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าปัจจัยระยะเวลาการเปิดใช้งานของหลอดไฟที่ต่างกันเพียงอย่างเดียวนั้น ส่งผลต่ออัตราผลประโยชน์ที่ได้รับมาก เช่น ตัวอย่างการลงทุนนี้หากเปิดใช้งานเพียง 3 ชั่วโมงต่อวัน จะมีระยะคืนทุนถึง 57 ปี และมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิติดลบ ซึ่งสรุปได้ชัดเจนว่าไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่หากโครงการเดียวกันนี้เปิดใช้งาน 12 หรือ 24 ชั่วโมง จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงมาก เหลือเพียง 1-3 ปี เท่านั้น และมีมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิที่ 3-6 หมื่นบาท

การที่ระยะเวลาเปิดใช้งานมีผลกับเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนสูง เนื่องจากข้อได้เปรียบที่สำคัญของหลอดแอลอีดี ที่มีอายุการใช้งานนานกว่าและใช้พลังงานต่ำกว่า ทำให้การเปิดใช้งานที่นานขึ้น จะทำให้ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าไฟฟ้าและผลประโยชน์จากค่าเปลี่ยนหลอดทดแทนหลอดที่หมดอายุเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

ตาราง 8 ความสัมพันธ์ของราคาหลอดแอลอีดีกับผลเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

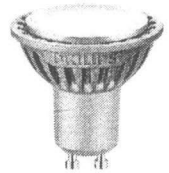
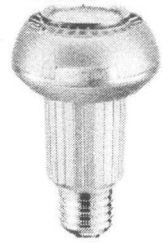
ห้องทำงานทั่วไป ขนาด 25 ตรม เปิดใช้งาน 12 ชม/วัน

switch Philips T8 standard 36 W (105 B) to CHLIK T8 LED Light clear 15 W (924 B)
7% discount rate

ราคาหลอด LED (%)	Pay back	ROI	NPV	IRR
100 (1.52 lm/B)	11Y 8M	8.56	2,204	13.09
80 (1.89 lm/B)	7Y 1M	14.05	3,869	20.04
50 (3.03 lm/B)	3Y 0M	33.2	6,362	40.91
30 (5.05 lm/B)	1Y 2M	82.19	8,027	87.78

กรณีนี้เป็นการเปรียบเทียบว่าราคาของหลอดแอลอีดีควรจะอยู่ในระดับใดจึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุนโดยเป็นพื้นที่ใช้งานห้องทำงานทั่วไป ขนาด 25 ตารางเมตร เปิดใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน โดยเป็นการลงทุนเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 Standard ขนาด 36 วัตต์ ราคา 105 บาท เป็นหลอดแอลอีดี T8 ขนาด 15 วัตต์ ราคา 924 บาท ที่อัตราส่วนลด 7% อายุโครงการ 10 ปี ค่าไฟฟ้าที่ 3 บาทต่อหน่วย และทำการเปรียบเทียบหากราคาของหลอดแอลอีดีได้ลดลงตามลำดับ ผลของเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนที่ได้จะเป็นเช่นใด

จากตาราง 8 ผลการคำนวณที่ได้แสดงให้เห็นว่า ที่ราคาของหลอดแอลอีดีในปัจจุบัน (100%) ราคา 924 บาท/หลอด การที่จะเปลี่ยนแทน T8 Standard ขนาด 36 วัตต์ ราคา 105 บาท/หลอด ของโครงการนี้นั้น ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนานกว่าระยะเวลาของโครงการ แต่หากราคาของหลอดแอลอีดีที่จะเปลี่ยนทดแทนดังกล่าว ได้ลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 50% ของราคาปัจจุบันแล้วจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3 ปี อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนที่ 33.2% ราคาปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิที่ 6,362 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในที่ 40.91% ซึ่งค่าที่ได้ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถพิจารณาได้ เป็นต้น

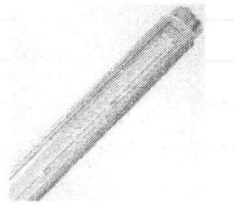
	Brand	Model	Power (watts)	Lumen (lumens)	Efficiency (lumens/watt)	Power Factor	Lamp Life (hours)	Price (baht)	Picture
	ยี่ห้อ	รุ่น	กำลัง (วัตต์)	ลูเมนหลอด (ลูเมน)	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	อายุหลอด (ชั่วโมง)	ราคา (บาท)	รูปภาพ
1	Philips	GU10 3000K	3	105	35.00	0.6	22,000	1,080	
2	Philips	GU10 2700K 25D	7	270	38.57	0.6	45,000	1,320	
3	Philips	GU10 2700K 40D	7	270	38.57	0.6	45,000	1,320	
4	Philips	GU10 3000K 25D	7	270	38.57	0.6	45,000	1,320	
5	Philips	GU10 3000K 40D	7	270	38.57	0.6	45,000	1,320	
6	Philips	GU10 4200K 25D	7	270	38.57	0.6	45,000	1,320	
7	Philips	GU10 4200K 40D	7	270	38.57	0.6	45,000	1,320	
8	Philips	B22 2700K A60	7	400	57.14	0.6	25,000	1,300	
9	Philips	E27 2700K A60	7	400	57.14	0.6	25,000	1,300	
10	Philips	E27 2700K A60	8	470	58.75	0.6	25,000	1,400	
11	Philips	B22 2700K A60	8	470	58.75	0.6	25,000	1,400	
12	Philips	E27 4200K A55	7	400	57.14	0.6	25,000	1,300	
13	Philips	E27 3000K A55	7	400	57.14	0.6	25,000	1,300	
14	Philips	E27 2700K A55	7	400	57.14	0.6	25,000	1,300	
15	Philips	NR63 4200K 25D	7	230	32.86	0.6	45,000	1,400	
16	Philips	NR63 2700K 25D	7	230	32.86	0.6	45,000	1,400	
17	Philips	NR63 4200K 40D	7	220	31.43	0.6	45,000	1,400	
18	Philips	NR63 2700K 40D	7	220	31.43	0.6	45,000	1,400	
19	Philips	Novallure E14 2700K	2	50	25.00	0.6	15,000	720	
20	Philips	Novallure E14 3000K	2	50	25.00	0.6	15,000	720	
21	Philips	LED Candle B35	2	40	20.00	0.6	15,000	800	
22	Philips	PAR 38 2700K	16	600	37.50	0.6	22,000	3,500	

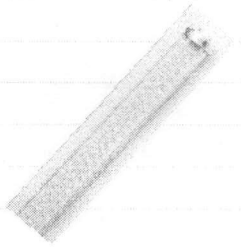
ภาพประกอบ 49 แสดงข้อมูลหลอดแอลอีดีและราคาในปัจจุบัน

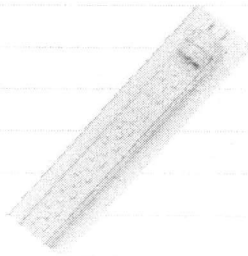
	Brand ยี่ห้อ	Model รุ่น	Power (watts) กำลัง (วัตต์)	Lumen (lumens) ลูเมนหลอด (ลูเมน)	Efficiency (lumens/watt) ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	Power Factor ตัวประกอบกำลัง	Lamp Life (hours) อายุหลอด (ชั่วโมง)	Price (baht) ราคา (บาท)	Picture รูปภาพ
23	Osram	Parathom E27 WW	2	117	58.50	N/A	25,000	550	
24	Osram	Parathom E27 D	2	132	66.00	N/A	25,000	550	
25	Osram	Parathom E27 WW	8	345	43.13	N/A	25,000	1,300	
26	Osram	Parathom E27 D	8	450	56.25	N/A	25,000	1,300	
27	Osram	Parathom E27 WW	12	640	53.33	N/A	25,000	1,500	
28	Osram	Parathom E27 D	12	806	67.17	N/A	25,000	1,500	
29	Osram	G95 E27 CW	3	135	45.00	N/A	25,000	900	
30	Osram	G95 E27 WW	3	140	46.67	N/A	25,000	900	
31	Osram	Parathom GU10 D	4.5	220	48.89	N/A	35,000	1,100	
32	Osram	Parathom GU10 WW	4.5	170	37.78	N/A	35,000	1,100	
33	Osram	Parathom MR16 D	4.5	200	44.44	N/A	25,000	1,000	
34	Osram	Parathom MR16 WW	4.5	185	41.11	N/A	25,000	1,000	
35	Osram	PAR16 E27 D	4.5	220	48.89	N/A	35,000	1,100	
36	Osram	PAR16 E27 WW	4.5	170	37.78	N/A	35,000	1,100	

ภาพประกอบ 49 (ต่อ)

	Brand	Model	Power (watts)	Lumen (lumens)	Efficiency (lumens/watt)	Power Factor	Lamp Life (hours)	Price (baht)	Picture
	ยี่ห้อ	รุ่น	กำลัง (วัตต์)	ลูเมนหลอด (ลูเมน)	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	อายุหลอด (ชั่วโมง)	ราคา (บาท)	รูปภาพ
37	ETN	Module Tube	10	850	85.00	0.9	50,000	990	
38	ETN	Module Tube (W)	10	850	85.00	0.9	50,000	990	
39	ETN	Module Tube	20	1,700	85.00	0.9	50,000	1,600	
40	ETN	Module Tube (W)	20	1,700	85.00	0.9	50,000	1,600	
41	ETN	Module Tube	24	2,125	88.54	0.9	50,000	2,100	
42	ETN	Module Tube (W)	24	2,125	88.54	0.9	50,000	2,100	
43	ETN	Dip T10 Tube	10	936	93.60	0.9	50,000	690	
44	ETN	Dip T10 Tube (W)	10	936	93.60	0.9	50,000	690	
45	ETN	Dip T10 Tube	20	1,872	93.60	0.9	50,000	1,100	
46	ETN	Dip T10 Tube (W)	20	1,872	93.60	0.9	50,000	1,100	
47	ETN	Dip T10 Tube	24	2,340	97.50	0.9	50,000	1,700	
48	ETN	Dip T10 Tube (W)	24	2,340	97.50	0.9	50,000	1,700	
49	ETN	3528 T10 Tube	10	936	93.60	0.9	50,000	750	
50	ETN	3528 T10 Tube (W)	10	936	93.60	0.9	50,000	750	
51	ETN	3528 T10 Tube	20	1,872	93.60	0.9	50,000	1,200	
52	ETN	3528 T10 Tube (W)	20	1,872	93.60	0.9	50,000	1,200	
53	ETN	3528 T10 Tube	24	2,340	97.50	0.9	50,000	1,800	
54	ETN	3528 T10 Tube (W)	24	2,340	97.50	0.9	50,000	1,800	



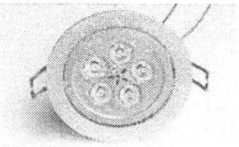
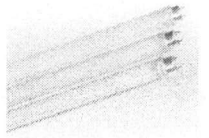
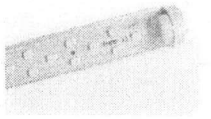




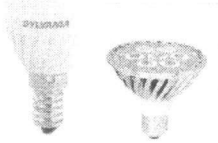
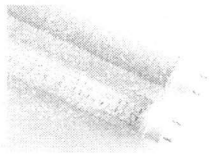
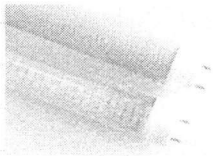
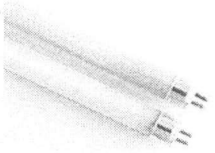
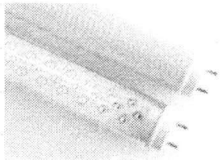
ภาพประกอบ 49 (ต่อ)

	Brand	Model	Power (watts)	Lumen (lumens)	Efficiency (lumens/watt)	Power Factor	Lamp Life (hours)	Price (baht)	Picture
	ยี่ห้อ	รุ่น	กำลัง (วัตต์)	ลูเมนหลอด (ลูเมน)	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	อายุหลอด (ชั่วโมง)	ราคา (บาท)	รูปภาพ
55	ETN	5050 T10 Tube	10	960	96.00	0.9	50,000	890	
56	ETN	5051 T10 Tube (W)	10	960	96.00	0.9	50,000	890	
57	ETN	5052 T10 Tube	20	2,160	108.00	0.9	50,000	1,480	
58	ETN	5053 T10 Tube (W)	20	2,160	108.00	0.9	50,000	1,480	
59	ETN	5054 T10 Tube	24	2,640	110.00	0.9	50,000	1,980	
60	ETN	5055 T10 Tube (W)	24	2,640	110.00	0.9	50,000	1,980	
61	ETN	T5 Tube	8	720	90.00	0.9	50,000	760	
62	ETN	T5 Tube	12	1,200	100.00	0.9	50,000	1,050	
63	ETN	T5 Tube	18	1,680	93.33	0.9	50,000	1,320	
64	ETN	T5 Tube	24	2,160	90.00	0.9	50,000	1,680	
65	ETN	Spotlight MR16	1.5	150	100.00	0.9	50,000	175	
65	ETN	Spotlight GU10	1.26	150	119.05	0.9	50,000	181	
65	ETN	Spotlight E27	1.5	150	100.00	0.9	50,000	181	
65	ETN	SMD Spotlight	2.5	276	110.40	0.9	50,000	264	
65	ETN	SMD Spotlight	3	320	106.67	0.9	50,000	264	
65	ETN	HP Spotlight	3	330	110.00	0.9	50,000	227	
65	ETN	HP Spotlight	7	680	97.14	0.9	50,000	890	
65	ETN	HP Spotlight	12	1,100	91.67	0.9	50,000	1,250	
65	ETN	HP Bulb	3	330	110.00	0.9	50,000	360	
66	ETN	HP Bulb	5	550	110.00	0.9	50,000	630	
67	ETN	HP Bulb	6	660	110.00	0.9	50,000	726	

ภาพประกอบ 49 (ต่อ)

	Brand ยี่ห้อ	Model รุ่น	Power (watts) กำลัง (วัตต์)	Lumen (lumens) ลูเมนหลอด (ลูเมน)	Efficiency (lumens/watt) ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	Power Factor ตัวประกอบกำลัง	Lamp Life (hours) อายุหลอด (ชั่วโมง)	Price (baht) ราคา (บาท)	Picture รูปภาพ
68	ETN	LED Downlight	3	330	110.00	0.9	50,000	429	
69	ETN	LED Downlight	5	550	110.00	0.9	50,000	825	
70	ETN	LED Downlight	6	660	110.00	0.9	50,000	726	
71	ETN	LED Downlight	7	770	110.00	0.9	50,000	1,023	
72	ETN	LED Downlight	9	990	110.00	0.9	50,000	1,089	
73	ETN	LED Downlight	12	1,320	110.00	0.9	50,000	1,400	
74	CINA LED TECH	T5 Tube	10	1,000	100.00	0.9	45,000	1,188	
75	CINA LED TECH	T5 Tube	20	2,000	100.00	0.9	45,000	2,145	
76	CINA LED TECH	T8 3528 SMD	8	800	100.00	0.9	45,000	790	
77	CINA LED TECH	T8 3528 SMD	15	1,500	100.00	0.9	45,000	1,350	
78	CINA LED TECH	T8 3528 SMD	18	1,800	100.00	0.9	45,000	1,580	
79	CINA LED TECH	T8 5050 SMD	10	1,000	100.00	0.9	45,000	858	
80	CINA LED TECH	T8 5050 SMD	21	2,100	100.00	0.9	45,000	1,450	
81	CINA LED TECH	T8 5050 SMD	25	2,500	100.00	0.9	45,000	1,720	
82	CINA LED TECH	T5 5050 SMD	6	600	100.00	0.9	45,000	660	
83	CINA LED TECH	T5 5050 SMD	12	1,200	100.00	0.9	45,000	990	

ภาพประกอบ 49 (ต่อ)

	Brand	Model	Power (watts)	Lumen (lumens)	Efficiency (lumens/watt)	Power Factor	Lamp Life (hours)	Price (baht)	Picture
	ยี่ห้อ	รุ่น	กำลัง (วัตต์)	ลูเมนหลอด (ลูเมน)	ประสิทธิภาพ (ลูเมน/วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	อายุหลอด (ชั่วโมง)	ราคา (บาท)	รูปภาพ
84	Sylvania	PAR 20	5	250	50.00	N/A	15,000	1,125	
85	Sylvania	PAR 30	10	400	40	N/A	15,000	1,880	
86	Sylvania	GLS A60	6	250	41.67	N/A	15,000	1,065	
87	Sylvania	Candle C37	2.5	130	52	N/A	15,000	375	
88	Sylvania	Ball E14 E27	2.5	130	52	N/A	15,000	375	
89	Sylvania	MR 16	3	160	53.33	N/A	15,000	900	
90	Sylvania	GU 10	3.5	175	50	N/A	15,000	1,000	
91	Sylvania	PAR 16	3.5	175	50	N/A	15,000	1,000	
92	CHLIK	T8 Light Clear	8	700	87.5	0.9	50,000	528	
93	CHLIK	T8 Light Clear	15	1,400	93.33	0.9	50,000	924	
94	CHLIK	T8 Light Clear	19	1,700	89.47	0.9	50,000	1,056	
95	CHLIK	T8 Fluorescent	7	500	71.43	0.9	50,000	528	
96	CHLIK	T8 Fluorescent	15	1,300	86.67	0.9	50,000	924	
97	CHLIK	T8 Fluorescent	19	1,600	84.21	0.9	50,000	1,056	
98	CHLIK	T8 Light Blur	8	530	66.25	0.9	50,000	528	
99	CHLIK	T8 Light Blur	15	1,350	90	0.9	50,000	924	
100	CHLIK	T8 Light Blur	19	1,650	86.84	0.9	50,000	1,056	
101	CHLIK	T8 Light Wave	7	630	90	0.9	50,000	528	
102	CHLIK	T8 Light Wave	15	1,400	93.33	0.9	50,000	924	
103	CHLIK	T8 Light Wave	18	1,640	91.11	0.9	50,000	1,023	
104	CHLIK	T5 Tube Light	6	500	83.33	0.9	50,000	528	
105	CHLIK	T5 Tube Light	14	1,200	85.71	0.9	50,000	825	
106	CHLIK	T10 Tube Light	8	700	87.5	0.9	50,000	528	
107	CHLIK	T10 Tube Light	16	1,400	87.5	0.9	50,000	891	

ภาพประกอบ 49 (ต่อ)

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมช่วยคำนวณเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี สำหรับระบบแสงสว่างทั่วไป ภายในอาคาร

ผลการทดลองใช้และการเก็บข้อมูลผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ซอฟต์แวร์เพื่อนำมาคำนวณผลทางสถิติ โดยประชากรได้แก่ กลุ่มผู้ออกแบบ เช่น วิศวกร , สถาปนิก , มัณฑนากร หรือ กลุ่มผู้ใช้งานที่พอมีความรู้ ความเข้าใจ ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน (Illumination Engineering) ซึ่งไม่สามารถคำนวณหาจำนวนประชากรที่แน่นอนได้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เทคนิคการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้การสุ่มแบบไม่คำนึงถึงความน่าจะเป็น ในวิธีการสุ่มตัวอย่างเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) หรือบางครั้งเรียกว่าการสุ่มแบบพิจารณา (judgment sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ดุลพินิจของผู้วิจัยในการกำหนดสมาชิกของประชากรที่จะมาเป็นสมาชิกในกลุ่มตัวอย่าง ว่ามีลักษณะสอดคล้องหรือเป็นตัวแทนที่จะศึกษาหรือไม่ ข้อจำกัดของการสุ่มตัวอย่างแบบนี้คือ ไม่ต้องการอ้างอิงถึงลักษณะประชากรกับกลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะและไม่ต้องการเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ และการสุ่มลักษณะนี้ไม่สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างที่เลือก จะยังคงลักษณะดังกล่าวหรือไม่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป นอกจากนั้นการสุ่มโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น มีข้อจำกัดดังนี้

1. ผลการวิจัยไม่สามารถอ้างอิงไปสู่ประชากรทั้งหมดได้ จะสรุปอยู่ในขอบเขตของกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น ข้อสรุปนั้นจะสรุปไปหาประชากรได้ต่อเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะต่างๆที่สำคัญๆ เหมือนกับประชากร

2. กลุ่มตัวอย่างที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้วิจัยและองค์ประกอบบางตัวที่ไม่สามารถควบคุมได้ และไม่มีวิธีการทางสถิติอย่างไรที่จะนำมาคำนวณความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสุ่ม (sampling error) ได้

โดยผลการประเมินความพึงพอใจประกอบด้วยวิศวกร สถาปนิก อาจารย์ และผู้ออกแบบงานระบบที่มีประสบการณ์ได้แก่ คุณ สุภัทร บูรณวิทย์ บริษัท มิตรเทคนิคัล คอนซัลแท้นท์ จำกัด , คุณ ชายชล ภักดีอุทธรณ์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคกลาง , อาจารย์ อัญชลี เกตุจันทร์ และ คุณ ชาตรี พูลสำราญ สถาบันรัชต์ภาคย์ , คุณ ศรัณญู สาครสุขศรีฤกษ์ บริษัท พานาโซนิค อีเล็คทริค เวิร์คส์ (ประเทศไทย) จำกัด , คุณ วิโรจน์ วงศ์พิวัฒน์ บริษัท ไลท์ติ้ง แอนด์ อีควิปเมนท์ จำกัด (มหาชน) , คุณ สุบิน วงศ์ฝั้น และ คุณ นคร มัตสรรกฤษณ์ สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ , คุณ จิรพัฒน์ เพียงพิมพ์ บริษัท ยางสยามพระประแดง จำกัด , คุณ ณวรา ชนยุทธ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาค 1 (เชียงใหม่) ,คุณ โชติพัฒน์ เบญจวงศ์ บริษัท คริสเตียนีและนีลเส็น (ไทย) จำกัด (มหาชน) โดยมีผลการประเมินดังตาราง 9

ตาราง 9 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้ซอฟต์แวร์

รายการประเมิน	$\overline{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน	4.7	0.47	มากที่สุด
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย	4.3	0.47	มาก
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม	3.6	0.81	มาก
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน	4.0	0.63	มาก
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก	4.1	0.70	มาก
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น	3.0	0.77	ปานกลาง
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข	3.4	0.67	ปานกลาง
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล	3.7	0.47	มาก
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ	4.5	0.52	มากที่สุด
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ	4.3	0.47	มาก

เมื่อนำคะแนนเฉลี่ยของแต่ละหัวข้อมาผ่านระเบียบวิธีการหาค่าทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ย พบว่า ค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ 3.96 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งหมดอยู่ที่ 0.59 ส่วนผลการประเมินความพึงพอใจ ในด้านความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน และความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ อยู่ในระดับมากที่สุด มีความพึงพอใจต่อการสามารถเรียนรู้วิธีใช้งานได้ง่าย การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม การแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน ความชัดเจนของขนาด สีของตัวอักษรและระบบกราฟิก ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล และโปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ อยู่ในระดับมาก นอกนั้นระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง คือ การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและแสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจนเพื่อให้สะดวกต่อการแก้ไข

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาถึงความเป็นไปได้ และความคุ้มค่าต่อการลงทุนในปัจจุบัน ในการใช้งานหลอดแอลอีดี ในงานระบบแสงสว่างทั่วไปภายในอาคารนั้น พบว่าแม้หลอดแอลอีดีในปัจจุบันจะพัฒนาประสิทธิภาพในการส่องสว่างได้ไม่ต่ำกว่า 100 ลูเมนต่อวัตต์แล้วก็ตาม แต่ในความเป็นจริงและความเหมาะสมในการลงทุนที่จะเลือกใช้งานในงานระบบแสงสว่างทั่วไป พบว่าหากเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีทดแทนหลอดไฟประเภทหลอดไส้ (อินเคนเดสเซนต์) หรือหลอดฮาโลเจนแล้ว จะมีแนวโน้มมากที่ผลของเกณฑ์การตัดสินใจที่ได้จะมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากหลอดไส้นั้นมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเพียง 10 ลูเมนต่อวัตต์ และอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยเพียง 1,300 ชั่วโมงเท่านั้น ยิ่งหากเป็นการเปิดใช้งานต่อวันนานเท่าใด ก็จะทำให้การเปลี่ยนมาใช้หลอดแอลอีดี ที่แม้จะมีต้นทุนเริ่มแรกในการใช้งานสูงกว่าหลายเท่าตัว แต่ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่านั้น ก็จะส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าต่อการลงทุนได้ในระยะเวลาไม่นานนัก

