# การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษา
# กรณีศึกษา อาคารเกษม จาติกวนิช มหาวิทยาลัยบูรพา

ไพบูลย์ ศรีอนันต์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กรกฎาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ไพบูลย์ ศรีอนันต์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

วรัตถา อุทยารัตน์ ..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร. วรัตถา อุทยารัตน์)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

..... ประธาน

(ดร. เพชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์)

วรัตถา อุทยารัตน์ ..... กรรมการ

(ดร. วรัตถา อุทยารัตน์)

..... กรรมการ

(ดร. บัญชา อริยะจรรยา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 20 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

# กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.วรัตถา อุทยารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อกิตติ คุณแม่ชิด ศรีอนันต์ และพี่ ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ไพบูลย์ ศรีอนันต์

59910268: สาขาวิชา: การจัดการงานวิศวกรรม; วศ.ม. (การจัดการงานวิศวกรรม)
คำสำคัญ: หลอดไฟ LED, DIA LUX/ พลังงานไฟฟ้า/ การศึกษาความเป็นไปได้/ ความสว่าง

ไพบูลย์ ศรีอนันต์: การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษา กรณีศึกษา อาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา (A FEASIBILITY STUDY OF LED REPLACEMENT LAMP USE IN INSTITUTION BUILDING : A CASE STUDY OF KASEM JATIKAWANICH, BURAPHA UNIVERSITY) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: วรัตถา อุทยารัตน์, Ph.D., 198 หน้า ปี พ.ศ. 2560.

การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในปัจจุบันนั้น เป็นส่วนหนึ่งของการคิดค้นพัฒนาและการเกิดใหม่ของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อลดการใช้ทรัพยากร เพื่อการใช้งานที่สะดวก มีความปลอดภัยและคุ้มค่าต่อการใช้งานหรือการดำรงชีวิต เช่น การค้นพบและพัฒนาหลอดไฟ LED ที่ตอบสนองการใช้งานที่มีความหลากหลาย พัฒนาให้มีอายุการใช้งานมากขึ้น และรวมไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างคุ้มค่า เป็นต้น ซึ่งการใช้หลอดไฟในลักษณะเดิมไม่สามารถตอบสนองให้เกิดความคุ้มค่าเหล่านี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการใช้หลอดไฟ LED และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหลอดไฟ LED มาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษาอาคารเกษม จาติกวิณิช มหาวิทยาลัยบูรพา โดยในงานวิจัยกำหนดสถานการณ์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนทั้งหมด 4 เงื