ส่วนในกรณีของการเปลี่ยนหลอดแอลอีดีทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดคอมแพ็กฟลูออเรสเซนต์ (หลอดตะเกียบ) ซึ่งถือเป็นตลาดหลัก และเป็นหลอดไฟที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายที่สุดในระบบแสงสว่างภายในทั่วไปในปัจจุบันนั้น มีแนวโน้มมากที่ผลของเกณฑ์การตัดสินใจที่ได้จะยังไม่เกิดความเหมาะสมและคุ้มค่าในการลงทุนในปัจจุบัน เนื่องจากถึงแม้ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของหลอดแอลอีดีจะสูงกว่าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็ตาม แต่หากมองในด้านของราคาแล้วจะพบว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ในตลาดปัจจุบันมีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างเทียบกับราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 15 ลูเมนต่อบาท ในขณะที่หลอดแอลอีดีในปัจจุบันนี้มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างเทียบกับราคาเฉลี่ยอยู่ที่เพียง 0.88 ลูเมนต่อบาท เท่านั้น ซึ่งราคาในปัจจุบันที่ยังสูงมากของหลอดแอลอีดีนี้เองที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ผลของเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนที่ได้ มีอัตราผลตอบแทนไม่คุ้มค่า หรือระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนานเกินกว่าจะยอมรับได้

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผลของเกณฑ์การตัดสินใจที่ได้ก็ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆที่สำคัญอีกเช่นกัน เช่น จำนวนหลอดไฟที่จะใช้ในโครงการ หรือ อาจเป็นชั่วโมงการเปิดใช้งานหลอดไฟต่อวันที่มากเพียงพอ หรือ ราคาของหลอดแอลอีดีในอนาคตที่อาจลดลงมาในระดับหนึ่งเมื่อมีการใช้งานและการผลิตมากขึ้น หรือแม้แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีโอกาสปรับสูงขึ้น ทั้งหมดเหล่านี้ล้วนส่งผลจนอาจทำให้ผลของเกณฑ์การตัดสินใจที่ได้ของโครงการหนึ่งๆ คุ้มค่าต่อการลงทุน หรืออยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับพิจารณาเพื่อการลงทุนก็เป็นได้

ในส่วนของการสร้างเครื่องมือที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นเพื่อช่วยคำนวณและให้ข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจเพื่อการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี ในกรณีการเปลี่ยนทดแทนหลอดเดิมหรือกรณีลงทุนในโครงการใหม่นั้น ในขั้นตอนที่หนึ่งโปรแกรมสามารถรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน เช่น ประเภทการใช้งาน , ขนาดห้อง ,มาตรฐานความส่องสว่างที่เลือกใช้ และคำนวณลูเมนติดตั้งที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนที่สองโปรแกรมรับข้อมูลหลอดไฟแบบเดิม , ระยะเวลาเปิดใช้งาน และ ปัจจัย (Factor) อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟ เช่นค่า CU (Coefficient of Utilization) เพื่อให้ได้ความสว่างตามมาตรฐาน ซึ่งส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องคำนวณเองจากข้อมูลของห้อง ประกอบกับข้อมูลของทางผู้ผลิตดวงโคมที่เลือกใช้งาน และในขั้นตอนที่สามผู้ใช้งานเลือกหลอดไฟที่จะเปลี่ยนทดแทน หลังจากนั้นโปรแกรมจะคำนวณผลของเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนทั้ง 4 ตัว ประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุน (Pay back period) , อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน(Rate of Return on Investment) , มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net Present Value) , และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) ตามข้อมูลและเงื่อนไขต่างๆ ที่ผู้ใช้งานระบุ ซึ่งจะมีประโยชน์มากในกรณีที่ต้องการแปรเปลี่ยนปัจจัยอื่นๆ เช่นขนาดห้อง หรือ รุ่นชนิดหลอดไฟ ของทางผู้ออกแบบระบบไฟฟ้า ,สถาปนิกผู้ออกแบบภายใน หรือเจ้าของโครงการเองก็ตาม โปรแกรมจะสามารถคำนวณและแสดงผลให้ทราบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว สอดคล้องตามเงื่อนไขและฐานข้อมูลหลอดไฟซึ่งผู้ใช้งานสามารถปรับปรุงได้เองอยู่เสมอ โดยผลการคำนวณของโปรแกรมที่ได้ จะเป็นข้อมูลช่วยสนับสนุนในการตัดสินใจเพื่อการลงทุนในการเลือกใช้งานหลอดไฟประเภทนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะประการหนึ่ง ได้แก่ผลประโยชน์ที่ได้จากการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแบบแอลอีดีแทนหลอดไฟแบบหลอดไส้ หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปที่โปรแกรมนำมาคำนวณหาเกณฑ์ในการตัดสินใจในงานวิจัยนี้ มาจากข้อได้เปรียบหลักของหลอดแอลอีดีสองประการเท่านั้นคือ หนึ่งประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างที่ส่งผลให้เกิดการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า และสองอายุการใช้งานของหลอดไฟที่ยาวนานกว่า แต่ในความเป็นจริงแล้วหลอดไฟแบบแอลอีดียังมีผลประโยชน์อื่นๆ ที่อาจเปลี่ยนหรือคิดเป็นตัวเงินได้ ตัวอย่างเช่นในขณะเปิดใช้งาน หลอดไฟแบบแอลอีดีจะผลิตความร้อนออกมาน้อยกว่าหลอดไฟประเภทอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานในแง่ของ การทำความเย็นและระบบปรับอากาศภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนั้นหลอดแอลอีดียังใช้พลังงานตลอดอายุการใช้งานของหลอดที่ต่ำกว่าหลอดไฟประเภทอื่น ซึ่งจะเป็นข้อได้เปรียบทางด้าน

การใช้งานในกลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากอาจนำไปใช้เป็นประโยชน์ทางด้าน คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) เพิ่มเติมซึ่งจะมีบทบาทมากขึ้นในอนาคต

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งของผู้วิจัยที่ได้จากการเก็บข้อมูลของหลอดแอลอีดีเพื่อการส่องสว่างทั่วไปในตลาดปัจจุบันนั้น พบว่าบริษัทผู้ผลิตหลอดไฟต่างประเทศชั้นนำหลายบริษัท เช่น ฟิลลิปส์ , ซิลวาเนีย , ออสแรม ยังไม่เข้ามาทำตลาดในส่วนนี้อย่างจริงจังเต็มตัว เนื่องจากยังมีผลิตภัณฑ์บางประเภท ยังไม่ได้นำเข้ามาจัดจำหน่ายในประเทศไทย อีกทั้งผลิตภัณฑ์บางชนิดเช่น หลอดแอลอีดีที่ใช้ทดแทนหลอด T8 , T5 Fluorescent ก็ยังไม่พบเห็นในรายการผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทเช่นกัน คงพบเห็นส่วนมากกับบริษัทผู้ผลิตจากทางประเทศจีน

อย่างไรก็ตาม วิกฤติทางด้านพลังงานและปัญหาภาวะโลกร้อนในปัจจุบันรวมถึงแนวโน้มที่ทั่วโลกหันมาให้ความสนใจในการแสวงหาและใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ยั่งยืนมากขึ้น การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การเลือกใช้หลอดแอลอีดีเพื่องานส่องสว่างทั่วไปภายในอาคารจึงเป็นตัวเลือกที่ท้าทายและน่าสนใจในอนาคตอันใกล้ ประกอบกับการพัฒนาเทคโนโลยีของหลอดแอลอีดีที่เป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ เห็นถูก. (2550). *การศึกษาและพัฒนาระบบแสงสว่างพลังงานต่ำด้วยหลอดแอลอีดี.* [วิทยานิพนธ์ ค.อ.บ. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า] กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. (2551). *เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง ฉบับปรับปรุง.* พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ส.ส.ท.

ถิรรัตน์ มณีกุล ; วรวรรณ เวชมนัส ; และ วันเลิศ ตันอายุวรรณะ. (2546). *การศึกษาและประยุกต์ใช้งาน LED กับวิศวกรรมการส่องสว่างแนวใหม่.* [ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า] กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. (2533). *การออกแบบระบบแสงสว่าง.* กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (2552, มกราคม-กุมภาพันธ์). *ไดโอดเปล่งแสง : หลอดประหยัดไฟแห่งอนาคต.* วารสารประชาคมวิจัย. 14 (83) : 33-39

ปรณัฐ คล้ายมุข. (2551,ตุลาคม-ธันวาคม). *LED แสงสว่างแห่งอนาคต.* วารสาร Hobby Electronics. ฉบับที่ (165): 57-62

ศุลี บรรจงจิตร. (2538). *วิศวกรรมการส่องสว่าง Illumination Engineering.* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

เศรษฐกาญจน์ อนุวัตรวงศ์. (2551, เมษายน). *หลอดแอลอีดีสีขาวบนเส้นทางสู่ตลาดแสงสว่าง.* วารสารเซมิคอนดักเตอร์. (315); 191-196

หฤทัย มีนะพันธ์. (2550). *หลักการวิเคราะห์โครงการ: ทฤษฎีและวิธีปฏิบัติเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ.* พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Mehta, Rajesh.; Deshpande, Dhanashri.; & Kulkarni, Kiran. (2008, November). *LEDs - A Competitive Solution for General Lighting Applications.* IEEE Energy2030.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE,IES

ตารางภาคผนวก ก แสดงระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE

ชนิดของงานหรืออาคาร	ระดับความสว่างต่ำสุด (Lux : lx)
พื้นที่อาคารทั่วไป	
พื้นที่รอบๆ ทางเดิน	100
บันได	150
ห้องน้ำ	150
ห้องเก็บของ	150
โรงงานประกอบชิ้นส่วน	
งานหยาบ , ชิ้นส่วนเครื่องจักรใหญ่	300
งานปานกลาง , ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ตัวถัง	500
งานละเอียด , ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์	750
งานละเอียดมาก , ชิ้นส่วนเครื่องมือวัด	1500
งานเคมี	
พื้นที่เครื่องจักรทั่วไป	300
กระบวนการผลิตอัตโนมัติ	150
ห้องควบคุม ห้องปฏิบัติการ	500
โรงงานเภสัชกรรม	500
งานตรวจสอบ	750
งานเปรียบเทียบสี	1000
โรงงานผลิตยางรถยนต์	500
โรงงานทำเสื้อผ้า	
งานเย็บผ้า	750
งานตรวจสอบ	1000
งานรีดผ้า	500

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE

ชนิดของงานหรืออาคาร	ระดับความสว่างต่ำสุด (Lux : lx)
<u>อุตสาหกรรมไฟฟ้า</u>	
โรงงานผลิตสายไฟฟ้า	300
ชิ้นส่วนประกอบโทรศัพท์	500
ส่วนประกอบขดลวด	750
ชิ้นส่วนเครื่องรับวิทยุ โทรทัศน์	1000
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1500
<u>อุตสาหกรรมอาหาร</u>	
พื้นที่ทำงานทั่วไป	300
กระบวนการผลิตอัตโนมัติ	200
งานตกแต่งด้วยมือ	500
<u>โรงหล่อ</u>	
หล่อมุข	200
งานแบบหล่อหยาบ	300
งานแบบหล่อละเอียด งานตรวจสอบ	500
<u>งานทำแก้ว</u>	
ห้องเตาเผา	150
ห้องผสม ห้องทำแบบหล่อ	300
การแต่งผิว การเคลือบ การขัดเงา	500
การให้สี การตบแต่ง	750
งานเจียระไน งานละเอียด	1000

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE

ชนิดของงานหรืออาคาร	ระดับความสว่างต่ำสุด (Lux : lx)
งานเหล็กและโลหะแผ่น	
โรงงานผลิตไม่ต้องใช้มือช่วยทำ	100
โรงงานผลิตใช้มือช่วยบางครั้ง	150
สถานที่ผลิตงานอยู่ถาวร	300
ห้องควบคุมและตรวจสอบ	500
โรงงานฟอกหนัง	
พื้นที่ทำงานทั่วไป	300
การรีด ตัด เย็บ ผลิตรองเท้า	750
ปรับระดับ ควบคุมคุณภาพ	1000
โรงงานเครื่องจักรและส่วนประกอบ	
งานไม่ประจำ	200
งานเครื่องจักรหยาบ การเชื่อม	300
งานเครื่องจักรปานกลาง เครื่องอัตมัติทั่วไป	500
งานฝีมือ และเครื่องจักรละเอียด	700
งานตรวจสอบและทดสอบ	750
งานละเอียดมาก ชิ้นส่วนขนาดเล็ก	1500
ห้องพ่นสี	
การจุ่ม พ่นหยาบๆ	300
งานสีธรรมดา พ่นสี แต่งผิว	500
งานสีละเอียด พ่นสี แต่งผิว	750
แต่งละเอียด ปรับเทียบสี	1000

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE

ชนิดของงานหรืออาคาร	ระดับความสว่างต่ำสุด (Lux : lx)
โรงทำกระดาษ	
งานทำแผ่นกระดาษ	300
งานส่วนกระบวนการอัตโนมัติ	200
งานตรวจสอบ ตัด	500
งานพิมพ์และทำปกหนังสือ	
ห้องเครื่องพิมพ์	500
ห้องเรียงพิมพ์ อ่านตรวจสอบ	750
ตรวจความถูกต้อง ทำแท่นแม่พิมพ์	1000
ถอดแบบสี	1500
งานพิมพ์และทำปกหนังสือ	
สลักตัวหนังสือแผ่นเหล็ก	2000
การทำปกหนังสือ	500
การปรับแต่ง พิมพ์ลายนูน	750
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	
การวิดสาด การลากดึง	300
การปั่นด้าย พัน ม้วน ย้อม	500
การทำด้าย การทอ	750
การเย็บผ้า การตรวจสอบ	1000
โรงฝึกงานไม้และเครื่องตบแต่ง	
โรงเลื่อย	200
งานฝีมือ ชิ้นส่วน	300
การใช้เครื่องจักรในงานไม้	500
การแต่งผิว ตรวจสอบขั้นสุดท้าย	750

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE

ชนิดของงานหรืออาคาร	ระดับความสว่างต่ำสุด (Lux : lx)
ที่ทำงาน	
ที่ทำงานทั่วไป ห้องคอมพิวเตอร์	500
ที่ทำงานส่วนตัว	750
ห้องเขียนแบบ งานบัญชี	750
ห้องประชุม	500
ที่พักรับรอง	300
โรงเรียนหรือมหาวิทยาลัย	
ห้องเรียน ห้องบรรยาย	300
ห้องปฏิบัติการ ห้องสมุด ห้องศิลปะ	500
ห้างสรรพสินค้า บริเวณจัดนิทรรศการ	
ร้านค้าธรรมดา	300
ร้านค้าบริการตัวเอง	500
ซูเปอร์มาร์เก็ต	750
ห้องแสดงสินค้า	500
พิพิธภัณฑ์และภาพศิลปะ :	
สิ่งแสดงให้ความรู้สึกต่อแสงสูง	150
สิ่งแสดงไม่ให้ความรู้สึกต่อแสงสูง	300
อาคารสาธารณะ	
โรงภาพยนต์ :	
ห้องชมภาพยนต์	50
ห้องพัก	150
โรงละครและห้องแสดงคอนเสิร์ต :	
ห้องชมการแสดง	100
ห้องพักตัวแสดง	200

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE

ชนิดของงานหรืออาคาร	ระดับความสว่างต่ำสุด (Lux : lx)
<u>อาคารสาธารณะ</u>	
อาคารที่สักการะ :	
โบสถ์	100
ที่สวดมนต์	150
<u>บ้าน และ โรงแรม</u>	
บ้าน :	
ห้องนอน :	
ทั่วไป	50
ไฟหัวเตียง	200
ห้องน้ำ :	
ทั่วไป	100
โกนหนวด แต่งหน้า	500
ห้องรับแขก :	
ทั่วไป	100
อ่านหนังสือ เย็บผ้า	500
บันได	100
ครัว :	
ทั่วไป	300
พื้นที่ทำงาน	500
ห้องทำงาน	300
ห้องเด็กอ่อน	150
โรงแรม :	
ห้องพักรับแขก	300
ห้องอาคาร	200
ครัว	500

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างต่ำสุดตามมาตรฐาน CIE

ชนิดของงานหรืออาคาร	ระดับความสว่างต่ำสุด (Lux : lx)
บ้าน และ โรงแรม	
ห้องนอน ห้องน้ำ :	
ทั่วไป	100
เฉพาะแห่ง	300

ตารางภาคผนวก ก แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	ระดับความสว่างต่ำสุด	
	ลักซ์ (Lux)	ฟุต-แคนเดิล (Foot-candle)
พื้นที่อาคารทั่ว ๆไป		
พื้นที่รอบๆอาคารและทางเดิน	100	10
บันไดและบันไดเลื่อน	150	15
ห้องรับฝากเสื้อ หมวก และห้องน้ำ	150	15
ห้องเก็บของ ห้องเก็บพัสดุ ห้องเก็บสินค้า	150	15
โรงงานทำเสื้อผ้าหรือเครื่องนุ่งห่ม		
บริเวณที่มีการรีด การอัดผ้า	500	50
บริเวณที่มีการเย็บผ้า	750	75
บริเวณที่มีการตรวจสอบรายละเอียด	1,000	100
อุตสาหกรรมทำอาหาร		
บริเวณที่มีการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติ	200	20
บริเวณพื้นที่ทำงานทั่วๆไป	300	30
บริเวณที่ทำงานแต่งด้วยมือและงานตรวจสอบรายละเอียด	500	50

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล (Foot-candle)**
งานเกี่ยวกับสารเคมี		
บริเวณที่มีการผลิตด้วยวิธีการแบบอัตโนมัติ	150	15
บริเวณพื้นที่ภายในที่มีการติดตั้งเครื่องจักรทั่วๆไป	300	30
บริเวณห้องควบคุมและห้องปฏิบัติ	500	50
บริเวณที่มีการทำงานเกี่ยวกับการปรุงยาและผลิตยา	500	50
บริเวณที่มีการตรวจสอบรายละเอียด	750	75
บริเวณที่มีงานเปรียบเทียบสี	1,000	100
โรงงานชิ้นส่วน		
บริเวณที่มีงานหยาบๆ เช่น ชิ้นส่วนของ เครื่องจักรขนาดใหญ่ (ขนาดหนัก)	300	30
บริเวณที่มีงานปานกลาง เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และชิ้นส่วนตัวถังยานพาหนะ	700	70
บริเวณที่มีงานละเอียด เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นส่วนเครื่องกลประจำสำนักงาน	750	75
บริเวณที่มีงานละเอียดมากๆ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องมือวัด	1,500	150
อุตสาหกรรมไฟฟ้า		
บริเวณผลิตสายไฟฟ้า	300	30
บริเวณผลิตชิ้นส่วนประกอบโทรศัพท์	500	50
บริเวณประกอบชิ้นส่วนขดลวด	750	75
บริเวณรับชิ้นส่วนของวิทยุและโทรทัศน์	1,000	100
บริเวณที่มีชิ้นส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,500	150

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล** (Foot-candle)
โรงงานเครื่องกลและประกอบชิ้นส่วน		
บริเวณที่ทำงานนานๆครั้ง	200	20
บริเวณโต๊ะทำงาน งานเครื่องกลหยาบๆ และงานเชื่อม	300	30
บริเวณโต๊ะทำงานเครื่องกลปานกลางและเครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติธรรมดา	500	50
บริเวณโต๊ะทำงานเครื่องกลที่ละเอียดและเครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติที่มีความละเอียดงานที่มีการตรวจสอบและทดสอบ	750	75
บริเวณงานที่มีการวัดและตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กที่ต้องการความประณีต	1,500	150
งานเหล็กและโลหะแผ่น		
บริเวณที่มีการผลิตโดยไม่ต้องใช้มือช่วยทำงาน	100	10
บริเวณที่มีการผลิตโดยมีการใช้มือช่วยบางครั้ง	150	15
สถานที่มีการทำงานผลิตอย่างถาวร	300	30
บริเวรที่มีการควบคุมและตรวจสอบ	500	50
โรงหล่อโลหะ		
บริเวณที่มีการหล่อแบบ	200	20
บริเวณที่ทำงานหล่ออย่างหยาบๆและงานทำแบบแกนอย่างหยาบๆ	300	30
บริเวณที่มีการทำงานหล่อแบบอย่างละเอียดและงานที่ทำแบบแกนอบ่างละเอียดและมีการตรวจสอบ	500	50

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล** (Foot-candle)
งานแก้วและเครื่องปั้นดินเผา		
ห้องเตาหลอม	150	15
ห้องผสมอาหาร ห้องงานขึ้นรูป	300	30
ห้องงานทำแบบ ห้องเตาเผา งานตกแต่งหรืองานเคลือบงานขัดเงา	500	50
งานทาสี งานตกแต่งหรืองานประณีต	750	75
งานเจียระไน งานทำเลนส์ งานแก้วผลึก และงานที่มีความละเอียด	1,000	100
โรงงานฟอกหนัง		
บริเวณพื้นที่ทำงานทั่วๆไป	300	30
บริเวณที่มีงานรีด งานตัด งานเย็บ และผลิตรองเท้า	750	75
บริเวณที่มีการแบ่งหรือแยกชิ้นส่วน งานปรับแต่ง งานควบคุมคุณภาพ	1,000	100
โรงงานทำงานไม้และเครื่องตกแต่งบ้าน		
บริเวณงานเลื่อย	200	20
บริเวณโต๊ะทำงานและชิ้นส่วน	300	30
บริเวณเครื่องจักรที่ใช้กับงานไม้	500	50
งานตกแต่งผิวและงานตรวจสอบครั้งสุดท้าย	750	75

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล** (Foot-candle)
อุตสาหกรรมสิ่งทอ		
บริเวณที่มีการลากหรือดึง บริเวณที่มีการแลกบัตรผ่านประตู	300	30
บริเวณที่มีการบรรจุหีบห่อ บริเวณที่มีการปั่นด้าย การพับ การม้วน การย้อม การสะสาง การปั่นด้ายครั้งสุดท้าย การทำด้ายเส้นเล็กๆ	500	50
งานทอผ้า	750	75
การเย็บ งานตรวจสอบ	1,000	100
โรงงานทำกระดาษ		
บริเวณทำกระดาษและแผ่นกระดาษแข็ง	300	30
บริเวณที่มีการปั่นด้ายระบบอัตโนมัติ	200	20
งานตรวจสอบและงานขัด	500	50
งานพิมพ์ดีดและทำปกหนังสือ		
ห้องเครื่องพิมพ์ดีด	500	50
ห้องเรียงพิมพ์ และอ่านตรวจสอบ	750	75
ห้องตรวจสอบความถูกต้อง งานขัดเกลาหรือเสริมแต่ง งานทำแม่พิมพ์	1,000	100
งานถอดแบบสีและการพิมพ์	1,500	150
งานการแกะสลักลวดลายหรือตัวหนังสือบานเหล็กและทองแดง	500	50
งานพิมพ์ลายนูนและงานตัดแต่ง	750	75

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล** (Foot-candle)
โรงงานทำสีและห้องพ่นสี		
งานจุ่ม งานพ่นสีอย่างหยาบๆ	300	30
งานทาสีธรรมดา งานพ่นสี และงานตกแต่ง	500	50
งานทาสีละเอียด งานพ่นสีและงานตกแต่ง	750	75
งานตกแต่งและปรับแต่งละเอียด และเปรียบเทียบสี	1,000	100
ที่ทำงาน		
บริเวณพื้นที่ทั่วๆไปและห้องคอมพิวเตอร์	500	50
บริเวณพื้นที่ทั่วๆไปที่ลึกๆของที่ทำงาน	750	75
ห้องเขียนแบบ	750	75
ห้องทำงานส่วนตัว	750	75
ห้องประชุม	500	50
บริเวณห้องรับรองแขก	300	30
สถานที่ศึกษา โรงเรียน มหาวิทยาลัย		
ห้องเรียน ห้องบรรยาย	300	30
ห้องปฏิบัติการ ห้องสมุด ห้องอ่านหนังสือ ห้องศิลปะ	500	50
ร้านค้า ร้านขายของขนาดใหญ่		
ร้านค้าธรรมดา	300	30
ร้านค้าสำหรับบริการด้านต่างๆ	500	50
ร้านขายของหลายๆอย่าง (ซูเปอร์มาร์เก็ต)	750	75
ห้องแสดงสินค้า	500	50

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล (Foot-candle)**
อาคารสาธารณะ		
ห้องภาพยนตร์	50	5
ห้องพักในโรงภาพยนตร์	150	15
โรงละครและห้องแสดงคอนเสิร์ต		
ห้องชมละครและคอนเสิร์ต	100	10
ห้องพักในโรงละครและคอนเสิร์ต	200	20
อาคารสำหรับสักการะในทางศาสนา		
โบสถ์	100	10
ที่สวดมนต์	150	15
บ้าน		
ห้องนอน		
บริเวณทั่วไป	50	5
ไฟบริเวณหัวเตียง	200	20
ห้องน้ำ		
บริเวณทั่วไป	100	10
บริเวณที่โกนหนวด และแต่งหน้า	500	50
ห้องนั่งเล่นหรือห้องรับแขก		
บริเวณทั่วไป	100	10
ที่อ่านหนังสือ ที่เย็บผ้า	500	50
บันได	100	10
ห้องครัว		
บริเวณทั่วไป	300	300
พื้นที่ทำงาน	500	500

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

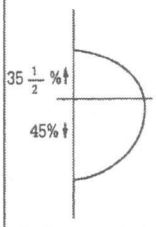
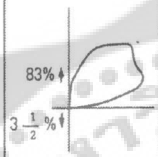
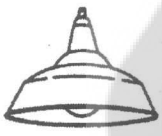
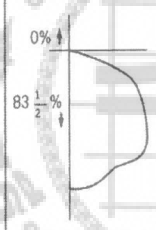
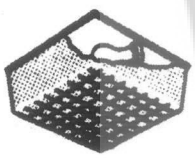
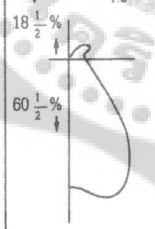
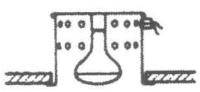
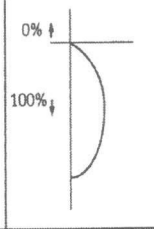
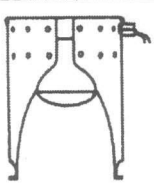
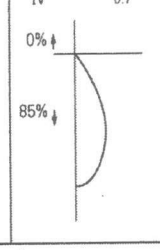
ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล (Foot-candle)**
โรงแรม		
ห้องรับรองแขก	300	30
ห้องรับประทานอาหาร	200	20
ห้องครัว ห้องนอน ห้องน้ำ	500	50
บริเวณทั่วไป	100	10
ห้องเฉพาะ	300	30
โรงพยาบาล		
แผนกต่างๆของโรงพยาบาล		
แสงสว่างบริเวณทั่วๆไป	100	10
ร้านตรวจสอบอาคาร	300	30
ที่อ่านหนังสือ	200	20
บริเวณสวนรอบๆที่มืด	5	0.5
ห้องตรวจสอบอาการ		
แสงสว่างทั่วๆไป	500	50
ส่วนตรวจสอบเฉพาะโรค	1,000	100
อายุรเวทผู้ป่วยหนัก		
แสงสว่างหัวเตียง	50	5
บริเวณสังเกตการณ์คนไข้	750	75
ที่พักของพยาบาล	300	30
ห้องผ่าตัด		
แสงสว่างทั่วๆไป	750	75
แสงสว่างเฉพาะที่ผ่าตัด	30,000	3,000

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ) แสดงระดับความสว่างเบื้องต้นตามมาตรฐาน IES

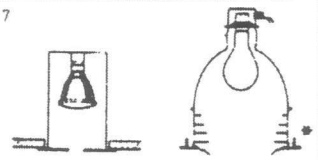
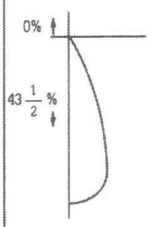
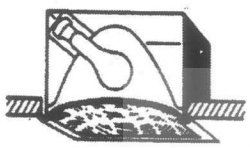
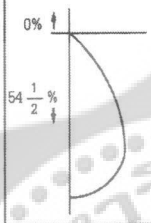
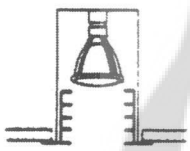
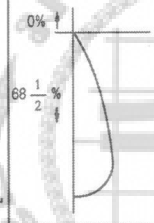
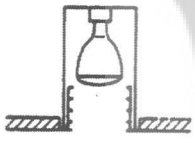
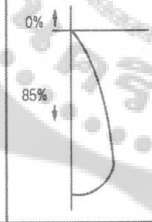
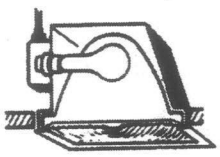
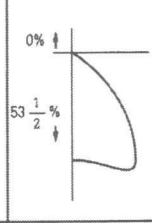
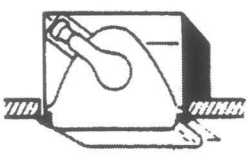
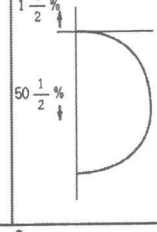
ความสว่างภายในอาคาร (Indoor Lighting)		
พื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง	**ระดับความสว่างต่ำสุด**	
	ลักซ์ (Lux)	**ฟุต-แคนเดิล** (Foot-candle)
โรงพยาบาล		
ห้องชันสูตรศพ		
แสงสว่างทั่วๆไป	750	75
แสงสว่างเฉพาะที่	10,000	1,000
ห้องปฏิบัติการและเภสัชกร		
แสงสว่างบริเวณทั่วไป	500	50
แสงสว่างเฉพาะที่จ่ายยา	750	75
ห้องปรึกษาแพทย์		
แสงสว่างบริเวณทั่วไป	500	50
แสงสว่างเฉพาะที่ปรึกษา	750	75
โรงเก็บรถ		
บริเวณทั่วไป	50	5
ลานจอดรถ	100	10
บริเวณรับบริการทั่วไป	200	20
ทางเข้าออก	500	50
บริเวณซ่อมรถ	1,000	100

ภาคผนวก ข
สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ

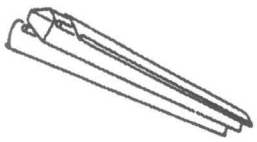
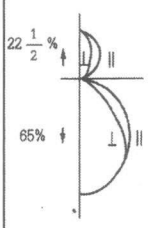
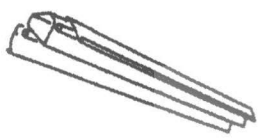
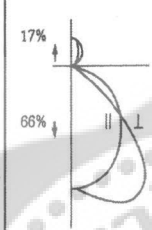
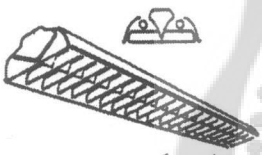
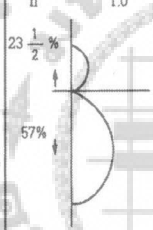
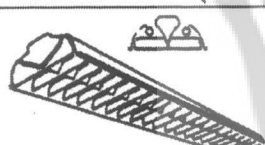
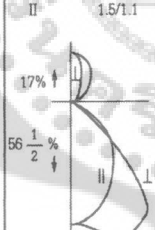
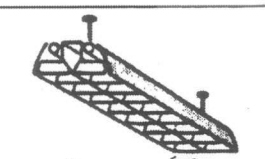
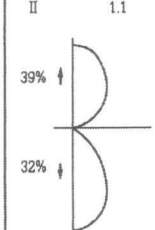
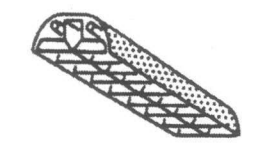
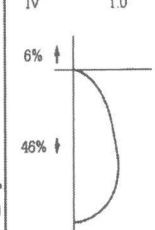
ตารางที่ 7.4 ตารางสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่าง ๆ (John E. Kaufman. 1981 : 9-31)

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนดูแมนของหลอดไฟ	ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
		ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม / SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
1 โคมแขวนทรงกลม สำหรับหลอดไส้	v 1.5 	0	.87	.87	.87	.81	.81	.81	.70	.70	.70	.59	.59	.59	.49	.49	.49	.45
		1	.71	.67	.63	.66	.62	.59	.56	.53	.50	.47	.45	.42	.38	.37	.35	.31
		2	.60	.54	.49	.56	.50	.45	.47	.43	.39	.39	.36	.33	.32	.29	.27	.23
		3	.52	.45	.39	.48	.42	.37	.41	.36	.31	.34	.30	.26	.27	.24	.22	.18
		4	.46	.38	.33	.42	.36	.30	.36	.33	.26	.30	.26	.22	.24	.21	.18	.15
		5	.40	.33	.27	.37	.30	.25	.31	.26	.22	.26	.22	.18	.21	.18	.15	.12
		6	.36	.28	.23	.33	.26	.21	.28	.23	.19	.23	.19	.16	.19	.15	.13	.10
		7	.32	.25	.20	.29	.23	.18	.25	.20	.16	.21	.16	.13	.17	.13	.11	.09
		8	.29	.22	.17	.26	.20	.16	.23	.17	.14	.19	.15	.12	.15	.12	.09	.07
		9	.26	.19	.15	.24	.18	.14	.20	.15	.12	.17	.13	.10	.14	.11	.08	.06
		10	.23	.17	.13	.22	.16	.12	.19	.14	.10	.16	.12	.09	.13	.09	.07	.05
2 โคมแขวนแบบวงแหวนหลายวง สำหรับหลอดไส้ชนิดเคลือบเงิน	II NA 	0	.83	.83	.83	.72	.72	.72	.50	.50	.50	.30	.30	.30	.12	.12	.12	.03
		1	.72	.69	.66	.62	.60	.57	.43	.42	.40	.26	.25	.25	.10	.10	.10	.03
		2	.63	.58	.54	.54	.50	.47	.38	.36	.33	.23	.22	.21	.09	.09	.08	.02
		3	.55	.49	.45	.48	.43	.39	.33	.30	.28	.20	.19	.17	.08	.08	.07	.02
		4	.48	.42	.37	.42	.37	.33	.29	.26	.24	.18	.16	.15	.07	.07	.06	.02
		5	.43	.36	.32	.37	.32	.28	.26	.23	.20	.16	.14	.13	.06	.06	.05	.01
		6	.38	.32	.27	.33	.28	.24	.23	.20	.17	.14	.12	.11	.06	.06	.04	.01
		7	.34	.28	.23	.30	.24	.21	.21	.17	.15	.13	.11	.09	.05	.04	.04	.01
		8	.31	.25	.20	.27	.21	.18	.19	.15	.13	.12	.10	.08	.05	.04	.03	.01
		9	.28	.22	.18	.24	.19	.16	.17	.14	.11	.10	.09	.07	.04	.03	.03	.01
		10	.25	.20	.16	.22	.17	.14	.16	.12	.10	.10	.08	.06	.04	.03	.03	.01
3  โคมแขวนกระเบื้องเคลือบ สำหรับหลอดไส้	IV 1.3 	0	.99	.99	.99	.97	.97	.97	.93	.93	.93	.89	.89	.89	.85	.85	.85	.83
		1	.88	.85	.82	.86	.83	.81	.83	.80	.78	.79	.78	.76	.77	.75	.73	.72
		2	.78	.73	.68	.76	.72	.67	.73	.69	.66	.71	.67	.64	.68	.65	.63	.61
		3	.69	.62	.57	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.63	.58	.55	.61	.57	.54	.52
		4	.61	.54	.49	.60	.53	.48	.58	.52	.48	.56	.51	.47	.54	.50	.46	.45
		5	.54	.47	.41	.53	.46	.41	.51	.45	.41	.50	.44	.40	.48	.43	.40	.38
		6	.48	.41	.35	.47	.40	.35	.46	.39	.35	.43	.38	.34	.32			
		7	.43	.35	.30	.42	.35	.30	.41	.34	.30	.39	.34	.30	.38	.33	.29	.28
		8	.38	.31	.26	.38	.31	.26	.37	.30	.26	.36	.30	.26	.35	.30	.26	.24
		9	.35	.28	.23	.34	.27	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.31	.26	.22	.21
		10	.31	.25	.20	.31	.24	.20	.30	.24	.20	.29	.24	.20	.29	.23	.20	.18
4  โคมสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีการกระจายแสงแบบเกล็ดแก้ว	V 1.3 	0	.89	.89	.89	.85	.85	.85	.77	.77	.77	.70	.70	.70	.63	.63	.63	.60
		1	.78	.75	.72	.74	.72	.69	.68	.66	.64	.62	.60	.58	.56	.55	.54	.51
		2	.69	.65	.61	.66	.62	.58	.61	.57	.54	.56	.53	.50	.51	.49	.47	.44
		3	.62	.57	.52	.60	.55	.50	.55	.51	.47	.50	.47	.44	.46	.43	.41	.39
		4	.56	.50	.46	.54	.49	.44	.50	.45	.42	.46	.42	.39	.42	.39	.37	.35
		5	.51	.45	.40	.49	.43	.39	.45	.41	.37	.42	.38	.35	.39	.36	.33	.31
		6	.46	.40	.36	.45	.39	.35	.42	.37	.33	.39	.35	.31	.36	.32	.30	.28
		7	.42	.36	.32	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.35	.31	.28	.33	.29	.27	.25
		8	.38	.32	.28	.37	.32	.28	.35	.30	.26	.32	.28	.25	.30	.27	.24	.22
		9	.35	.29	.25	.34	.29	.25	.32	.27	.24	.30	.26	.23	.28	.24	.22	.20
		10	.32	.27	.23	.31	.26	.22	.29	.25	.21	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.18
5  โคมฝังแบบไม่มีตัวกันแสง ใช้กับหลอด R-40	IV 0.8 	0	1.19	1.19	1.19	1.16	1.16	1.16	1.11	1.11	1.11	1.06	1.06	1.06	1.02	1.02	1.02	1.00
		1	1.09	1.07	1.04	1.07	1.05	1.02	1.03	1.01	.99	.99	.98	.96	.96	.95	.93	.92
		2	1.01	.97	.93	.99	.95	.92	.96	.93	.90	.93	.90	.88	.90	.88	.86	.84
		3	.93	.88	.84	.92	.87	.83	.89	.85	.81	.87	.83	.80	.84	.81	.79	.77
		4	.87	.87	.76	.85	.80	.75	.83	.78	.75	.81	.77	.74	.79	.76	.73	.71
		5	.80	.74	.69	.79	.73	.69	.77	.72	.68	.76	.71	.67	.74	.70	.67	.65
		6	.74	.68	.63	.73	.67	.63	.72	.66	.62	.69	.65	.61	.60			
		7	.69	.62	.57	.68	.62	.57	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.64	.60	.56	.55
		8	.64	.57	.53	.63	.57	.52	.62	.56	.52	.61	.56	.52	.60	.55	.52	.50
		9	.59	.52	.48	.59	.52	.48	.58	.52	.48	.57	.51	.48	.56	.51	.47	.46
		10	.55	.49	.44	.55	.48	.44	.54	.48	.44	.53	.48	.44	.52	.47	.44	.42
6  โคมฝังชนิดมีตัวสะท้อนแสง 45° แบบตัดออกใช้กับหลอด R-40	IV 0.7 	0	1.01	1.01	1.01	.99	.99	.99	.94	.94	.94	.90	.90	.90	.87	.87	.87	.85
		1	.96	.94	.92	.94	.92	.91	.90	.89	.88	.87	.86	.85	.84	.84	.83	.82
		2	.91	.88	.86	.90	.87	.85	.87	.85	.83	.84	.83	.82	.82	.81	.80	.79
		3	.87	.84	.81	.86	.83	.81	.84	.81	.79	.82	.80	.78	.80	.78	.77	.76
		4	.83	.80	.77	.82	.79	.77	.81	.78	.76	.79	.77	.75	.78	.76	.74	.73
		5	.79	.76	.73	.79	.75	.73	.77	.74	.72	.76	.73	.71	.75	.73	.71	.70
		6	.76	.73	.70	.76	.72	.70	.75	.72	.69	.74	.71	.69	.73	.70	.68	.67
		7	.73	.69	.66	.73	.69	.66	.72	.68	.66	.71	.68	.66	.70	.67	.65	.64
		8	.70	.66	.63	.70	.66	.63	.69	.65	.63	.68	.65	.63	.67	.65	.63	.62
		9	.67	.63	.60	.67	.63	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.60	.65	.62	.60	.59
		10	.64	.60	.58	.64	.60	.58	.63	.60	.58	.63	.60	.57	.62	.59	.57	.56

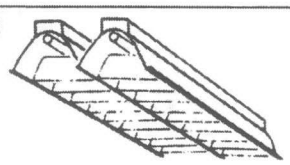
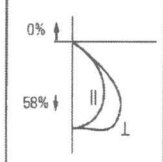
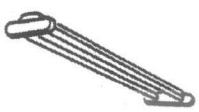
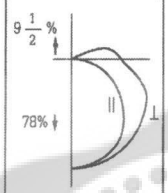
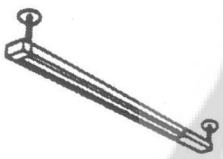
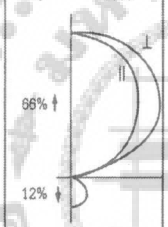
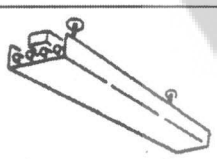
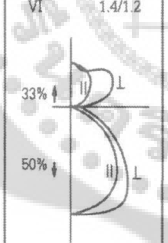
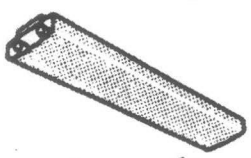
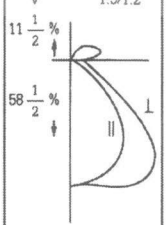
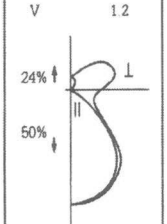
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนลูเมนของหลอดไฟ		ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
			ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
7  โคมฝังแบบมีช่องเปิดให้แสงออก 51 มม.	IV  0% 43 1/2 %	0.7	0	.52	.52	.52	.51	.51	.51	.48	.48	.48	.46	.46	.46	.45	.45	.45	.44
			1	.49	.48	.48	.48	.48	.47	.47	.46	.46	.45	.45	.44	.44	.43	.43	.42
			2	.47	.46	.45	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.44	.43	.42	.43	.42	.42	.41
			3	.45	.44	.43	.45	.43	.42	.44	.42	.42	.43	.42	.41	.42	.41	.40	.40
			4	.43	.42	.41	.43	.41	.40	.42	.41	.40	.41	.40	.39	.41	.40	.39	.38
			5	.42	.40	.39	.41	.40	.38	.41	.39	.38	.40	.39	.38	.39	.38	.38	.37
			6	.40	.39	.37	.40	.38	.37	.39	.38	.37	.39	.38	.37	.38	.37	.36	.36
			7	.39	.37	.36	.39	.37	.36	.38	.37	.35	.38	.36	.35	.37	.36	.35	.35
			8	.37	.36	.34	.37	.35	.34	.37	.35	.34	.36	.35	.34	.36	.35	.34	.33
			9	.36	.34	.33	.36	.34	.33	.35	.34	.33	.35	.34	.33	.35	.33	.33	.32
			10	.35	.33	.32	.35	.33	.32	.34	.33	.32	.34	.33	.32	.34	.32	.31	.31
8  โคมฝังแบบกระจายแสงปานกลางผ่านเลนส์ใช้กับหลอดเคลือบสาร	V  0% 54 1/2 %	1.0	0	.65	.65	.65	.63	.63	.63	.60	.60	.60	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.54
			1	.60	.58	.57	.58	.57	.56	.56	.55	.54	.54	.53	.52	.52	.52	.51	.50
			2	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.49	.51	.49	.48	.49	.48	.47	.46
			3	.51	.48	.48	.50	.47	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.44	.46	.44	.43	.42
			4	.47	.44	.41	.47	.44	.41	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.40	.39
			5	.44	.40	.38	.43	.40	.38	.42	.39	.37	.41	.39	.37	.40	.38	.37	.36
			6	.41	.37	.35	.40	.37	.35	.39	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.33
			7	.38	.34	.32	.37	.34	.32	.37	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.33	.31	.30
			8	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.34	.31	.29	.34	.31	.29	.33	.30	.29	.38
			9	.33	.29	.27	.32	.29	.27	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.31	.28	.26	.25
			10	.30	.37	.25	.30	.27	.24	.30	.27	.24	.29	.26	.24	.29	.26	.24	.23
9  โคมฝังชนิดส่องแสงด้านล่างแบบเปิดช่องขนาด 140 มม. ใช้กับหลอด 150 PAR/FL	IV  0% 68 1/2 %	0.5	0	.82	.82	.82	.80	.80	.80	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.69
			1	.78	.77	.76	.77	.76	.75	.74	.74	.73	.72	.71	.71	.69	.69	.69	.68
			2	.76	.74	.73	.75	.73	.72	.73	.71	.70	.71	.70	.69	.69	.68	.67	.67
			3	.74	.72	.70	.73	.71	.70	.71	.70	.69	.70	.69	.68	.68	.67	.67	.66
			4	.72	.70	.68	.71	.69	.68	.70	.68	.67	.69	.67	.66	.67	.66	.66	.65
			5	.70	.68	.66	.69	.67	.66	.68	.67	.65	.67	.66	.65	.67	.65	.64	.64
			6	.69	.66	.65	.68	.66	.65	.67	.66	.64	.67	.65	.64	.66	.65	.64	.63
			7	.67	.65	.63	.67	.65	.63	.66	.64	.63	.65	.64	.63	.65	.64	.64	.62
			8	.66	.64	.62	.65	.63	.62	.65	.63	.62	.64	.63	.62	.64	.62	.61	.61
			9	.65	.63	.61	.64	.62	.61	.64	.62	.61	.63	.62	.61	.63	.62	.61	.60
			10	.63	.61	.60	.63	.61	.60	.63	.61	.60	.62	.61	.60	.62	.61	.60	.59
10  โคมฝังชนิดส่องแสงลงด้านล่างแบบช่องขนาด 140 มม. ใช้กับหลอด 75 ER 30	IV  0% 85%	0.5	0	1.01	1.01	1.01	.99	.99	.99	.95	.95	.95	.91	.91	.91	.87	.87	.87	.85
			1	.97	.95	.94	.95	.94	.92	.92	.91	.90	.88	.88	.87	.86	.85	.84	.83
			2	.93	.91	.89	.91	.89	.88	.89	.87	.86	.86	.88	.84	.84	.83	.82	.81
			3	.90	.87	.85	.89	.86	.84	.87	.85	.83	.85	.83	.82	.83	.82	.81	.79
			4	.87	.84	.82	.86	.83	.81	.84	.82	.80	.83	.81	.79	.81	.80	.79	.78
			5	.84	.81	.79	.83	.80	.78	.82	.79	.78	.81	.79	.77	.80	.78	.76	.75
			6	.82	.79	.76	.81	.78	.76	.80	.78	.76	.79	.77	.75	.78	.76	.75	.74
			7	.79	.76	.74	.79	.76	.74	.78	.75	.73	.77	.75	.73	.76	.74	.73	.72
			8	.77	.74	.72	.77	.74	.72	.76	.73	.71	.75	.73	.71	.75	.72	.71	.70
			9	.75	.72	.70	.75	.72	.70	.74	.71	.69	.73	.71	.69	.73	.71	.69	.68
			10	.73	.70	.68	.73	.70	.68	.72	.69	.68	.72	.69	.67	.71	.69	.67	.67
11  โคมฝังชนิดกระจายแสงกว้างผ่านเลนส์ใช้กับหลอดเคลือบสาร	V  0% 53 1/2 %	1.4	0	.63	.63	.63	.62	.62	.62	.59	.59	.59	.57	.57	.57	.54	.54	.54	.53
			1	.58	.56	.54	.57	.55	.54	.54	.53	.52	.52	.51	.50	.50	.50	.49	.48
			2	.53	.50	.48	.52	.49	.47	.50	.48	.46	.48	.47	.45	.47	.45	.44	.43
			3	.48	.45	.42	.47	.44	.42	.46	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.40	.39
			4	.44	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.40	.37	.36	.35
			5	.40	.36	.33	.39	.36	.33	.38	.35	.33	.37	.35	.32	.36	.34	.32	.31
			6	.36	.32	.30	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.34	.31	.29	.33	.31	.29	.28
			7	.33	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.28	.26	.31	.28	.26	.30	.28	.26	.25
			8	.30	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.28	.25	.23	.28	.25	.23	.22
			9	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.026	.23	.21	.26	.23	.20	.25	.22	.20	.19
			10	.25	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.28	.17
12  โคมฝังชนิดมีกระจกแก้วกระจายแสงกั้น	V  1 1/2 % 50 1/2 %	1.3	0	.62	.62	.62	.60	.60	.60	.57	.57	.57	.54	.54	.54	.52	.52	.52	.51
			1	.53	.51	.48	.52	.49	.47	.49	.47	.46	.47	.45	.44	.45	.43	.42	.41
			2	.46	.42	.39	.45	.42	.39	.43	.40	.38	.41	.39	.36	.39	.37	.35	.34
			3	.41	.36	.33	.40	.35	.32	.38	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.32	.30	.29
			4	.36	.31	.28	.35	.31	.28	.34	.30	.27	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.25
			5	.32	.27	.24	.31	.27	.24	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.28	.25	.22	.21
			6	.29	.24	.20	.28	.24	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.19	.18
			7	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.22	.19	.17	.16
			8	.23	.19	.16	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.18	.15	.20	.17	.15	.14
			9	.21	.17	.14	.21	.16	.14	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.19	.15	.13	.12
			10	.19	.15	.152	.19	.15	.12	.18	.14	.12	.18	.14	.12	.17	.14	.12	.11

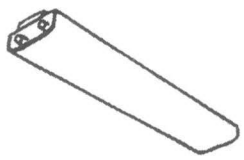
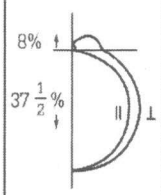
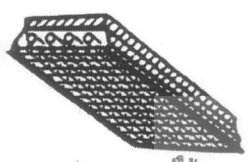
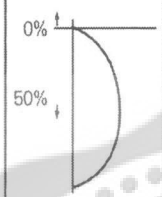
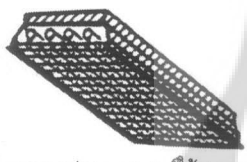
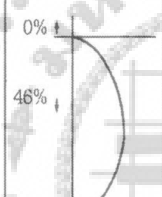
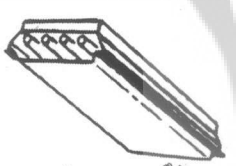
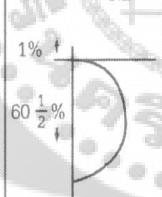
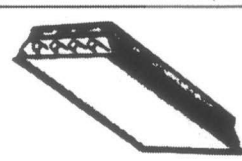
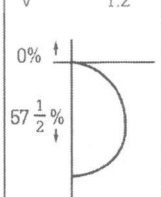
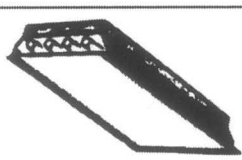
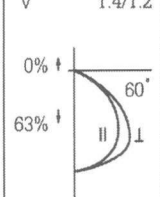
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนดูแลนของหลอดไฟ		ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
			ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
25	II	1.3	0	.99	.99	.99	.94	.94	.94	.85	.85	.85	.77	.77	.77	.69	.69	.69	.65
			1	.88	.85	.82	.84	.81	.78	.76	.74	.72	.69	.67	.66	.62	.61	.60	.57
			2	.78	.73	.69	.74	.70	.66	.68	.64	.61	.62	.59	.56	.56	.54	.52	.49
			3	.70	.63	.58	.67	.61	.57	.61	.56	.53	.56	.52	.49	.51	.48	.46	.43
			4	.62	.55	.50	.60	.53	.49	.55	.50	.46	.50	.46	.43	.46	.43	.40	.37
			5	.58	.48	.43	.53	.47	.42	.49	.44	.39	.45	.41	.37	.41	.38	.35	.32
			6	.50	.43	.38	.48	.41	.37	.44	.39	.35	.41	.36	.33	.37	.34	.31	.29
			7	.45	.38	.33	.43	.37	.32	.40	.34	.30	.37	.32	.29	.34	.30	.27	.25
			8	.40	.34	.29	.39	.32	.28	.36	.30	.27	.33	.28	.25	.31	.27	.24	.22
			9	.36	.30	.25	.35	.29	.24	.32	.27	.23	.30	.25	.22	.28	.24	.22	.19
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบเคลือบสารมีมุมกันแสง 35°			10	.33	.27	.22	.32	.26	.22	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.25	.21	.18	.17
26	II	1.5/1.3	0	.95	.95	.95	.91	.91	.91	.83	.83	.83	.76	.76	.76	.69	.69	.69	.66
			1	.85	.82	.80	.82	.79	.77	.75	.73	.72	.69	.68	.66	.64	.63	.62	.59
			2	.76	.72	.68	.74	.70	.66	.68	.65	.62	.63	.61	.58	.58	.56	.55	.52
			3	.69	.63	.59	.66	.61	.57	.62	.58	.54	.57	.54	.51	.53	.51	.48	.46
			4	.62	.56	.51	.60	.54	.50	.56	.51	.47	.52	.48	.45	.48	.45	.43	.41
			5	.55	.49	.44	.53	.48	.43	.50	.45	.41	.47	.43	.41	.44	.40	.38	.36
			6	.50	.43	.39	.48	.42	.38	.45	.40	.36	.42	.38	.35	.40	.36	.33	.31
			7	.45	.38	.34	.43	.37	.33	.41	.36	.32	.38	.34	.30	.36	.32	.29	.27
			8	.40	.34	.29	.39	.33	.29	.37	.31	.28	.34	.30	.26	.32	.28	.25	.24
			9	.36	.30	.25	.35	.29	.25	.33	.28	.24	.31	.26	.23	.29	.25	.22	.20
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบอะลูมิเนียมมุมกั้นแสง 35°			10	.33	.26	.22	.32	.26	.22	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19	.18
27	II	1.0	0	.91	.91	.91	.86	.86	.86	.77	.77	.77	.68	.68	.68	.61	.61	.61	.57
			1	.81	.78	.76	.77	.74	.72	.69	.67	.66	.62	.61	.59	.56	.55	.54	.51
			2	.72	.68	.64	.69	.65	.61	.62	.59	.57	.56	.54	.52	.51	.49	.47	.45
			3	.65	.59	.55	.62	.57	.53	.56	.52	.49	.51	.48	.45	.46	.44	.42	.39
			4	.58	.52	.48	.56	.50	.46	.51	.46	.43	.46	.43	.40	.42	.39	.37	.35
			5	.52	.46	.41	.50	.44	.40	.46	.41	.37	.42	.38	.35	.38	.35	.33	.30
			6	.47	.41	.36	.45	.39	.35	.41	.37	.33	.38	.34	.31	.35	.31	.29	.27
			7	.43	.36	.32	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.34	.30	.27	.32	.28	.26	.24
			8	.38	.32	.28	.37	.31	.27	.34	.29	.26	.31	.27	.24	.29	.26	.23	.21
			9	.35	.29	.24	.33	.28	.24	.31	.26	.22	.28	.24	.21	.26	.22	.20	.18
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบเคลือบสารมีมุมกั้นแสง 35° และตะแกรงกั้นแสงมีใบทำมุม 35°			10	.32	.26	.22	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19	.24	.20	.18	.16
28	II	1.5/1.1	0	.83	.83	.83	.79	.79	.79	.72	.72	.72	.65	.65	.65	.59	.59	.59	.56
			1	.75	.72	.70	.72	.69	.67	.65	.64	.62	.60	.59	.58	.55	.54	.53	.50
			2	.67	.63	.60	.65	.61	.58	.59	.57	.54	.55	.53	.51	.50	.49	.47	.45
			3	.61	.56	.52	.58	.54	.51	.54	.50	.48	.50	.47	.45	.46	.44	.42	.40
			4	.55	.49	.45	.53	.48	.44	.49	.45	.42	.45	.42	.40	.42	.39	.47	.36
			5	.49	.44	.40	.47	.42	.39	.44	.40	.37	.41	.38	.35	.38	.35	.33	.31
			6	.45	.39	.35	.43	.38	.34	.40	.36	.33	.37	.34	.31	.35	.32	.30	.28
			7	.40	.35	.31	.39	.34	.30	.36	.32	.29	.34	.30	.27	.32	.29	.26	.26
			8	.36	.31	.27	.35	.30	.26	.33	.28	.25	.31	.27	.24	.29	.25	.23	.21
			9	.33	.27	.23	.32	.26	.23	.29	.25	.22	.28	.24	.21	.26	.22	.20	.19
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงเป็นอะลูมิเนียมมีมุมกั้นแสง 35° และตะแกรงกั้นแสงมีใบทำมุม 35°			10	.30	.24	.21	.29	.24	.20	.27	.2	2.19	.25	.21	.19	.23	.20	.18	.16
29	II	1.1	0	.75	.75	.75	.69	.69	.69	.57	.57	.57	.46	.46	.46	.37	.37	.37	.32
			1	.67	.64	.62	.61	.59	.57	.51	.50	.49	.42	.41	.40	.34	.33	.32	.29
			2	.59	.55	.52	.55	.51	.49	.46	.44	.42	.38	.36	.35	.31	.30	.29	.25
			3	.53	.48	.45	.49	.45	.42	.41	.39	.36	.35	.32	.31	.28	.27	.26	.23
			4	.47	.42	.39	.44	.40	.36	.37	.34	.32	.31	.29	.27	.26	.24	.23	.20
			5	.43	.37	.33	.40	.35	.31	.34	.30	.28	.28	.26	.24	.23	.22	.20	.18
			6	.39	.33	.29	.36	.31	.28	.31	.27	.25	.26	.23	.21	.22	.20	.18	.16
			7	.35	.30	.26	.33	.28	.25	.28	.24	.22	.24	.21	.19	.20	.18	.16	.15
			8	.32	.26	.23	.30	.25	.22	.25	.22	.19	.22	.19	.17	.18	.16	.15	.13
			9	.29	.24	.20	.27	.22	.19	.23	.20	.17	.20	.17	.15	.16	.15	.13	.12
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแขวนแบบมีสารกระจายแสงขึ้นลงจากตัวกระจายแสงโลหะมีมุมกันแสง 45° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 45°			10	.26	.21	.18	.25	.20	.17	.21	.18	.15	.18	.15	.14	.15	.13	.12	.10
30	IV	1.0	0	.61	.61	.61	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.51	.51	.51	.48	.48	.48	.46
			1	.54	.52	.51	.52	.51	.49	.49	.48	.47	.46	.45	.44	.43	.43	.42	.40
			2	.48	.46	.43	.47	.44	.42	.44	.42	.40	.42	.40	.38	.39	.38	.37	.35
			3	.44	.40	.37	.43	.39	.37	.40	.38	.35	.38	.36	.34	.36	.34	.33	.31
			4	.40	.36	.33	.39	.35	.32	.37	.34	.31	.35	.32	.30	.33	.31	.29	.28
			5	.36	.32	.29	.35	.31	.28	.33	.30	.28	.32	.29	.27	.30	.28	.26	.25
			6	.33	.29	.26	.32	.28	.25	.30	.27	.25	.29	.26	.24	.28	.25	.23	.22
			7	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.25	.23	.21	.20
			8	.27	.23	.20	.27	.23	.20	.25	.22	.20	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.18
			9	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.23	.20	.18	.22	.19	.17	.21	.19	.17	.16
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบมีสารกระจายแสงลงด้านล่าง ตัวกระจายแสงเป็นโลหะมีมุมกันแสง 45° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 45°			10	.23	.19	.16	.22	.19	.16	.21	.18	.16	.20	.18	.16	.20	.17	.15	.14

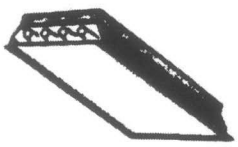
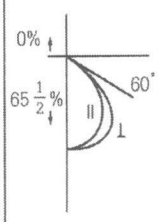
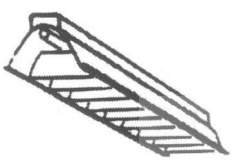
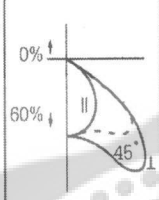
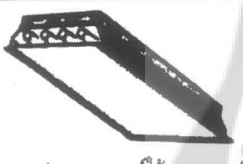
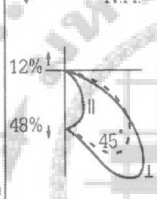
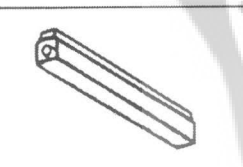
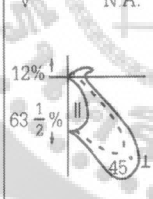
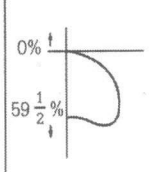
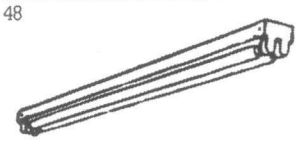
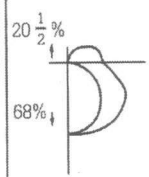
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนลูเมนของหลอดไฟ		ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
			ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
31  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด แบบเซลล์พาราโบลิกและมีกำบังขนาด 150x150 มม.	IV	1.5/1.2	0	.69	.69	.69	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.62	.62	.62	.59	.59	.59	.58
			1	.63	.61	.59	.62	.60	.58	.59	.58	.57	.57	.56	.55	.55	.54	.53	.52
			2	.57	.54	.52	.56	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.49	.51	.49	.48	.47
			3	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.49	.46	.44	.48	.45	.43	.46	.44	.42	.41
			4	.47	.42	.39	.46	.42	.39	.44	.41	.38	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.36
			5	.42	.37	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.39	.36	.33	.38	.35	.33	.32
			6	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.34	.31	.29	.28
			7	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.31	.28	.25	.24
			8	.30	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.28	.24	.22	.21
			9	.27	.22	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.25	.22	.19	.25	.21	.19	.18
			10	.24	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.17	.23	.19	.17	.22	.19	.17	.16
32  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด แบบไม่มีกำบังติดลอยห่างกัน 150 มม.	I	1.3	0	1.02	1.02	1.02	.99	.99	.99	.92	.92	.92	.86	.86	.86	.81	.81	.81	.78
			1	.86	.82	.78	.83	.79	.75	.78	.74	.71	.73	.70	.67	.68	.66	.64	.61
			2	.74	.67	.61	.71	.65	.60	.66	.61	.57	.62	.58	.54	.58	.55	.52	.49
			3	.64	.56	.50	.62	.55	.49	.58	.52	.47	.54	.49	.45	.51	.47	.43	.41
			4	.56	.48	.42	.55	.47	.41	.51	.45	.39	.48	.42	.38	.45	.40	.36	.34
			5	.49	.41	.35	.48	.40	.34	.45	.38	.33	.42	.36	.32	.39	.34	.30	.28
			6	.44	.36	.30	.43	.35	.29	.40	.33	.28	.38	.32	.27	.35	.30	.26	.24
			7	.39	.31	.25	.38	.30	.25	.36	.29	.24	.34	.28	.23	.32	.27	.23	.21
			8	.35	.27	.22	.34	.27	.22	.32	.26	.21	.30	.24	.20	.29	.23	.19	.18
			9	.32	.24	.19	.31	.23	.19	.29	.22	.18	.27	.21	.17	.26	.20	.17	.15
			10	.29	.21	.17	.28	.21	.16	.26	.20	.15	.25	.19	.15	.23	.18	.15	.13
33  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบแขวนชนิดกึ่งกระจายแสงขึ้น (เปิดด้านบน)	VI	N.A.	0	.77	.77	.77	.68	.68	.68	.50	.50	.50	.34	.34	.34	.19	.19	.19	.12
			1	.67	.64	.62	.59	.57	.54	.44	.42	.41	.30	.29	.28	.17	.16	.16	.10
			2	.59	.54	.50	.52	.48	.45	.38	.36	.34	.26	.25	.23	.15	.14	.13	.09
			3	.51	.46	.42	.45	.41	.37	.34	.31	.28	.23	.21	.20	.13	.12	.12	.07
			4	.45	.40	.35	.40	.35	.31	.30	.27	.24	.20	.18	.17	.12	.11	.10	.06
			5	.40	.34	.30	.35	.30	.27	.26	.23	.20	.18	.16	.14	.10	.09	.08	.05
			6	.36	.30	.26	.32	.27	.23	.24	.20	.18	.16	.14	.12	.09	.08	.07	.05
			7	.32	.26	.22	.28	.23	.20	.21	.18	.15	.15	.12	.11	.08	.07	.06	.04
			8	.29	.23	.19	.25	.21	.17	.19	.16	.13	.13	.11	.09	.08	.06	.06	.03
			9	.26	.20	.17	.23	.18	.15	.17	.14	.12	.12	.10	.08	.07	.06	.05	.03
			10	.24	.18	.15	.21	.16	.13	.16	.12	.10	.11	.09	.07	.06	.05	.04	.03
34  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด แบบแขวนชนิดกึ่งกระจายแสงลงมีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วปิดด้านล่างส่วนด้านข้างและด้านบนเปิด	VI	1.4/1.2	0	.91	.91	.91	.85	.85	.85	.74	.74	.74	.64	.64	.64	.54	.54	.54	.50
			1	.80	.77	.74	.75	.73	.70	.66	.64	.62	.57	.56	.54	.49	.48	.47	.43
			2	.71	.66	.62	.67	.63	.59	.59	.56	.53	.51	.49	.47	.44	.43	.41	.38
			3	.63	.58	.53	.60	.55	.50	.53	.49	.45	.46	.43	.41	.40	.38	.36	.33
			4	.57	.50	.45	.53	.48	.43	.47	.43	.39	.41	.38	.35	.36	.34	.32	.29
			5	.50	.44	.39	.48	.42	.37	.42	.38	.34	.37	.34	.31	.33	.30	.28	.25
			6	.45	.39	.34	.43	.37	.33	.38	.33	.30	.34	.30	.27	.30	.27	.24	.22
			7	.41	.34	.30	.39	.33	.28	.34	.30	.26	.30	.27	.24	.27	.24	.21	.19
			8	.37	.30	.26	.35	.29	.25	.31	.26	.23	.27	.24	.21	.24	.21	.19	.17
			9	.33	.27	.22	.31	.26	.22	.28	.23	.20	.25	.21	.18	.22	.19	.16	.15
			10	.30	.24	.20	.28	.23	.19	.25	.21	.18	.23	.19	.16	.20	.17	.14	.13
35  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงแบบเกล็ดแก้วปิดหุ้มรอบด้านยาวและปิดด้านข้าง	V	1.5/1.2	0	.81	.81	.81	.78	.78	.78	.72	.72	.72	.66	.66	.66	.61	.61	.61	.59
			1	.71	.69	.66	.69	.66	.64	.64	.62	.60	.59	.58	.56	.55	.54	.56	.50
			2	.64	.59	.56	.61	.58	.54	.57	.54	.51	.53	.51	.49	.49	.48	.46	.44
			3	.57	.52	.48	.55	.50	.47	.51	.48	.45	.48	.45	.42	.45	.42	.40	.38
			4	.51	.46	.41	.49	.44	.41	.46	.42	.39	.43	.40	.37	.41	.38	.35	.34
			5	.46	.40	.36	.44	.39	.35	.41	.37	.34	.39	.35	.32	.37	.33	.31	.29
			6	.41	.35	.31	.40	.35	.31	.38	.33	.30	.35	.31	.28	.33	.30	.27	.26
			7	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.34	.29	.25	.32	.28	.25	.30	.27	.24	.23
			8	.33	.28	.24	.32	.27	.23	.30	.26	.22	.29	.25	.22	.27	.24	.21	.19
			9	.30	.24	.20	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.26	.22	.19	.24	.21	.18	.17
			10	.27	.22	.18	.26	.21	.18	.25	.20	.17	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.15
36 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงแบบเกล็ดแก้วปิดหุ้มรอบด้านยาวและเปิดด้านข้าง	V	1.2	0	.82	.82	.82	.77	.77	.77	.69	.69	.69	.61	.61	.61	.53	.53	.53	.50
			1	.71	.68	.65	.67	.65	.62	.60	.58	.56	.53	.51	.50	.47	.45	.44	.41
			2	.63	.58	.54	.59	.55	.52	.53	.50	.47	.47	.45	.42	.42	.40	.38	.35
			3	.56	.50	.46	.53	.48	.44	.47	.44	.40	.42	.39	.37	.38	.35	.33	.31
			4	.50	.44	.40	.48	.42	.38	.43	.39	.35	.38	.35	.32	.34	.32	.29	.27
			5	.45	.9	.34	.3	.37	.33	.38	.34	.31	.35	.31	.28	.31	.28	.26	.24
			6	.41	.35	.30	.39	.33	.29	.35	.30	.27	.32	.28	.25	.28	.25	.23	.21
			7	.37	.31	.27	.35	.30	.26	.32	.27	.24	.29	.25	.22	.26	.23	.20	.19
			8	.33	.27	.23	.32	.26	.23	.29	.24	.21	.26	.22	.20	.23	.20	.18	.16
			9	.30	.24	.20	.29	.23	.20	.26	.22	.19	.24	.20	.17	.21	.18	.16	.14
			10	.27	.22	.18	.26	.21	.18	.24	.19	.16	.22	.18	.15	.19	.16	.14	.13

$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

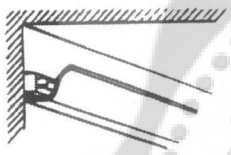
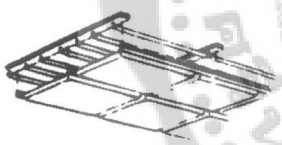
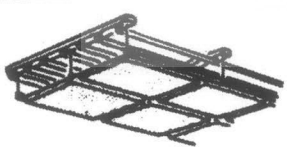
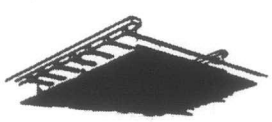
ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนลูเมนของหลอดไฟ	ρ_{cc} →	80			70			50			30			10			0
		ρ_w →	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)														
37  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงรอบด้านยาวเปิดด้านข้าง	V	1.3	0	.52	.52	.52	.50	.50	.50	.46	.46	.46	.43	.43	.43	.39	.39	.39	.38
			1	.45	.43	.41	.43	.41	.39	.40	.38	.37	.36	.35	.34	.34	.33	.32	.30
			2	.30	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.30	.32	.30	.28	.29	.28	.25	.25
			3	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.30	.27	.25	.28	.26	.24	.26	.24	.22	.20
			4	.30	.26	.23	.29	.25	.22	.27	.24	.21	.25	.22	.20	.23	.21	.19	.18
			5	.26	.22	.19	.25	.21	.19	.23	.20	.18	.22	.19	.17	.20	.18	.16	.15
			6	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.21	.18	.15	.19	.17	.14	.18	.16	.14	.13
			7	.21	.17	.14	.20	.16	.14	.19	.16	.13	.18	.15	.13	.16	.14	.12	.11
			8	.19	.15	.12	.18	.14	.12	.17	.14	.11	.16	.13	.11	.15	.12	.10	.0
			9	.17	.13	.10	.16	.13	.10	.15	.12	.10	.14	.11	.09	.13	.11	.09	.08
			10	.15	.12	.09	.15	.11	.09	.14	.11	.09	.13	.10	.08	.12	.10	.08	.07
38  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างพลาสติกกั้น 45°	IV	1.0	0	.60	.60	.60	.58	.58	.58	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.50
			1	.54	.52	.50	.52	.51	.49	.50	.49	.48	.48	.47	.46	.47	.46	.45	.44
			2	.48	.45	.43	.47	.44	.42	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.42	.41	.39	.39
			3	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.35	.40	.37	.36	.39	.37	.35	.34
			4	.39	.35	.32	.38	.35	.32	.37	.34	.32	.36	.33	.31	.35	.33	.31	.30
			5	.35	.31	.28	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.29	.27	.26
			6	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25	.29	.26	.24	.23
			7	.29	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.27	.24	.22	.21
			8	.26	.22	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.20	.25	.22	.19	.24	.21	.19	.18
			9	.24	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.23	.19	.17	.22	.19	.17	.16
			10	.22	.18	.16	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.15	.20	.17	.15	.15
39  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างโลหะสีขาวกั้น 45°	IV	0.9	0	.55	.55	.55	.54	.54	.54	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.47	.47	.47	.46
			1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.45	.45	.44	.43	.43	.43	.42	.41
			2	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.39	.41	.40	.38	.40	.39	.37	.37
			3	.41	.38	.36	.40	.38	.35	.39	.37	.35	.38	.36	.34	.37	.35	.34	.33
			4	.37	.34	.32	.37	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.29
			5	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.30	.27	.32	.29	.27	.31	.29	.27	.26
			6	.31	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25	.29	.27	.25	.29	.26	.24	.24
			7	.29	.25	.23	.28	.25	.23	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.26	.24	.22	.21
			8	.26	.23	.20	.26	.23	.20	.25	.22	.20	.25	.22	.20	.24	.22	.20	.19
			9	.24	.20	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.18	.23	.20	.18	.22	.20	.18	.17
			10	.22	.19	.16	.22	.19	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.18	.16	.15
40  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างสีขาวขุ่น	V	1.2	0	.73	.73	.73	.71	.71	.71	.68	.68	.68	.65	.65	.65	.62	.62	.62	.60
			1	.64	.61	.59	.62	.60	.58	.60	.58	.56	.57	.56	.54	.55	.54	.52	.51
			2	.56	.52	.49	.55	.51	.48	.52	.49	.47	.50	.48	.46	.48	.46	.44	.43
			3	.50	.45	.41	.49	.44	.41	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.43	.41	.38	.37
			4	.44	.39	.35	.43	.38	.35	.42	.37	.34	.40	.36	.33	.39	.36	.33	.32
			5	.39	.34	.30	.38	.33	.29	.37	.32	.29	.36	.32	.29	.34	.31	.28	.27
			6	.35	.30	.26	.34	.29	.25	.33	.29	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.23
			7	.31	.26	.22	.31	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.20
			8	.28	.23	.19	.28	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.25	.22	.19	.18
			9	.25	.20	.17	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.15
			10	.23	.18	.15	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.17	.15	.21	.17	.14	.13
41  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างแบบเรียบ	V	1.2	0	.69	.69	.69	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.59	.59	.59	.58
			1	.61	.58	.56	.59	.57	.56	.57	.55	.54	.55	.53	.52	.53	.52	.51	.49
			2	.53	.50	.47	.52	.49	.46	.50	.48	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.43	.42
			3	.47	.43	.40	.47	.42	.39	.45	.41	.38	.43	.40	.38	.42	.38	.37	.36
			4	.42	.37	.34	.41	.37	.33	.40	.36	.33	.39	.35	.33	.37	.35	.33	.31
			5	.37	.32	.29	.37	.32	.28	.35	.31	.28	.34	.31	.28	.33	.30	.27	.26
			6	.33	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.24	.31	.27	.24	.30	.27	.24	.23
			7	.30	.25	.22	.30	.25	.21	.29	.24	.21	.28	.24	.21	.27	.24	.21	.20
			8	.27	.22	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.17
			9	.24	.19	.16	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.15
			10	.22	.17	.14	.22	.17	.14	.21	.17	.14	.21	.17	.14	.20	.17	.14	.13
42  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างแบบเกล็ดแก้วเรียบ	V	1.4/1.2	0	.75	.75	.75	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.63
			1	.67	.65	.63	.66	.64	.62	.63	.62	.60	.61	.60	.58	.59	.58	.57	.55
			2	.60	.57	.54	.59	.56	.53	.57	.54	.52	.55	.53	.51	.53	.51	.50	.49
			3	.54	.50	.47	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.50	.47	.45	.48	.46	.44	.43
			4	.49	.44	.40	.48	.44	.40	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.44	.41	.39	.37
			5	.44	.39	.35	.43	.38	.35	.42	.38	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.33
			6	.40	.34	.31	.39	.34	.31	.38	.34	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.29
			7	.36	.30	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25
			8	.32	.27	.23	.32	.27	.23	.32	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.22
			9	.29	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.23	.20	.19
			10	.26	.21	.18	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.20	.18	.24	.20	.18	.16

$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า}}{\text{ความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน}}$$

ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอูเมนของหลอดไฟ	ρ_{cc} →	80			70			50			30			10			0
		ρ_w →	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)														
43  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างแบบเกล็ดแก้วเรียบความสว่างต่ำ	V	1.4/1.3	0	.78	.78	.78	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.66
			1	.71	.69	.67	.70	.68	.65	.67	.65	.64	.64	.63	.62	.62	.61	.60	.59
			2	.64	.61	.58	.63	.60	.58	.61	.59	.56	.59	.57	.55	.57	.55	.54	.53
			3	.58	.54	.51	.58	.54	.51	.56	.52	.50	.54	.51	.49	.52	.50	.48	.47
			4	.53	.48	.45	.52	.48	.44	.51	.47	.44	.49	.46	.43	.48	.45	.43	.42
			5	.48	.43	.39	.47	.42	.39	.46	.42	.39	.45	.41	.38	.43	.40	.38	.37
			6	.43	.38	.35	.43	.38	.34	.42	.37	.34	.40	.37	.34	.40	.36	.34	.32
			7	.39	.34	.30	.38	.34	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.28
			8	.35	.30	.26	.35	.30	.26	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25
			9	.31	.26	.23	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.21
			10	.28	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.23	.20	.19
44  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีการประจายแสงสว่างเป็นแบบบีกค้างคาว	IV	N.A.	0	.71	.71	.71	.70	.70	.70	.66	.66	.66	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.60
			1	.65	.63	.61	.63	.62	.60	.61	.59	.58	.59	.57	.56	.57	.56	.55	.54
			2	.59	.55	.53	.58	.55	.52	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.49	.48
			3	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.50	.47	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.43	.42
			4	.47	.43	.40	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.44	.41	.39	.43	.40	.38	.37
			5	.42	.38	.34	.42	.37	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.39	.36	.33	.32
			6	.38	.33	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.28
			7	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.33	.28	.25	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.24
			8	.30	.25	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.27	.24	.21	.20
			9	.27	.22	.18	.26	.22	.18	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.17
			10	.24	.19	.16	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.19	.16	.22	.18	.16	.15
45  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบกระจายแสงสว่างแบบบีกค้างคาว	V	N.A.	0	.57	.57	.57	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.48
			1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.44	.45	.44	.43	.44	.43	.42	.41
			2	.44	.41	.38	.43	.40	.38	.41	.39	.37	.40	.38	.36	.38	.37	.35	.34
			3	.39	.35	.32	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.33	.30	.34	.32	.30	.29
			4	.34	.30	.27	.33	.29	.25	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.30	.27	.25	.24
			5	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.27	.24	.21	.26	.23	.21	.20
			6	.26	.22	.19	.26	.22	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.23	.20	.18	.17
			7	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.21	.18	.15	.21	.18	.15	.14
			8	.21	.16	.13	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.19	.15	.13	.18	.15	.13	.12
			9	.18	.14	.11	.18	.14	.11	.17	.14	.11	.17	.13	.11	.16	.13	.11	.10
			10	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.15	.12	.09	.15	.12	.09	.08
46  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้มีแผ่นกรองแสงสว่างแบบเกล็ดแก้วหุ้มรอบด้านเปิดหัว-ท้าย	V	N.A.	0	.87	.87	.87	.84	.84	.84	.77	.77	.77	.72	.72	.72	.66	.66	.66	.64
			1	.76	.73	.70	.73	.70	.67	.67	.65	.63	.63	.61	.59	.58	.57	.55	.53
			2	.66	.61	.57	.64	.59	.56	.59	.56	.52	.55	.52	.49	.51	.49	.47	.44
			3	.59	.53	.48	.56	.51	.47	.53	.48	.44	.49	.45	.42	.46	.43	.40	.38
			4	.52	.45	.40	.50	.44	.40	.47	.42	.38	.44	.39	.36	.41	.37	.34	.32
			5	.46	.38	.34	.44	.38	.33	.41	.36	.32	.38	.34	.31	.36	.32	.29	.27
			6	.41	.34	.29	.39	.33	.29	.37	.31	.27	.34	.30	.26	.32	.28	.25	.23
			7	.36	.30	.25	.35	.29	.24	.33	.27	.23	.31	.26	.23	.29	.25	.22	.20
			8	.32	.26	.21	.31	.25	.21	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.26	.21	.18	.17
			9	.29	.22	.18	.28	.22	.18	.26	.21	.17	.24	.20	.16	.23	.19	.15	.14
			10	.26	.20	.16	.25	.19	.15	.23	.18	.15	.22	.17	.14	.20	.16	.13	.12
47 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างแบบเกล็ดแก้วเรียบ	V	1.7	0	.71	.71	.71	.69	.69	.69	.66	.66	.66	.63	.63	.63	.61	.61	.61	.60
			1	.62	.60	.58	.61	.59	.57	.59	.57	.55	.56	.55	.53	.54	.53	.52	.51
			2	.55	.51	.47	.53	.50	.47	.51	.48	.46	.49	.47	.45	.48	.45	.44	.42
			3	.48	.43	.39	.47	.43	.39	.45	.41	.38	.44	.40	.38	.42	.39	.37	.36
			4	.42	.37	.33	.41	.37	.33	.40	.36	.32	.39	.35	.32	.37	.34	.31	.30
			5	.37	.32	.27	.36	.31	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.25
			6	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.21
			7	.29	.24	.20	.29	.24	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.19	.18
			8	.26	.21	.17	.25	.20	.17	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.21	.16	.15
			9	.23	.18	.14	.23	.18	.14	.22	.17	.14	.21	.17	.14	.21	.17	.14	.13
			10	.21	.16	.12	.20	.16	.12	.20	.15	.12	.19	.15	.12	.19	.15	.12	.11
48  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด แบบไม่มีตัวกั้นแสงสว่าง หลอดอยู่ชิดกัน	I	1.6/1.2	0	1.01	1.01	1.01	.96	.96	.96	.87	.87	.87	.79	.79	.79	.72	.72	.72	.68
			1	.85	.84	.77	.81	.77	.73	.73	.70	.67	.66	.64	.62	.60	.58	.56	.53
			2	.73	.66	.61	.69	.63	.58	.63	.58	.54	.57	.53	.50	.51	.48	.45	.42
			3	.63	.56	.50	.60	.53	.48	.55	.49	.44	.50	.45	.41	.45	.41	.38	.35
			4	.56	.47	.41	.53	.46	.40	.48	.42	.37	.44	.39	.34	.40	.35	.32	.29
			5	.49	.40	.34	.46	.39	.33	.42	.36	.31	.38	.33	.29	.35	.30	.26	.24
			6	.43	.35	.29	.41	.34	.28	.38	.34	.26	.34	.29	.24	.31	.26	.23	.20
			7	.39	.31	.25	.37	.29	.24	.34	.27	.23	.31	.25	.21	.28	.23	.19	.17
			8	.34	.27	.21	.33	.26	.21	.30	.24	.19	.27	.22	.18	.25	.20	.17	.15
			9	.31	.23	.18	.30	.23	.18	.27	.21	.17	.25	.19	.15	.22	.18	.14	.12
			10	.28	.21	.16	.27	.20	.16	.25	.19	.15	.22	.17	.14	.20	.16	.13	.11

$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า}}{\text{ความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน}}$$

ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนลูเมนของหลอดไฟ		ρ_{cc} →	80			70			50			30			10			0
			ρ_w →	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
49 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด ไม่มีตัวกั้นแสงสว่าง มีมุมกระจายแสง 235° หลอดอยู่ชิดกัน	I	1.4/1.2	0	1.13	1.13	1.13	1.09	1.09	1.09	1.01	1.01	1.01	.94	.94	.94	.88	.88	.88	.85
			1	.96	.92	.88	.93	.89	.85	.87	.83	.80	.81	.78	.75	.75	.73	.71	.68
			2	.83	.76	.70	.80	.74	.68	.75	.69	.65	.70	.65	.61	.65	.61	.58	.55
			3	.73	.65	.58	.70	.63	.57	.66	.59	.54	.61	.56	.52	.57	.53	.49	.46
			4	.64	.55	.49	.62	.54	.48	.58	.51	.46	.54	.48	.44	.51	.46	.42	.39
			5	.56	.47	.41	.55	.46	.40	.51	.44	.38	.48	.42	.37	.45	.39	.35	.33
			6	.50	.41	.35	.49	.40	.34	.46	.38	.33	.43	.36	.32	.40	.35	.32	.28
			7	.45	.36	.30	.44	.35	.30	.41	.34	.28	.38	.32	.27	.36	.31	.26	.24
			8	.40	.32	.25	.39	.31	.25	.37	.30	.25	.35	.28	.24	.33	.27	.23	.21
			9	.36	.28	.22	.35	.27	.22	.33	.26	.21	.31	.25	.20	.29	.24	.20	.18
			10	.33	.25	.20	.32	.24	.19	.30	.23	.19	.28	.22	.18	.27	.21	.17	.15

ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า	ρ_{cc} →	80			70			50			30			10			0
	ρ_w →	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
50  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแถวเดียว พร้อมตัวสะท้อนแสงสว่าง	1	.42	.40	.39	.36	.35	.33	.25	.24	.23							
	2	.37	.34	.32	.32	.29	.27	.22	.20	.19							
	3	.32	.29	.26	.28	.25	.23	.29	.27	.26							
	4	.29	.25	.22	.25	.22	.19	.17	.15	.13							
	5	.25	.21	.18	.22	.19	.16	.15	.13	.11							
	6	.23	.19	.16	.20	.16	.14	.14	.12	.10							
	7	.20	.17	.14	.17	.14	.12	.12	.10	.09							
	8	.18	.15	.12	.16	.13	.10	.11	.09	.08							
	9	.17	.13	.10	.15	.11	.09	.10	.08	.07							
	10	.15	.12	.09	.13	.10	.08	.09	.07	.06							
51  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีพลาสติกหรือแก้วสะท้อนแสงสว่างประสิทธิภาพของเพดาน 60% แสงสว่างส่งผ่านได้ 50% สะท้อนแสงสว่างได้ 40%	1				.60	.58	.56	.58	.56	.54							
	2				.53	.49	.45	.51	.47	.43							
	3				.47	.42	.37	.45	.41	.36							
	4				.41	.36	.32	.39	.35	.31							
	5				.37	.31	.27	.35	.30	.26							
	6				.33	.27	.23	.31	.26	.23							
	7				.29	.24	.20	.28	.23	.20							
	8				.26	.21	.18	.25	.20	.17							
	9				.23	.19	.15	.23	.18	.15							
	10				.21	.17	.13	.21	.16	.13							
52  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีพลาสติกหรือแก้วสะท้อนแสงสว่างแบบเกล็ดแก้ว มีประสิทธิภาพของเพดาน 67% แสงสว่างส่งผ่านได้ 72% สะท้อนแสงสว่างได้ 18%	1				.71	.68	.66	.67	.66	.65	.65	.64	.62				
	2				.63	.60	.57	.61	.58	.55	.59	.56	.54				
	3				.57	.53	.49	.55	.52	.48	.54	.50	.47				
	4				.52	.47	.43	.50	.45	.42	.48	.44	.42				
	5				.46	.41	.37	.44	.40	.37	.43	.40	.36				
	6				.42	.37	.33	.41	.36	.32	.40	.35	.32				
	7				.38	.32	.29	.37	.31	.28	.36	.31	.28				
	8				.34	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.25				
	9				.30	.25	.22	.30	.25	.21	.29	.25	.21				
	10				.27	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19				
53  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพเพดานกรองแสงสว่าง 50% สะท้อนแสงสว่างได้ 80%	1							.51	.49	.48				.47	.46	.45	
	2							.46	.44	.42				.43	.42	.40	
	3							.42	.9	.37				.39	.38	.36	
	4							.38	.35	.33				.36	.34	.32	
	5							.35	.32	.29				.33	.31	.29	
	6							.32	.29	.26				.30	.28	.26	
	7							.29	.26	.23				.28	.25	.23	
	8							.27	.23	.21				.26	.23	.21	
	9							.24	.21	.19				.24	.21	.19	
	10							.22	.19	.17				.22	.19	.17	

$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า}}{\text{ความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน}}$$

ภาคผนวก ค

ข้อมูลทางเทคนิคหลอดแอลอีดีที่ใช้

MASTER LEDspot MV

MASTER LEDspotMV 3-35W GU10 3000K 25D

Delivering a warm, halogen-like accent beam, MASTER LEDspot GU10 is ideal for spot lighting (track, corridors, lift lobbies, display cases and cabinets) in the hospitality industry. It is particularly suited to public areas such as lobbies, corridors, stairwells, where the light is on 24/7. MASTER LED spot GU10 delivers huge energy savings and minimises maintenance cost without any compromise on brightness, enabling hospitality owners to achieve a return on their investment within one year. Compatible with most existing fixtures with a GU10 holder and designed as a retrofit replacement alternative for 35 and 50 W halogen lamps.

- Product Data

Order code	852974 00
Full product code	872790085297400
Full product name	MASTER LEDspotMV 3-35W GU10 3000K 25D
Order product name	MASTER LEDspotMV 3-35W GU10 3000K 25D
Pieces per pack	1
Packs per outerbox	10
Bar code on pack - EAN1	8727900852974
Bar code on outerbox - EAN3	8727900852981
Logistic code(s) - 12NC	929000159201
Net weight per piece	0.028 kg

- General Characteristics

Cap-Base	GU10
Bulb	Reflector [Reflector]
Average Lifetime	22000 hr

- Electrical Characteristics

Wattage	3 W
Wattage Technical	3.1 W
Voltage	240 V
Line Frequency	50-60 Hz
Lamp Current mA	24 mA
Dimmable	No

- Light Technical Characteristics

Colour Code	WH
Colour Designation	White
Beam Angle	25 D
Beam Description	25D [Medium beam]
Correlated Color Temperature	3000 K
Luminous Flux	105 Lm
Luminous Intensity	550 cd
Colour rendering index	80
Luminous Efficacy Lamp	33.87 Lm/W
Colour Temperature	3000 K [CCT 3000K]

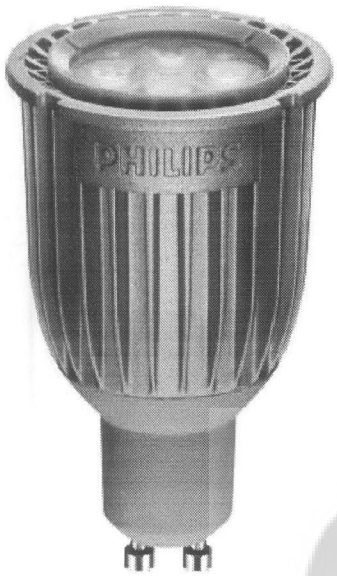
- Product Dimensions

Diameter D	50 mm
Overall Length C	55.5 mm

PHILIPS

sense and simplicity

MASTER LEDspot MV



MASTER LEDspotMV 7-35W GU10 2700K 25D

Delivering a warm, halogen-like accent beam, MASTER LEDspot GU10 is ideal for spot lighting (track, corridors, lift lobbies, display cases and cabinets) in the hospitality industry. It is particularly suited to public areas such as lobbies, corridors, stairwells, where the light is on 24/7. MASTER LED spot GU10 delivers huge energy savings and minimises maintenance cost without any compromise on brightness, enabling hospitality owners to achieve a return on their investment within one year. Compatible with most existing fixtures with a GU10 holder and designed as a retrofit replacement alternative for 35 and 50 W halogen lamps.

Product data

- Product Data

Order code	867671 00
Full product code	872790086767100
Full product name	MASTER LEDspotMV 7-35W GU10 2700K 25D
Order product name	MASTER LEDspotMV 7-35W GU10 2700K 25D
Pieces per pack	1
Packs per outerbox	6
Bar code on pack - EAN1	8727900867671
Bar code on outerbox - EAN3	8727900867688
Logistic code(s) - 12NC	929000161904
Net weight per piece	0.116 kg

- General Characteristics

Cap-Base	GU10
Bulb	Reflector [Reflector]
Average Lifetime	45000 hr

- Electrical Characteristics

Wattage	7 W
Wattage Technical	7 W
Voltage	230 V
Line Frequency	50-60 Hz
Lamp Current mA	42 mA
Dimmable	Yes

- Light Technical Characteristics

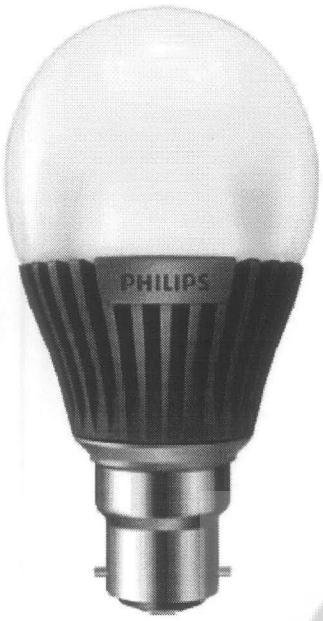
Colour Code	WW
Colour Designation	Warm White
Beam Angle	25 D
Beam Description	25D [Medium beam]
Correlated Color Temperature	2700 K
Luminous Flux	180 Lm
Luminous Intensity	575 cd
Colour rendering index	85
Luminous Efficacy Lamp	25.71 Lm/W
Colour Temperature	2700 K [CCT 2700K]

- Product Dimensions

Diameter D	50.2 mm
Overall Length C	80.5 mm

PHILIPS
sense and simplicity

MASTER LEDbulb



MASTER LEDbulb 7W B22 2700K 230V A60

MASTER LEDbulb A60 7W delivers a dimmable glow effect for a welcoming, warm atmosphere and its unique design radiates warm light in all directions, making it a true alternative to the incandescent lamp. MASTER LEDbulb A55 6W delivers a dimmable, soft, warm light. MASTERLEDbulbs are ideal for general lighting applications in the hospitality industry. They are particularly suited to public areas such as lobbies, corridors, stairwells, where the light is always on. Compatible with existing fixtures with an E27 holder and designed for retrofit replacement of 25 and 40W incandescent bulbs, MASTER LEDbulbs deliver huge energy savings and minimise maintenance cost without any compromise on light quality. It can be used together with most leading-edge dimmers, enabling further efficiencies that will help hospitality owners recoup their investment within one year.

Product data

- Product Data

Order code	866513 00
Full product code	872790086651300
Full product name	MASTER LEDbulb 7W B22 2700K 230V A60
Order product name	MASTER LEDbulb 7W B22 2700K 230V A60
Pieces per pack	1
Packs per outerbox	6
Bar code on pack - EAN1	8727900866513
Bar code on outerbox - EAN3	8727900866520
Logistic code(s) - 12NC	929000164401
Net weight per piece	0.120 kg

- General Characteristics

Cap-Base	BC
Bulb	A60 [A 60mm]
Bulb Finish	Frosted
Average Lifetime	25000 hr

- Electrical Characteristics

Wattage	7 W
Wattage Technical	7.5 W
Voltage	230 V
Line Frequency	50-60 Hz
Dimmable	Yes

- Light Technical Characteristics

Colour Code	WW
Colour Designation	Warm White
Correlated Color Temperature	2700 K
Luminous Flux	400 Lm
Colour rendering index	80
Colour Temperature	2700 K [CCT 2700K]

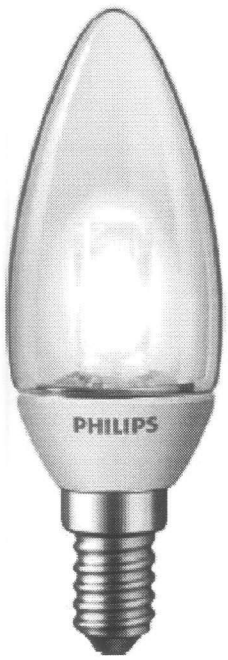
- Product Dimensions

Diameter D	60 mm
Overall Length C	108.9 mm

PHILIPS

sense and simplicity

Novallure Lamps



Novallure 2W E14 3000K B35 CL 1CT

Delivering incandescent-like sparkling light effects, Novallure LED candle and luster bulbs are ideal for general and decorative lighting in the hospitality industry, as well as in home environments. Mounted in full view in chandeliers, wall scones or modern luminaires, the clear or frosted glass bulbs fit all existing fixtures with an E14 socket. Drawing upon inputs from chandelier makers and designed to enhance the aesthetic appeal of the chandelier or luminaire, not only when lit but also when not, these lamps come in a classical slender shape with a unique, eye-catching lens design. They produce a beautiful sparkling warm light that delivers huge energy savings and minimises maintenance cost.

• Product Data

Order code	852899 00
Full product code	872790085289900
Full product name	Novallure 2W E14 3000K B35 CL 1CT
Order product name	Novallu. 2W E14 3000K B35 CL 1CT/10
Pieces per pack	1
Packs per outerbox	10
Bar code on pack - EAN1	8727900852899
Bar code on outerbox - EAN3	8727900852905
Logistic code(s) - 12NC	929000167002
Net weight per piece	0.035 kg

• General Characteristics

Cap-Base	SES
Bulb	B35 [B 35mm]
Bulb Finish	Clear
Average Lifetime	15000 hr
Rated Lifetime (hours)	15000 hr
Rated Lifetime (years)	10 an

• Electrical Characteristics

Wattage	2 W
Wattage Technical	2.0 W
Voltage	230-240 V [230-240]
Line Frequency	50-60 Hz
Power Factor	0.5 -
Dimmable	No
Wattage Equivalent	7 W
Rated Wattage	2.0 W
Starting Time	0.5 s

• Environmental characteristics

Energy Efficiency Label (EEL)	Class A

• Light Technical Characteristics

Colour Code	WH
Colour Designation	White
Correlated Color Temperature	3000 K
Luminous Flux	50 Lm
Colour rendering index	80
Colour Temperature	3000 K [CCT 3000K]
Rated Luminous Flux	50 Lm
LLMF - end nominal lifetime	70 %

• Product Dimensions

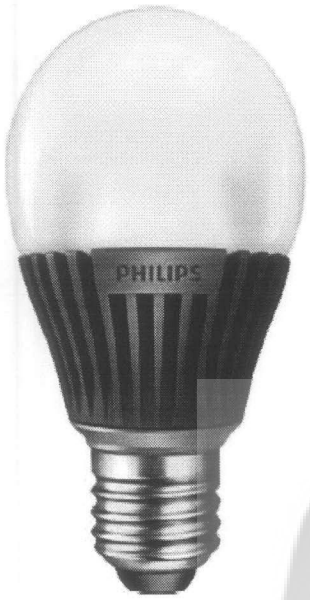
Diameter D	35.1 mm
Overall Length C	99 mm

• Measuring Conditions

Switching cycle	20000x

MASTER LEDbulb

MASTER LEDbulb 7W E27 2700K 230V A60



MASTER LEDbulb A60 7W delivers a dimmable glow effect for a welcoming, warm atmosphere and its unique design radiates warm light in all directions, making it a true alternative to the incandescent lamp. MASTER LEDbulb A55 6W delivers a dimmable, soft, warm light. MASTERLEDbulbs are ideal for general lighting applications in the hospitality industry. They are particularly suited to public areas such as lobbies, corridors, stairwells, where the light is always on. Compatible with existing fixtures with an E27 holder and designed for retrofit replacement of 25 and 40W incandescent bulbs, MASTER LEDbulbs deliver huge energy savings and minimise maintenance cost without any compromise on light quality. It can be used together with most leading-edge dimmers, enabling further efficiencies that will help hospitality owners recoup their investment within one year.

- Product Data

Order code	853056 00
Full product code	872790085305600
Full product name	MASTER LEDbulb 7W E27 2700K 230V A60
Order product name	MASTER LEDbulb 7W E27 2700K 230V A60
Pieces per pack	1
Packs per outerbox	6
Bar code on pack - EAN1	8727900853056
Bar code on outerbox - EAN3	8727900853063
Logistic code(s) - 12NC	929000163601
Net weight per piece	0.120 kg

- General Characteristics

Cap-Base	ES
Bulb	A60 [A 60mm]
Bulb Finish	Frosted
Average Lifetime	25000 hr

- Electrical Characteristics

Wattage	7 W
Wattage Technical	7.5 W
Voltage	230 V
Line Frequency	50-60 Hz
Dimmable	Yes

- Light Technical Characteristics

Colour Code	WW
Colour Designation	Warm White
Correlated Color Temperature	2700 K
Luminous Flux	400 Lm
Colour rendering index	80
Colour Temperature	2700 K [CCT 2700K]

- Product Dimensions

Diameter D	60 mm
Overall Length C	108.9 mm

PHILIPS
sense and simplicity

MASTER LEDspot MV

MASTER LEDspotMV 7W 4200K 230V NR63 40D

Delivering a warm, halogen-like accent beam, MASTER LEDspot GU10 is ideal for spot lighting (track, corridors, lift lobbies, display cases and cabinets) in the hospitality industry. It is particularly suited to public areas such as lobbies, corridors, stairwells, where the light is on 24/7. MASTER LED spot GU10 delivers huge energy savings and minimises maintenance cost without any compromise on brightness, enabling hospitality owners to achieve a return on their investment within one year. Compatible with most existing fixtures with a GU10 holder and designed as a retrofit replacement alternative for 35 and 50 W halogen lamps.

- Product Data

Order code	867466 00
Full product code	872790086746600
Full product name	MASTER LEDspotMV 7W 4200K 230V NR63 40D
Order product name	MASTER LEDspotMV 7W 4200K 230V NR63 40D
Pieces per pack	1
Packs per outerbox	6
Bar code on pack - EAN1	8727900867466
Bar code on outerbox - EAN3	8727900867473
Logistic code(s) - 12NC	929000161204
Net weight per piece	0.176 kg

- General Characteristics

Cap-Base	ES
Bulb	NR63 [NR 63mm]
Average Lifetime	45000 hr

- Electrical Characteristics

Wattage	7 W
Wattage Technical	7 W
Voltage	230 V
Line Frequency	50-60 Hz
Lamp Current mA	42 mA
Dimmable	Yes

- Light Technical Characteristics

Colour Code	CW
Colour Designation	Cool White
Beam Angle	40 D
Beam Description	40D [Medium beam]
Correlated Color Temperature	4200 K
Luminous Flux	220 Lm
Luminous Intensity	320 cd
Colour rendering index	70
Luminous Efficacy Lamp	31.43 Lm/W
Colour Temperature	4200 K [CCT 4200K]

- Product Dimensions

Diameter D	63.3 mm
Overall Length C	101 mm

PHILIPS
sense and simplicity

MASTER LEDspot PAR

MASTER LEDspot 16W 2700K 230V PAR38 OD

With its robust design and warm-white beam of light, these new-generation PAR lamps are ideal for general lighting and spot lighting in the hospitality industry. They are especially suitable for public areas such as lobbies, corridors, stairwells, where the light is always on. Compatible with existing fixtures with an E27 holder and designed for retrofit replacement of 75W halogen lamps, MASTER LEDspot PAR 38/PAR 30 deliver huge energy savings and minimise maintenance cost without any reduction in brightness. The IP44-rated outdoor version of the PAR 38 lamp is one of the few energy-saving alternatives to incandescent PAR38 outdoor lamps available today.

- Product Data

Order code	853032 00
Full product code	872790085303200
Full product name	MASTER LEDspot 16W 2700K 230V PAR38 OD
Order product name	MASTER LEDspot 16W 2700K 230V PAR38 OD
Pieces per pack	1
Packs per outerbox	10
Bar code on pack - EAN1	8727900853032
Bar code on outerbox - EAN3	8727900853049
Logistic code(s) - 12NC	929000162501
Net weight per piece	0.686 kg

- General Characteristics

Cap-Base	ES
Bulb	PAR38 [PAR38 mm]
Average Lifetime	22000 hr

- Electrical Characteristics

Wattage	16 W
Wattage Technical	16.2 W
Voltage	230 V
Line Frequency	50 Hz
Lamp Current mA	78 mA
Dimmable	No

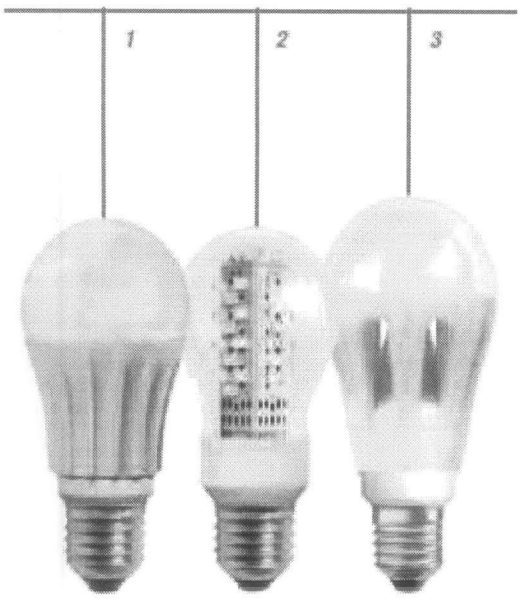
- Light Technical Characteristics

Colour Code	WH
Colour Designation	Warm White
Beam Angle	25 D
Beam Description	25D [Medium beam]
Correlated Color Temperature	2700 K
Luminous Flux	600 Lm
Luminous Intensity	2800 cd
Colour rendering index	80
Luminous Efficacy Lamp	37.0 Lm/W
Colour Temperature	2700 K [CCT 2700K]

- Product Dimensions

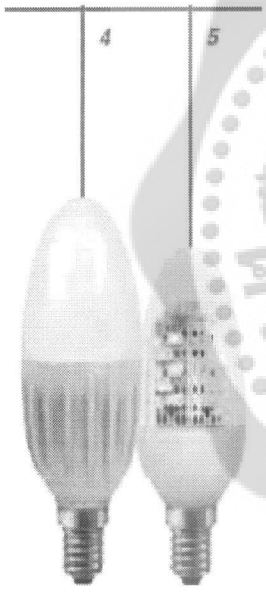
Diameter D	121.5 mm
Overall Length C	131 mm

PHILIPS
sense and simplicity



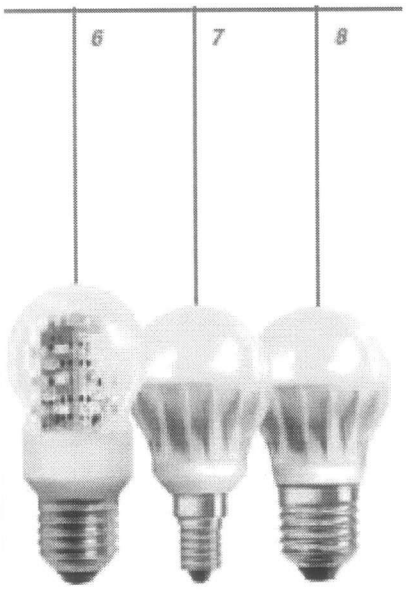
1/2/3 PARATHOM® CLASSIC A – 15/25/40/60/80

- Average life of up to 25 years[1]
- CLASSIC A 15: suitable for indoors and outdoors
- CLASSIC A 40: with OSRAM Golden DRAGON® Plus LED, very narrow color location
- CLASSIC A 60 und 80: 100 % dimmable and with very high light output of up to 806 lm, very narrow color location
- Replacement options:
  15 W incandescent lamp – CLASSIC A 15
  25 W incandescent lamp – CLASSIC A 25
  40 W incandescent lamp – CLASSIC A 40, A 25
  60 W incandescent lamp – CLASSIC A 60, A 80



4/5 PARATHOM® CLASSIC B – 15/25

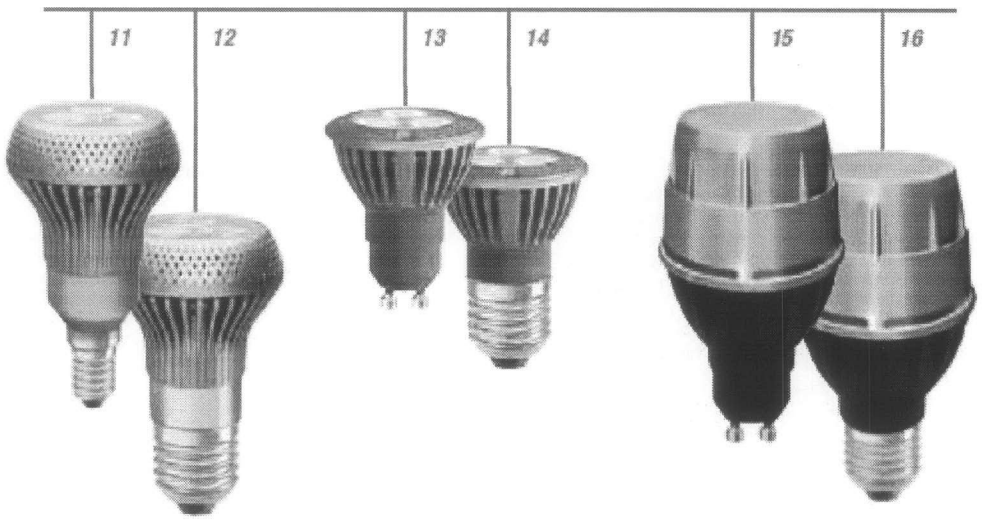
- Average life of up to 25 years[1]
- CLASSIC B 15: suitable for indoors and outdoors
- CLASSIC B 25: with OSRAM Golden DRAGON® Plus LED, very narrow color location
- Replacement options:
  15 W incandescent lamp – CLASSIC B 15
  25 W incandescent lamp – CLASSIC B 25



6/7/8 PARATHOM® CLASSIC P – 15/25

- Average life of up to 25 years[1]
- CLASSIC P 15: suitable for indoors and outdoors
- Replacement options:
  15 W incandescent lamp – CLASSIC P 15
  25 W incandescent lamp – CLASSIC P 25

OSRAM



For general illumination tasks PARATHOM® LED lamps from OSRAM can replace conventional incandescent and halogen lamps up to 60 W in most applications. Two high-quality light colors are available to create the right atmosphere, namely the activating Cool White/Daylight for work rooms and incandescent-like Warm White for restful light in living rooms.

11/12 ***PARATHOM® R50 25 and 40***

- *Average life of up to 25 years[1]*
- *Simple direct replacement thanks to the same dimensions as a standard R50 incandescent spotlight*
- *Replacement options:*
  25 W incandescent lamp – R50 25
  40 W incandescent lamp – R50 40

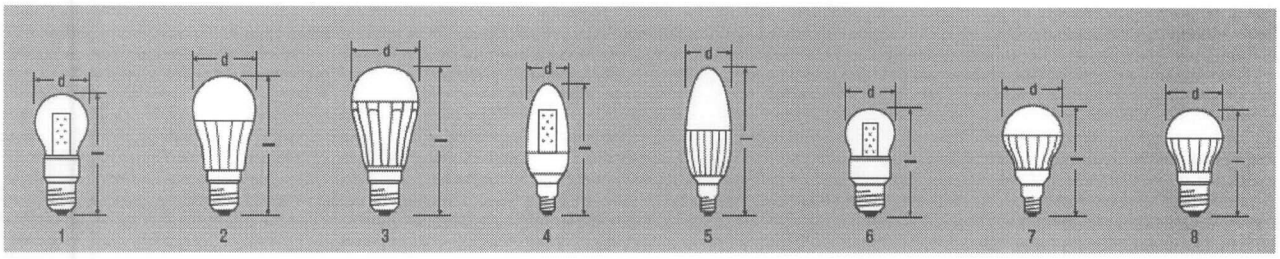
13/14 ***PARATHOM® PAR16 20***

- *Average life of up to 35 years[2]*
- *Beam angle of 35°*
- *Version with GU10 base ideal for existing halogen luminaires*
- *Replacement options:*
  20 W halogen lamp – PAR16 20

15/16 ***PARATHOM® PAR16 35 and 50***

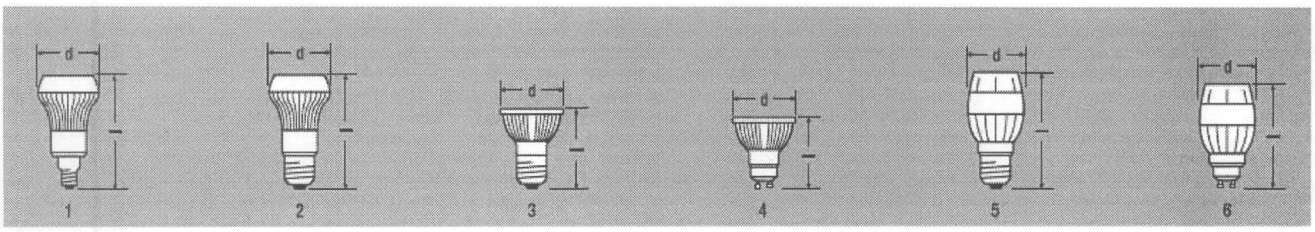
- *Average life of up to 25 years[1]*
- *High light output (up to 950 cd with a beam angle of 35°)*
- *Shape corresponds to that of a standard halogen reflector lamp with a diameter of 50 mm*
- *Very narrow color location*
- *Dimmable*
- *Replacement options:*
  35 W halogen lamp – PAR16 35
  50 W halogen lamp – PAR16 50

OSRAM

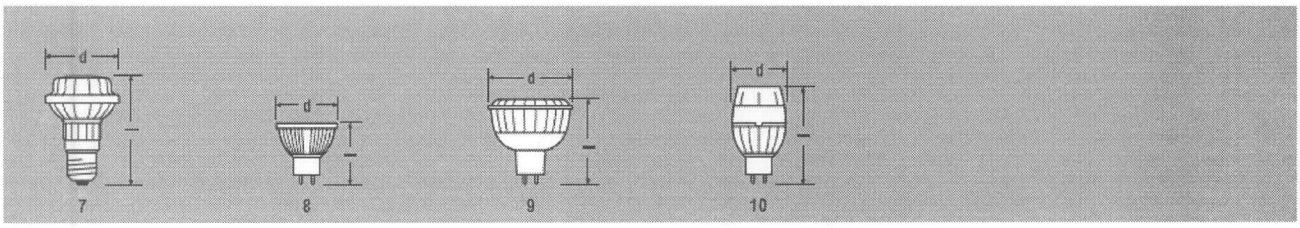


	Product reference	Product number (EAN)		W [1]	lm [1]	cd [1]	[1]	l [mm]	ø [mm]		No.
	OSRAM PARATHOM® CLASSIC A – 15/25/40/60/80										
	E27 – 100–240 V – Blister										
	CL A 15 (clear) CW	4008321930231	Cool White	2	95	–	–	109	55	6	1
	CL A 15 (clear) WW	4008321925343	Warm White	2	100	–	–	109	55	6	1
NEW	CL A 25 (frosted) D	4008321965066	Daylight	6.5	380	–	–	101	55	6	2
NEW	CL A 25 (frosted) WW	4008321965103	Warm White	6.5	320	–	–	101	55	6	2
NEW	CL A 40 (frosted) D	4008321952103	Daylight	8	450	–	–	113	55	6	2
	CL A 40 (frosted) WW	4008321952028	Warm White	8	345	–	–	113	55	6	2
NEW	CL A 60 (frosted) WW	4008321965189	Warm White	12	640	–	–	126	62	6	3
NEW	CL A 80 (frosted) D	4008321965141	Daylight	12	806	–	–	126	62	6	3
	E27 – 100–240 V – Box										
	CL A 15 (clear) CW	4008321929273	Cool White	2	95	–	–	109	55	10	1
	CL A 15 (clear) WW	4008321925329	Warm White	2	100	–	–	109	55	10	1
NEW	CL A 25 (frosted) D	4008321965042	Daylight	6.5	380	–	–	101	55	10	2
NEW	CL A 25 (frosted) WW	4008321965080	Warm White	6.5	320	–	–	101	55	10	2
NEW	CL A 40 (frosted) D	4008321952141	Daylight	8	450	–	–	113	55	10	2
	CL A 40 (frosted) WW	4008321952066	Warm White	8	345	–	–	113	55	10	2
NEW	CL A 60 (frosted) WW	4008321965165	Warm White	12	640	–	–	126	62	10	3
NEW	CL A 80 (frosted) D	4008321965127	Daylight	12	806	–	–	126	62	10	3
NEW	CL A 80 (frosted) WW	4008321960658	Warm White	12	806	–	–	126	62	10	3
	OSRAM PARATHOM® CLASSIC B – 15/25										
	E14 – 100–240 V – Blister										
	CL B 15 (clear) CW	4008321930279	Cool White	1.6	63	–	–	104	35	6	4
	CL B 15 (clear) WW	4008321925428	Warm White	1.6	70	–	–	104	35	6	4
	CL B 25 (frosted) WW	4008321952189	Warm White	4	170	–	–	117	40	6	5
	E14 – 100–240 V – Box										
	CL B 15 (clear) CW	4008321929310	Cool White	1.6	63	–	–	104	35	10	4
	CL B 15 (clear) WW	4008321925404	Warm White	1.6	70	–	–	104	35	10	4
	CL B 25 (frosted) WW	4008321952202	Warm White	4	170	–	–	117	40	10	5
	OSRAM PARATHOM® CLASSIC P – 15/25										
	E14 – 100–240 V – Blister										
NEW	CL P 25 (frosted) D	4008321965301	Daylight	4	230	–	–	78	45	6	7
NEU	CL P 25 (frosted) WW	4008321965349	Warm White	4	200	–	–	78	45	6	7
	E14 – 100–240 V – Box										
NEW	CL P 25 (frosted) D	4008321965288	Daylight	4	230	–	–	78	45	10	7
NEW	CL P 25 (frosted) WW	4008321965325	Warm White	4	200	–	–	78	45	10	7
	E27 – 100–240 V – Blister										
	CL P 15 (clear) CW	4008321930255	Cool White	1.6	63	–	–	90	45	6	6
	CL P 15 (clear) WW	4008321925381	Warm White	1.6	70	–	–	90	45	6	6
NEW	CL P 25 (frosted) D	4008321965226	Daylight	4	230	–	–	78	45	6	8
NEW	CL P 25 (frosted) WW	4008321965264	Warm White	4	200	–	–	78	45	6	8

OSRAM



	Product reference	Product number (EAN)		W[1]	lm[1]	cd[1]	[1]	(mm)	d (mm)		No.
	OSRAM PARATHOM® R50 – 25/40										
	E14 – 100–240 V – Blister										
NEW	R50 25 D	4008321965424	Daylight	3	140	350	30°	85	50	6	1
NEW	R50 25 WW	4008321965462	Warm White	3	100	250	30°	85	50	6	1
NEW	R50 40 D	4008321965585	Daylight	6	240	590	30°	85	50	6	1
NEW	R50 40 WW	4008321965622	Warm White	6	170	410	30°	85	50	6	1
	E14 – 100–240 V – Box										
NEW	R50 25 D	4008321965400	Daylight	3	140	350	30°	85	50	10	1
NEW	R50 25 WW	4008321965448	Warm White	3	100	250	30°	85	50	10	1
NEW	R50 40 D	4008321965561	Daylight	6	240	590	30°	85	50	10	1
NEW	R50 40 WW	4008321965608	Warm White	6	170	410	30°	85	50	10	1
	E27 – 100–240 V – Blister										
NEW	R50 25 D	4008321965509	Daylight	3	140	350	30°	83	50	6	2
NEW	R50 25 WW	4008321965547	Warm White	3	100	250	30°	83	50	6	2
NEW	R50 40 D	4008321965660	Daylight	6	240	590	30°	83	50	6	2
NEW	R50 40 WW	4008321965707	Warm White	6	170	410	30°	83	50	6	2
	E27 – 100–240 V – Box										
NEW	R50 25 D	4008321965486	Daylight	3	140	350	30°	83	50	10	2
NEW	R50 25 WW	4008321965523	Warm White	3	100	250	30°	83	50	10	2
NEW	R50 40 D	4008321965646	Daylight	6	240	590	30°	83	50	10	2
NEW	R50 40 WW	4008321965684	Warm White	6	170	410	30°	83	50	10	2
	OSRAM PARATHOM® PAR16 – 20/35/50										
	E27 – 220–240 V – Blister										
NEW	PAR16 20 D	4008321965745	Daylight	4.5	220	600	35°	68	50	6	3
NEW	PAR16 20 WW	4008321965783	Warm White	4.5	170	450	35°	68	50	6	3
	E27 – 220–240 V – Box										
NEW	PAR16 20 D	4008321965721	Daylight	4.5	220	600	35°	68	50	10	3
NEW	PAR16 20 WW	4008321965769	Warm White	4.5	170	450	35°	68	50	10	3
NEW	PAR16 35 D	4008321964083	Daylight	8	>220	>600	35°	93	50	10	5
NEW	PAR16 35 WW	4008321964007	Warm White	8	220	600	35°	93	50	10	5
NEW	PAR16 50 D	4008321964243	Daylight	10	>350	>950	35°	93	50	10	5
NEW	PAR16 50 WW	4008321964168	Warm White	10	350	950	35°	93	50	10	5
	GU10 - 220-240 V - Blister										
NEW	PAR16 20 D	4008321965820	Daylight	4.5	220	600	35°	60	50	6	4
NEW	PAR16 20 WW	4008321965868	Warm White	4.5	170	450	35°	60	50	6	4
	GU10 – 220–240 V – Box										
NEW	PAR16 20 D	4008321965806	Daylight	4.5	220	600	35°	60	50	10	4
NEW	PAR16 20 WW	4008321965844	Warm White	4.5	170	450	35°	60	50	10	4
NEW	PAR16 35 D	4008321964045	Daylight	8	>220	>600	35°	85	50	10	6
NEW	PAR16 35 WW	4008321963963	Warm White	8	220	600	35°	85	50	10	6
NEW	PAR16 50 D	4008321964205	Daylight	10	>350	>950	35°	85	50	10	6
NEW	PAR16 50 WW	4008321964120	Warm White	10	350	950	35°	85	50	10	6



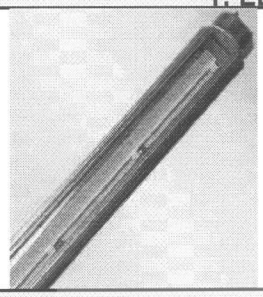
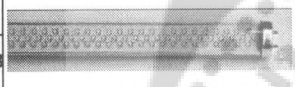
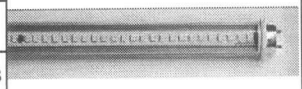
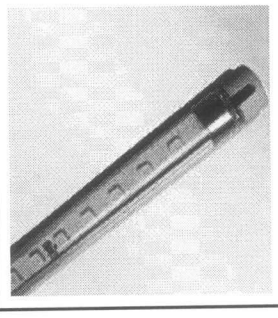
	Product reference	Product number (EAN)		W [1]	lm [1]	cd [1]	[1]	l [mm]	s [mm]		No.
	OSRAM PARATHOM® PAR20 – 35/50										
	E27 – 220–240 V – Blister										
NEW	PAR20 35 WW	4008321963680	Warm White		in preparation		25°	88	63	6	7
NEW	PAR20 50 WW	4008321963727	Warm White		in preparation		25°	88	63	6	7
	E27 – 220–240 V – Box										
NEW	PAR20 35 WW	4008321963703	Warm White		in preparation		25°	88	63	10	7
NEU	PAR20 50 WW	4008321963741	Warm White		in preparation		25°	88	63	10	7
	OSRAM PARATHOM® MR16 – 20/35										
	GU5.3 – 12 V – Blister										
NEW	MR16 20 WW	4008321962669	Warm White	4.5	185	450	36°	48	50	6	8
NEW	MR16 20 ADVANCED D	4008321963864	Daylight	5.5	>200	>500	36°	50	50	6	9
NEW	MR16 20 ADVANCED WW	4008321963826	Warm White	5.5	200	500	36°	50	50	6	9
	GU5.3 – 12 V – Box										
NEW	MR16 20 WW	4008321521927	Warm White	4.5	185	450	36°	48	50	10	8
NEW	MR16 20 ADVANCED D	4008321963840	Daylight	5.5	>200	>500	36°	49	50	10	9
NEW	MR16 20 ADVANCED WW	4008321963802	Warm White	5.5	200	500	36°	49	50	10	9
NEW	MR16 35 ADVANCED D	4008321963925	Daylight	10	>350	>950	36°	77	50	10	10
NEW	MR16 35 ADVANCED WW	4008321963888	Warm White	10	350	950	36°	77	50	10	10

มหาวิทยาลัยนครินทรวิโรฒ

OSRAM

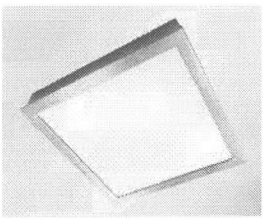
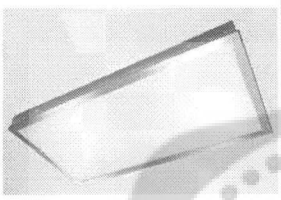
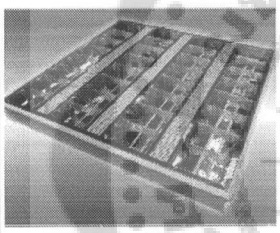
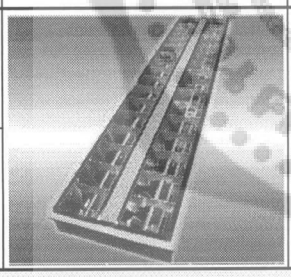
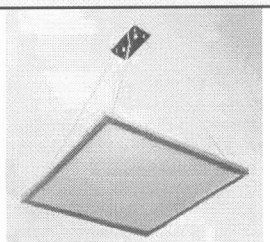
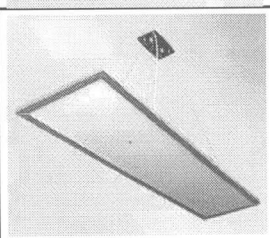
ETN TECHNOLOGY LIMITED
ADD: 4/F, Building 5, Zhenbao Industr. Zone, Shiyan Town, Bao-an Distri., Shenzhen, 518108 China
TEL: +86-755-29816309 FAX: +86-755-29816001
EMAIL: info@etnlighting.com WEBSITE: www.etnlighting.com

LED Tube, LED Ceiling Light and LED Panel Light

Model Number	Picture	Description	Feature	Color	Unit Price (USD)	
					5-50pcs	51-1000pcs
1. LED Module Tube						
ET-RG120BWP10-8B		LED T8 , 2ft(600mm), 10W, 850Lm ,Milky cover and clear cover available	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	29.20	27.91
ET-RG120BPWP10-8B				Warm white	29.20	27.91
ET-RG130BWP20-8B		LED T8 , 4ft(1200mm), 20W, 1700Lm, Milky cover and clear cover available		White	48.53	46.31
ET-RG130BPWP20-8B				Warm white	48.53	46.31
ET-RG135BWP25-8B		LED T8 , 5ft(1500mm), 24W, 2125Lm, Milky cover and clear cover available		White	65.50	62.83
ET-RG135BPWP25-8B				Warm white	65.50	62.83
2, Through-hole(DIP) LED T10 Tube						
ET-RG380BWP144-10B		LED T8 , 2ft(600mm), 10W, 936Lm ,Milky cover and clear cover available	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	21.72	20.69
ET-RG380BPWP144-10B				Warm white	21.05	20.05
ET-RG380BWP288-10B		LED T8 , 4ft(1200mm), 20W, 1872Lm, Milky cover and clear cover available		White	35.47	33.78
ET-RG380BPWP288-10B				Warm white	34.13	32.50
ET-RG380BWP360-10B		LED T8 , 5ft(1500mm), 24W, 2340Lm, Milky cover and clear cover available		White	53.36	50.82
ET-RG380BPWP360-10B				Warm white	51.68	49.22
3. 3528 SMD LED T10 Tube						
ET-RG35BWP144-10B		LED T8, 2ft(600mm), 10W, 936Lm, Milky cover and clear cover available	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	23.17	22.06
ET-RG35BPWP144-10B				Warm white	23.17	22.06
ET-RG35BWP288-10B		LED T8 , 4ft(1200mm), 20W,1872Lm, Milky cover and clear cover available		White	38.13	36.31
ET-RG35BPWP288-10B				Warm white	38.13	36.31
ET-RG35BWP360-10B		LED T8, 5ft(1500mm), 24W, 2340Lm, Milky cover and clear cover available		White	56.73	54.02
ET-RG35BPWP360-10B				Warm white	56.73	54.02
4. 5050 SMD LED T10 Tube						
ET-RG50BWP48-10B		LED T8 , 2ft(600mm), 10W, 960Lm, Milky cover and clear cover available	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	27.20	25.91
ET-RG50BPWP48-10B				Warm white	27.20	25.91
ET-RG50BWP108-10B		LED T8 , 4ft(1200mm), 20W, 2160Lm, Milky cover and clear cover available		White	46.53	44.31
ET-RG50BPWP108-10B				Warm white	46.53	44.31
ET-RG50BWP132-10B		LED T8 , 5ft(1500mm), 24W, 2640Lm , Milky cover and clear cover available		White	63.87	60.83
ET-RG50BPWP132-10B				Warm white	63.87	60.83
5. T5 SMD LED Tube						
ET-RG50BWP36-5B		LED T5, 2ft(600mm), 8W, 720Lm ,Milky cover and clear cover available	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	24.20	21.90
ET-RG50BWP60-5B		LED T5, 3ft(900mm), 12W, 1200Lm, Milky cover and clear cover available		White	33.20	30.50
ET-RG50BWP84-5B		LED T5, 4ft(1200mm), 18W, 1680Lm, Milky cover and clear cover available		White	42.00	38.50
ET-RG50BWP108-5B		LED T5 , 5ft(1500mm), 24W, 2160Lm, Milky cover and clear cover available		White	51.00	50.50

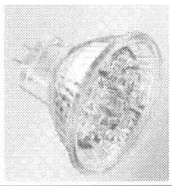
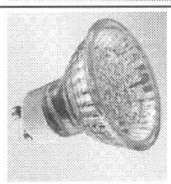
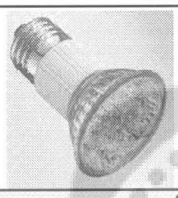
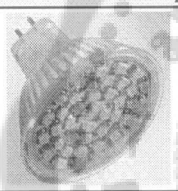
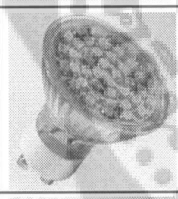
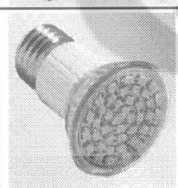
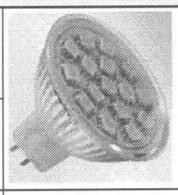
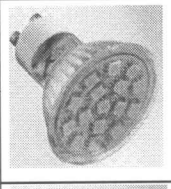
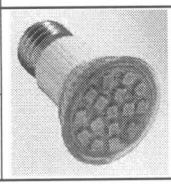
ETN TECHNOLOGY LIMITED
ADD: 4/F, Building 5, Zhenbao Industr. Zone, Shiyan Town, Bao-an Distri., Shenzhen, 518108 China
TEL: +86-755-29816309 FAX: +86-755-29816001
EMAIL: info@etnlighting.com WEBSITE: www.etnlighting.com

LED Tube, LED Ceiling Light and LED Panel Light

Model Number	Picture	Description	Feature	Color	Unit Price (USD)	
6, High-power LED Ceiling Light						
ET-H35BWP378-WB		LED panel light (600x1200mm), 48W , 2162Lm, Aluminum and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	147.79	140.75
ET-H35BPWP378-WB				Warm white	147.79	140.75
ET-H35BWP756-LB		LED panel light (600x600mm), 24W , 1064Lm,Aluminum and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS ,	White	87.76	83.58
ET-H35BPWP756-LB				Warm white	87.76	83.58
ET-GF110W32-FW		LED Ceiling Light(600x600mm) , 32x1W LED , Aluminum Base and Aluminum PCB	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	$96.80	$83.10
ET-GF110NW32-FW				Warm white	$96.80	$83.10
ET-GF110W48-FW		LED Ceiling Light (1200x600mm), 48x1W LED , Aluminum Base and Aluminum PCB		White	$113.00	$96.50
ET-GF110NW48-FW				Warm white	$113.00	$96.50
ET-GF110W32-FW		LED Ceiling Light (1200x300mm), 32x1W LED , Aluminum Base and Aluminum PCB	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	$96.80	$83.10
ET-GF110NW32-FW				Warm white	$96.80	$83.10
7, LED PANEL LIGHT						
ET-H50BWP168-WB		LED panel light (600x600mm), 70W , 1617Lm, Aluminum and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	173.51	165.25
ET-H50BPWP168-WB				Warm white	173.51	165.25
ET-H50BWP168-LB		LED panel light (300x1200mm), 70W , 1437Lm, Aluminum and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	white	152.61	145.34
ET-H50BPWP168-LB				warm white	152.61	145.34

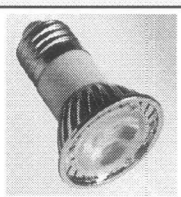
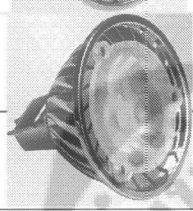
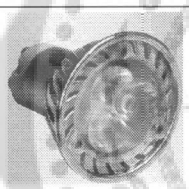
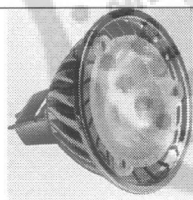
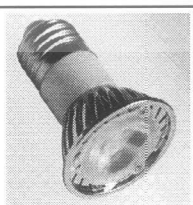
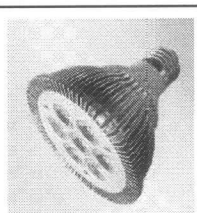
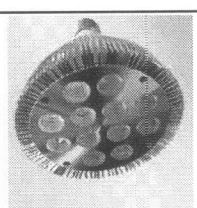
ETN TECHNOLOGY LIMITED
ADD: 4/F, Building 5, Zhenbao Industr. Zone, Shiyan Town, Bao-an Distri., Shenzhen, 518108 China
TEL: +86-755-29816309 FAX: +86-755-29816001
EMAIL: info@etnlighting.com WEBSITE: www.etnlighting.com

LED Spotlight and High Power LED Bulb

Model Number	Picture	Description	Feature	Color	Unit Price (USD)	
					5-50pcs	51-1000pcs
1,DIP LED spotlight						
ET-SMR16380BWP21-FD		DIP LED spotlight, ¢50*49mm,1.5W, 150Lm,MR16 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	5.36	5.10
ET-SMR16380BPWP21-FD				Warm white	5.36	5.10
ET-SGU10380BWP21-FB		DIP LED spotlight, 1.26W ¢50*56mm, ,150Lm,GU10 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	5.50	5.20
ET-SGU10380BPWP21-FB				Warm white	5.50	5.20
ET-SE27380BWP21-FB		DIP LED spotlight, ¢50*80mm, 1.5W, 150Lm,E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	5.50	5.20
ET-SE27380BPWP21-FB				Warm white	5.50	5.20
2, 3528 SMD LED Spotlight						
ET-SMR1635BWP42-FD		3528 SMD LED spotlight, ¢50*48mm, 2.5W, 276Lm,MR16 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	7.98	7.60
ET-SMR1635BPWP42-FD				Warm white	7.98	7.60
ET-SGU1035BWP42-FB		3528 SMD LED spotlight, ¢50*60mm, 2.5W, 276Lm,GU10 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	8.00	7.70
ET-SGU1035BPWP42-FB				Warm white	8.00	7.70
ET-SE2735BWP42-FB		3528 SMD LED spotlight, ¢50*75mm, 2.5W, 276Lm,E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	8.00	7.70
ET-SE2735BPWP42-FB				Warm white	8.00	7.70
3, 5050 SMD LED Spotlight						
ET-SMR1650BWP16-FD		5050 SMD LED spotlight, ¢50*48mm, 3W, 320Lm,MR16 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	8.10	7.70
ET-SMR1650BPWP16-FD				Warm white	8.10	7.70
ET-SGU1050BWP16-FB		5050 SMD LED spotlight, ¢50*60mm, 3W, 320Lm,GU10 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	8.20	7.80
ET-SGU1050BPWP16-FB				Warm white	8.20	7.80
ET-SE2750BWP16-FB		5050 SMD LED spotlight, ¢50*75mm, 3W, 320Lm,E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	8.20	7.80
ET-SE2750BPWP16-FB				Warm white	8.20	7.80

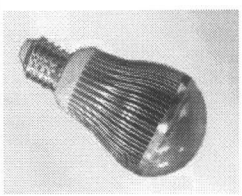
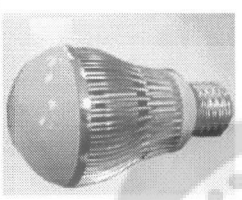
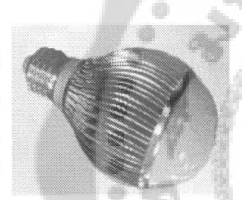
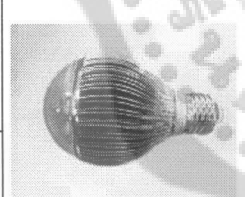
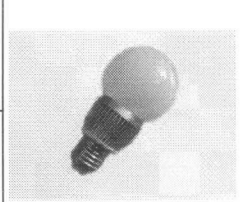
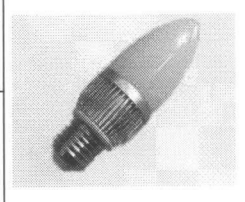
ETN TECHNOLOGY LIMITED
ADD: 4/F, Building 5, Zhenbao Industr. Zone, Shiyan Town, Bao-an Distri., Shenzhen, 518108 China
TEL: +86-755-29816309 FAX: +86-755-29816001
EMAIL: info@etnlighting.com WEBSITE: www.etnlighting.com

LED Spotlight and High Power LED Bulb

Model Number	Picture	Description	Feature	Color	Unit Price (USD)	
4, High Power LED Spotlight						
ET-SE27113CWP3-FB		High power LED spotlight, ⌀50*71.5mm, 3*1W, 330Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	10.51	10.01
ET-SE27113CPWP3-FB				Warm white	10.51	10.01
ET-SGU10113CWP3-FB		High power LED spotlight, ⌀50*71.5mm, 3*1W, 330Lm, GU10 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	10.51	10.01
ET-SGU10113CPWP3-FB				Warm white	10.51	10.01
ET-SMR16113CWP3-FD		High power LED spotlight, ⌀50*71.5mm, 3*1W, 330Lm, MR16 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	10.20	9.80
ET-SMR16113CPWP3-FD				Warm white	10.20	9.80
ET-SGU10113CWP1-FB		High power LED spotlight, ⌀50*53mm, 1*3W, 330Lm, GU10 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	6.90	6.57
ET-SGU10113CPWP1-FB				Warm white	6.90	6.57
ET-SMR16113CWP1-FB		High power LED spotlight, ⌀50*39mm, 1*3W, 330Lm, MR16 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	6.80	6.50
ET-SMR16113CPWP1-FB				Warm white	6.80	6.50
ET-SE27113CWP1-FB		High power LED spotlight, ⌀50*71.5mm, 1*3W, 330Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	6.90	6.57
ET-SE27113CPWP1-FB				Warm white	6.90	6.57
ET-PA117BWP7-RB		High power LED spotlight, 7*1W, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	27.83	26.50
ET-PA117BPWP7-RB				Warm white	27.83	26.50
ET-PA122BWP12-RB		High power LED spotlight, 12*1W, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	38.50	36.50
ET-PA122BPWP12-RB				Warm white	38.50	36.50

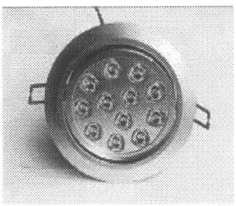
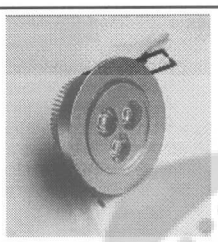
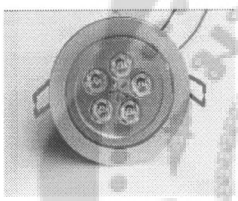
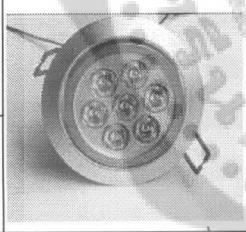
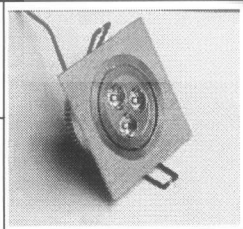
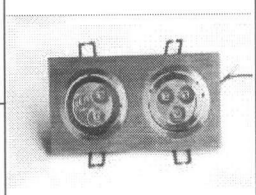
ETN TECHNOLOGY LIMITED
ADD: 4/F, Building 5, Zhenbao Industr. Zone, Shiyan Town, Bao-an Distri., Shenzhen, 518108 China
TEL: +86-755-29816309 FAX: +86-755-29816001
EMAIL: info@etnlighting.com WEBSITE: www.etnlighting.com

LED Spotlight and High Power LED Bulb

Model Number	Picture	Description	Feature	Color	Unit Price (USD)	
5, High power LED bulb						
ET-QE27115CWP5-RB		High power LED bulb, Ø60*113mm, 5*1W, 550Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	19.73	18.79
ET-QE27115CPWP5-RB				Warm white	19.73	18.79
ET-QE27115CWP5-RB		High power LED bulb, Ø60*113mm, 5*1W, 550Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	19.73	18.79
ET-QE27115CPWP5-RB				Warm white	19.73	18.79
ET-QE27116CWP6-RB		High power LED bulb, Ø70*117mm, 6*1W, 660Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	22.18	21.12
ET-QE27116CPWP6-RB				Warm white	22.18	21.12
ET-QE27116CWP6-RB		High power LED bulb, Ø70*117mm, 6*1W, 660Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	22.18	21.12
ET-QE27116CPWP6-RB				Warm white	22.18	21.12
ET-QE27113CWP3-AB		High power LED bulb, Ø60*115mm, 3*1W, 330Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	11.91	11.34
ET-QE27113CPWP3-AB				Warm white	11.91	11.34
ET-QE27113CWP3-BB		High power LED bulb, Ø43*135mm, 3*1W, 330Lm, E27 base, aluminium alloy and PMMA	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	11.91	11.34
ET-QE27113CPWP3-BB				Warm white	11.91	11.34

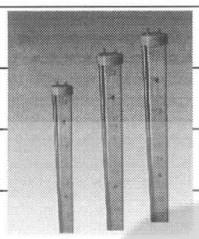
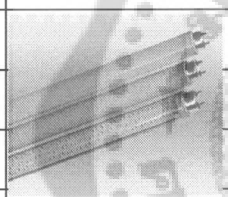
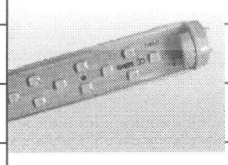
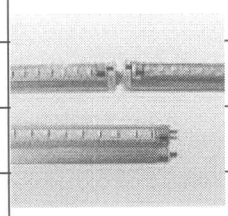
ETN TECHNOLOGY LIMITED
ADD: 4/F, Building 5, Zhenbao Industr. Zone, Shiyan Town, Bao-an Distri., Shenzhen, 518108 China
TEL: +86-755-29816309 FAX: +86-755-29816001
EMAIL: info@etnlighting.com WEBSITE: www.etnlighting.com

LED Downlight

Model Number	Picture	Description	Feature	Color	Unit Price (USD)	
					5-50pcs	51-1000pcs
ET-D122BWP12-RB		LED downlight, ¢135*65mm, 12*1W, 1320Lm, aluminium alloy	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	41.58	37.8
ET-D122BPWP12-RB				Warm white	41.58	37.8
ET-D113BWP3-RB		LED downlight, ¢84*45mm, 3*1W, 330Lm, aluminium alloy	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	13.86	12.6
ET-D113BPWP3-RB				Warm white	13.86	12.6
ET-D115BWP5-RB		LED downlight, ¢108*80mm, 5*1W, 550Lm, aluminium alloy	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	25.85	23.5
ET-D115BPWP5-RB				Warm white	25.85	23.5
ET-D117BWP7-RB		LED downlight, ¢108*80mm, 7*1W, 770Lm, aluminium alloy	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Spead angle>140 degree 8, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	31.46	28.6
ET-D117BPWP7-RB				Warm white	31.46	28.6
ET-D113BWP3-WB		LED downlight, 94*94*25mm, 3*1W, 330Lm, aluminium alloy	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	13.75	12.5
ET-D113BPWP3-WB				Warm white	13.75	12.5
ET-D116BWP6-WB		LED downlight, 180*94*50mm, 6*1W, 660Lm, aluminium alloy	1, Power factor>95% 2, Lifespan>50,000 3, Color rendering(RA)>80, 4, Warranty : 5 year 5,Minimum 100 lumen per watt 6, Lumendrop at 40,000hrs<15% 7, Certificate: CE , RoHS , ISO9001	White	22.33	20.3
ET-D116BPWP6-WB				Warm white	22.33	20.3

CINA LED LIGHTING TECH LIMITED
TEL: +86-755-29197481 FAX: +86-755-29197482
EMAIL: sales06@cinaledlighting.com
WEBSITE: www.cinaledlighting.com

T8/T5 LED TUBE

Item NO.	Photo	Size&Base type	Working Volts	Power	Colour	Unit Price(USD) (Ex-work)	
Highlights: 1, Luminous efficient>100Lm/W 2,Color rendering(RA)>80 3, Power factor>95% 4, Warranty : 3 year							
1, T5 LED Tube with build-in driver NEW !						5-50pc	51-2000pc
CA-T5110WF2-10W		600mm long	85-265V	10W	White (5500-6500K)	36.96	33.60
CA-T5110WWF2-10W					Warm white (3000-3500K)	36.96	33.60
CA-T5110WF4-20W		1200mm long		20W	White (5500-6500K)	65.78	59.80
CA-T5110WWF4-20W					Warm white (3000-3500K)	65.78	59.80
2, T8 3528 SMD LED TUBE							
CA-T83528WF2-8W		600mm long	85-265V	8w	white (5500-6500K)	24.81	22.55
CA-T83528WWF2-8W					warm white (2700-3200K)	24.81	22.55
CA-T83528WF4-15W		1200mm long		15w	white (5500-6500K)	41.58	37.80
CA-T83528WWF4-15W					warm white (2700-3200K)	41.58	37.80
CA-T83528WF5-18W		1500mm long		18w	white (5500-6500K)	48.95	44.50
CA-T83528WWF5-18W					warm white (2700-3200K)	48.95	44.50
3, T8 5050 SMD LED TUBE							
CA-T85050WF2-10W		600mm long	85-265V	10w	white (5500-6500K)	26.27	23.88
CA-T85050WWF2-10W					warm white (2700-3200K)	26.27	23.88
CA-T85050WF4-21W		1200mm long		21w	white (5500-6500K)	44.55	40.50
CA-T85050WWF4-21W					warm white (2700-3200K)	44.55	40.50
CA-T85050WF5-25W		1500mm long		25w	white (5500-6500K)	52.25	47.50
CA-T85050WWF5-25W					warm white (2700-3200K)	52.25	47.50
4, T5 5050 SMD LED TUBE							
CA-T55050WF2-6W		600mm long	85-265V	6w	white (5500-6500K)	20.13	18.30
CA-T55050WWF2-6W					warm white (2700-3200K)	20.13	18.30
CA-T55050WF4-12W		1200mm long		12w	white (5500-6500K)	30.25	27.50
CA-T55050WWF4-12W					warm white (2700-3200K)	30.25	27.50

HI-SPOT® RefLED ES50

- Warm White 3000 K
- Colour rendering Index 85
- 15 years or 15,000 hours
- Instant light
- Universal Retrofit 100-250 V
- 3.5 W = 35 W halogen
- GU10
- 1000 cd/175 lm (- 90 % energy*)
- 20° beam angle
- Also available in 4000 K

* compared with halogen

Introducing the world's first retrofit LED spot with GU10 base, offering the same output as a 35 W mains voltage halogen lamp for just 3.5 W of power, or an energy saving of 90 %. Chosen by professional customers as best in class!

ES50

HI-SPOT® RefLED PAR16

- Warm White 3000 K
- Colour rendering Index 85
- 15 years or 15,000 hours
- Instant light
- Universal Retrofit 100-250 V
- 3.5 W = 40 W Incandescent R50
- E14 socket
- 1000 cd/175 lm (- 90 % energy*)
- 20° beam angle
- Also available in 4000 K

* compared with halogen

Sylvania's revolutionary LED spot replaces 40 W incandescent R50 spots with a E14 screw fitting. At an astonishing 50 lumens per watt, the HI-SPOT® RefLED gives you more light for a lot less energy.

PAR16

HI-SPOT® RefLED PAR20

- Warm White 3000 K
- Colour rendering Index 85
- 15 years or 15,000 hours
- Instant light
- Universal Retrofit 100-250 V
- 5 W = 25 W halogen downlight
- = 35 W halogen spot
- E27 socket
- 450 cd/200 lm (- 80 % energy*)
- 30° beam angle

* compared with halogen

Get hours and hours and hours of warm, bright, white light. Replaces regular 60 W incandescent R63 spots or PAR20 halogen spots, using only a fraction of the energy.

PAR20

HI-SPOT® RefLED PAR30

- Warm White 3000 K
- Colour rendering Index 85
- 15 years or 15,000 hours
- Instant light
- Universal Retrofit 100-250 V
- 10 W = 50 W halogen downlight
- = 75 W halogen spot
- E27 socket
- 2000 cd/400 lm (-80 % energy*)
- 25° beam angle

* compared with halogen

When you need the strongest, brightest light. Radiating 2000 candela of warm white light, the HI-SPOT® RefLED PAR30 offers the equivalent output of 75 W lamps for just 10 W of electricity.

PAR30

ToLEDo GLS A60

- 15 years or 15,000 hours
- Instant light
- Colour rendering index 85
- 100 % retrofit
- 6 W = 25 W incandescent
- E27 socket
- 250 lm (-80 % energy*)
- Warm White 3000 K
- 100-250 V
- Energy Class A

* compared with incandescent

Sylvania's innovative answer to the prehistoric light bulb. Get years of warm, soothing light at the flick of a switch, with the same light output as a 25 W incandescent GLS.

GLS A60

ToLEDo BALL G45

- 15 years or 15,000 hours
- Instant light
- Colour rendering index 85
- 100 % retrofit
- 2.5 W = 15 W incandescent
- E14 socket
- 130 lm (-85 % energy*)
- HomeLight 2600 K
- 220-240 V

* compared with incandescent

A satin glass bulb ensures soft, warm light diffused at a very wide angle. Matches the ambiance of incandescent light with an energy saving of 85 %.

BALL G45

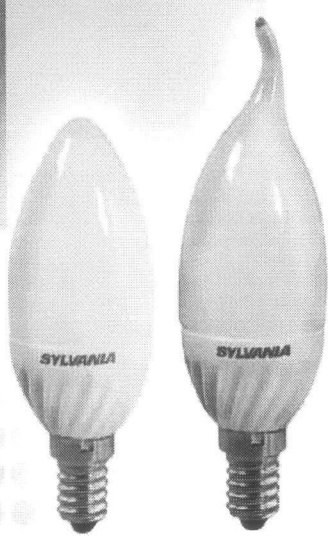
ToLEDo CANDLE / BENT TIP

- 15 years or 15,000 hours
- Instant light
- Colour rendering index 85
- 100 % retrofit
- 2.5 W = 15 W incandescent
- E14 socket
- 130 lm (-85 % energy*)
- HomeLight 2600 K
- 220-240 V

* compared with incandescent

A satin glass bulb ensures soft, warm light diffused at a very wide angle. Matches the ambiance of incandescent light with an energy saving of 85 %. The real alternative for decorative applications, especially chandeliers and antique-style lighting.

CANDLE C37 - BENT TIP CA37



SYLVANIA

LED Retrofit Portfolio

ToLEDo

Box code	Blister code	Description	Base	Watt	Equivalent incandescent Watt	Colour	Colour in (Kelvin)	Voltage
0026152	0026153	GLS Satin Warm White	E27	6 W	25 W	830	3000 K	100-250 V
0026156	0026157	CANDLE Satin Homelight	E14	2,5 W	15 W	826	2600 K	220-240 V
0026160	0026161	BENT TIP CANDLE Satin Homelight	E14	2,5 W	15 W	826	2600 K	220-240 V
0026164	0026165	BALL Satin Homelight	E14	2,5 W	15 W	826	2600 K	220-240 V
0026178	0026179	BALL Satin Homelight	E27	2,5 W	15 W	826	2600 K	220-240 V

HI-SPOT ReflLED

Box code	Blister code	Description	Base	Watt	Equivalent halogen Watt	Colour	Colour in (Kelvin)	Voltage
0025169	0025170	ES50 Warm White	GU10	3,5 W	general 25 / spot 35	830	3000 K	100-250 V
0025173	0025174	ES50 Cool White	GU10	3,5 W	general 25 / spot 35	840	4000 K	100-250 V
0025171	0025172	PAR16 Warm White	E14	3,5 W	general 25 / spot 40*	830	3000 K	100-250 V
0025176	-	PAR16 Cool White	E14	3,5 W	general 25 / spot 40*	840	4000 K	100-250 V
0026170	0026171	PAR20 Warm White	E27	5 W	general 25/ spot 35**	830	3000 K	100-250 V
0026172	0026173	PAR30 Warm White	E27	10 W	general 50/ spot 75	830	3000 K	100-250 V

*PAR16 also replaces R50 incandescent spot
**PAR20 also replaces R63 incandescent spot

Energy Saving (%)	Lumen	Lm in 90° cone	Lm/W	Candela	Beam	Lamp Height	Lamp Width
80%	250	-	42	-	-	105 mm	60 mm
85%	130	-	52	-	-	105 mm	37 mm
85%	130	-	52	-	-	130 mm	37 mm
85%	130	-	52	-	-	90 mm	45 mm
85%	130	-	52	-	-	90 mm	45 mm

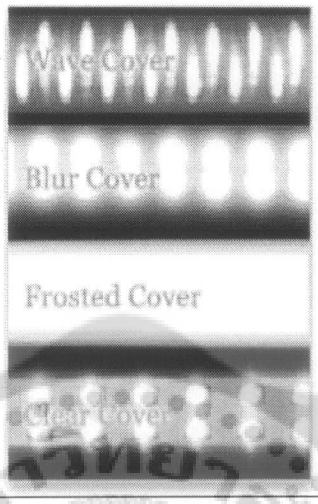
Energy Saving (%)	Lumen	Lm in 90° cone	Lm/W	Candela cd	Beam	Lamp Height	Lamp Width
90%	175	140	50	1000	20°	57 mm	51mm
90%	210	170	60	1200	20°	57 mm	51mm
90%	175	140	50	1000	20°	79 mm	51mm
90%	210	170	60	1200	20°	79 mm	51mm
80%	200	150	40	450	30°	82 mm	63.5 mm
80%	400	360	40	2000	25°	80 mm	95 mm

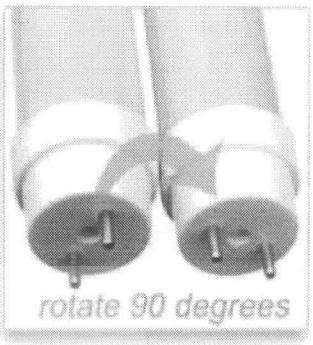
SYLVANIA

CHLIK

General Features :

1.Extremely energy efficient reducing the amount of CO2 emissions being emitted Environmentally Friendly
2.Solid State High Shock/Vibration Resistant
3.No disposal or landfill issues
4.No Maintenance Costs
5.No danger of broken glass
6.No Mercury and other Hazardous Materials, fully ROHS - Compliant
7.No UV - insects are not attracted to the light





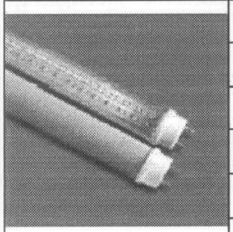
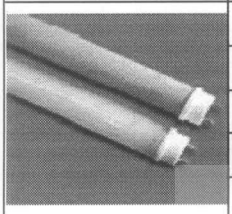
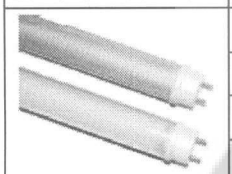
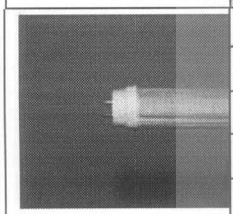
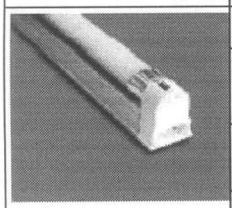
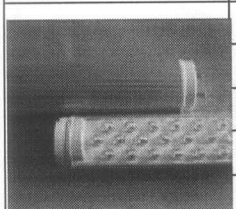
General Parameters :

Input Voltage	AC85-277V / 50-60HZ
Beam angle	120°
Working environment	40-60 °C
Power factor	≥ 90%
CRI	70-78 Ra
Color temp	3300K , 4500K , 6000K
Tube material	PC + Alu.Alloy
Lamp Base	G13
Package	20 pcs/box (40pcs/box for 60cm tube)

Remark :

Trade term	FOB Shenzhen, China
MOQ	100pcs per item , samples price 10% more
Lead time	Within 1-2 weeks
Payment	30% deposit in advance,balance before delivery
Warranty	3 years

CHLIK

Picture	Part No.	LED Q'ty	Luminous	Unit Price
	**T8 LED Tube Light-Clear**			
	T8-8W-60CM	120SMD	700LM	US$16.00
	T8-15W-120CM	234SMD	1400LM	US$28.00
	T8-19W-120CM	286SMD	1700LM	US$32.00
Diameter: 26mm				
	**T8 LED Fluorescent NEW!!!**			
	T8-7W-60CM	105SMD	500LM	US$16.00
	T8-15W-120CM	234SMD	1300LM	US$28.00
	T8-19W-120CM	286SMD	1600LM	US$32.00
Diameter: 26mm				
	**T8 LED Tube Light-Semitransparent (Blur)**			
	T8-8W-60CM	120SMD	530LM	US$16.00
	T8-15W-120CM	234SMD	1350LM	US$28.00
	T8-19W-120CM	286SMD	1650LM	US$32.00
Diameter: 26mm				
	**T8 LED Tube Light-Stripe (Wave)**			
	T8-7W-60CM	105SMD	630LM	US$16.00
	T8-15W-120CM	234SMD	1400LM	US$28.00
	T8-18W-120CM	273SMD	1640LM	US$31.00
Diameter: 26mm				
	**T5 LED Tube Light**			
	T5-6W-60CM	90SMD	500LM	US$16.00
	T5-14W-120CM	208SMD	1200LM	US$25.00
Diameter: 16mm				
	**T10 LED Tube Light**			
	T10-8W-60CM	120DIP	700LM	US$16.00
	T10-16W-120CM	240DIP	1400LM	US$27.00
Diameter: 30mm				

ภาคผนวก ง
แบบสอบถามและผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้

ภาคผนวก ง
แบบสอบถามและผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้

1. แบบสอบถาม

แบบประเมินประสิทธิภาพโปรแกรมคอมพิวเตอร์
โปรแกรมช่วยคำนวณเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดี
สำหรับระบบแสงสว่างทั่วไป ภายในอาคาร

ชื่อผู้ประเมิน.....นามสกุล.....
สถานที่ทำงาน.....

<u>คำชี้แจง</u>

แบบประเมินนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณหาเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนเลือกใช้งานหลอดแอลอีดีสำหรับระบบแสงสว่างทั่วไป ภายในอาคาร โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน โดยแบบประเมินนี้แบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
ตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพและความพึงพอใจที่มีต่อโปรแกรม

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้หนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ ขอได้โปรดพิจารณาและกรุณาตอบคำถามให้ครบทุกข้อตามความเป็นจริง เพราะคำตอบของท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาโปรแกรมในครั้งนี้ เพื่อที่ผู้พัฒนาจะได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์และประเมินความพึงพอใจของโปรแกรมต่อไป

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งที่ท่านได้กรุณาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามครั้งนี้

นาย ณัฐพงศ์ วัฒนวงศ์ รหัสนักศึกษา 51199130569
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เลขที่ 114 สุขุมวิท 23
คลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110
โทรศัพท์ : 02-649-5000

ตอนที่ 1
ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ○ และกรอกข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริง

1. เพศ
   - ○ ชาย
   - ○ หญิง

2. อายุ
   - ○ ต่ำกว่า 20 ปี
   - ○ 20 - 40 ปี
   - ○ 41 - 60 ปี
   - ○ 60 ปี ขึ้นไป

3. สถานะของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการใช้งาน
   - ○ ผู้ออกแบบ (สถาปนิก , วิศวกร , มัณฑนากร)
   - ○ ผู้ใช้งาน , เจ้าของ (Owner)
   - ○ อื่นๆ .....

ตอนที่ 2
ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรม

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามความคิดเห็นตอนที่ 2 นี้ เป็นการสอบถามข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม ภายหลังจากที่ได้ทดลองใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
2. ในการตอบแบบสอบถามตอนที่ 2 นี้ ขอความกรุณาให้ท่านดำเนินการดังนี้

   ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องในแบบสอบถามที่ตรงกับระดับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด โดยตัวเลขของระดับความพึงพอใจแต่ละด้านมีความหมายดังนี้

   5 หมายถึง ความเหมาะสม/ความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

   4 หมายถึง ความเหมาะสม/ความพึงพอใจในระดับมาก

   3 หมายถึง ความเหมาะสม/ความพึงพอใจในระดับปานกลาง

   2 หมายถึง ความเหมาะสม/ความพึงพอใจในระดับน้อย

   1 หมายถึง ความเหมาะสม/ความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

<u>ตัวอย่างการประเมิน</u>

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		✓			

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน						
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย						
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม						
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน						
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก						
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น						
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข						
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล						
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ						
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ						
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ					
	คะแนนรวมทั้งสิ้น					
	คะแนนเฉลี่ย					

ข้อเสนอแนะ

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ เพิ่มเติม

.....

.....

.....

(ลายมือชื่อ) .....ผู้ทดลองใช้

(.....)

2. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้

2.1 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ สุภัทร บูรณวิทย์

สถานที่ทำงาน : บริษัท มิตรเทคนิคัล คอนซัลแท้นท์ จำกัด

1168/8 ชั้น12 อาคารลุมพินีทาวเวอร์ ถนนพระราม 4 แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 0-2679-9079-84

ตำแหน่ง : วิศวกรไฟฟ้า

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม				3		
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน			4			
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก			4			
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น					2	
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล				3		
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ			4			
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	5	20	9	2	
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	36				
	คะแนนเฉลี่ย	3.6				

2.2 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ ชายชล ภักดีอุทธรณ์

สถานที่ทำงาน : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคกลาง

47/1 หมู่ 3 ตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โทรศัพท์ 0-3828-5795

ตำแหน่ง : วิศวกรไฟฟ้า

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม				3		
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน		5				
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก			4			
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น			4			
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล				3		
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ			4			
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ		5				
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	15	16	9		
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	40				
	คะแนนเฉลี่ย	4.0				

2.3 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ อัญชลี เกตุจันทร์

สถานที่ทำงาน : สถาบันรัชต์ภาคย์

68 ซอยนวศรี 10 ถนนรามคำแหง 21 แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310 โทรศัพท์ 0-2319-8201-3

ตำแหน่ง : อาจารย์

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม			4			
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน			4			
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก				3		
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น				3		
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข			4			
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ		5				
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ		5				
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	15	20	6		
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	41				
	คะแนนเฉลี่ย	4.1				

2.4 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ ศรัณญู สาครสุขศรีฤกษ์

สถานที่ทำงาน : บริษัท พานาโซนิค อีเล็คทริค เวิร์คส์ (ประเทศไทย) จำกัด

เลขที่ 106 หมู่ 18 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0-2529-1671

ตำแหน่ง : วิศวกรไฟฟ้า

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม			4			
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน			4			
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก		5				
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น			4			
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข			4			
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ		5				
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	15	28			
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	43				
	คะแนนเฉลี่ย	4.3				

2.5 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ วิโรจน์ วงศ์พิวัฒน์

สถานที่ทำงาน : บริษัท ไลท์ติ้ง แอนด์ อีควิปเมนท์ จำกัด (มหาชน)

539/2 ถ.ศรีอยุธยา แขวงพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

ตำแหน่ง : วิศวกรขาย

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน			4			
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม				3		
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน			4			
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก		5				
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น					2	
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ			4			
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	5	24	6	2	
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	37				
	คะแนนเฉลี่ย	3.7				

2.6 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ สุบิน วงศ์ฝั้น

สถานที่ทำงาน : สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์

เลขที่ 173 ถนนนครราชสีมา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์ 0-2687-3379-82

ตำแหน่ง : สถาปนิก

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย		5				
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม			4			
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน			4			
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก			4			
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น				3		
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ		5				
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ		5				
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	20	16	6		
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	42				
	คะแนนเฉลี่ย	4.2				

2.7 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ ชาตรี พูลสำราญ

สถานที่ทำงาน : สถาบันรัชต์ภาคย์

68 ซอยนวศรี 10 ถนนรามคำแหง 21 แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310 โทรศัพท์ 0-2319-8201-3

ตำแหน่ง : หัวหน้าศูนย์คอมพิวเตอร์

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน			4			
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม		5				
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน				3		
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก				3		
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น				3		
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ		5				
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	10	16	12		
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	38				
	คะแนนเฉลี่ย	3.8				

2.8 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ จิรพัฒน์ เพียงพิมพ์

สถานที่ทำงาน : บริษัท ยางสยามพระประแดง จำกัด (Michelin)

32 หมู่ 2 ปู่เจ้าสมิงพราย ตำบลสำโรงกลาง อำเภอพระประแดง สมุทรปราการ

10130 โทรศัพท์ 0-2755-8812-3

ตำแหน่ง : วิศวกรไฟฟ้า

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย		5				
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม		5				
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน		5				
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก		5				
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น			4			
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข		5				
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ			4			
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	30	16			
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	46				
	คะแนนเฉลี่ย	4.6				

2.9 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ ณวรา ชนยุทธ

สถานที่ทำงาน : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาค 1 (เชียงใหม่)

เลขที่ 405 หมู่ 1 ถนนพหลโยธิน ต.ชมพู อ. เมือง จ. ลำปาง

โทรศัพท์ 0-5425-1251-2

ตำแหน่ง : วิศวกรไฟฟ้า

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม				3		
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน				3		
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก			4			
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น				3		
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ		5				
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	10	16	12		
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	38				
	คะแนนเฉลี่ย	3.8				

2.10 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ นคร มัตสรรกฤษณ์

สถานที่ทำงาน : สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์

เลขที่ 173 ถนนนครราชสีมา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์ 0-2687-3379-82

ตำแหน่ง : วิศวกรงานระบบ กองงานก่อสร้างและบูรณะ

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน			4			
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย			4			
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม				3		
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน			4			
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก			4			
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น				3		
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล				3		
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ		5				
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	5	20	12		
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	37				
	คะแนนเฉลี่ย	3.7				

2.11 ชื่อผู้ทดลองใช้งาน: คุณ โชติพัฒน์ เบญจวงศ์

สถานที่ทำงาน : บริษัท คริสเตียนีและนีลเส็น (ไทย) จำกัด (มหาชน)

451 ถนนลาซาน (สุขุมวิท 105) แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

โทรศัพท์ 0-2398-0158

ตำแหน่ง : วิศวกรไฟฟ้า

รายการประเมิน		ระดับความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
1. ความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน		5				
2. สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย		5				
3. การจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมดูง่ายและสวยงาม				3		
4. โปรแกรมแบ่งขั้นตอนได้อย่างชัดเจน			4			
5. ความชัดเจนของ สีของตัวอักษร ขนาด และระบบกราฟิก			4			
6. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น					2	
7. แสดงความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการแก้ไข				3		
8. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล			4			
9. ความสะดวกในการเพิ่มเติม แก้ไข ข้อมูลหลอดไฟ			4			
10. โปรแกรมช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจ			4			
สำหรับผู้วิจัย	คะแนนรวมแต่ละระดับ	10	20	6	2	
	คะแนนรวมทั้งสิ้น	38				
	คะแนนเฉลี่ย	3.8				

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้

ลำดับรายการประเมิน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{X}$
คุณ สุภัทร บูรณวิทย์	5	4	3	4	4	2	3	3	4	4	3.6
คุณ ชายชล ภักดีอุทธรณ์	5	4	3	5	4	4	3	3	4	5	4.0
คุณ อัญชลี เกตุจันทร์	5	4	4	4	3	3	4	4	5	5	4.1
คุณ ศรัณญู สาครสุขศรีฤกษ์	5	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4.3
คุณ วิโรจน์ วงศ์พิวัฒน์	4	4	3	4	5	2	3	4	4	4	3.7
คุณ สุบิน วงศ์ฝั้น	5	5	4	4	4	3	3	4	5	5	4.2
คุณ ชาตรี พูลสำราญ	4	4	5	3	3	3	3	4	5	4	3.8
คุณ จิรพัฒน์ เพียงพิมพ์	5	5	5	5	5	4	5	4	4	4	4.6
คุณ ณวรา ชนยุทธ	5	4	3	3	4	3	3	4	5	4	3.8
คุณ นคร มัตสรรกฤษณ์	4	4	3	4	4	3	3	3	5	4	3.7
คุณ โชติพัฒน์ เบญจวงศ์	5	5	3	4	4	2	3	4	4	4	3.8
$\overline{X}$	4.7	4.3	3.6	4.0	4.1	3.0	3.4	3.7	4.5	4.3	3.96
SD	0.47	0.47	0.81	0.63	0.70	0.77	0.67	0.47	0.52	0.47	0.59

ประวัติย่อผู้ทำสารนิพนธ์

ประวัติย่อผู้ทำสารนิพนธ์

ชื่อ ชื่อสกุล นาย ณัฐพงศ์ วัฒนวงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 17 ธันวาคม 2527

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานครฯ

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 2 ถนนรามคำแหง 76 แยก 3 หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน วิศวกรไฟฟ้า แผนกวิศวกรรม กองบริหารงานก่อสร้าง ฝ่ายเทคนิค สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์

สถานที่ทำงานปัจจุบัน สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ 173 ถนนนครราชสีมา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 ระดับวุฒิการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (ไฟฟ้า)
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553 ระดับวุฒิการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการทางวิศวกรรม)
จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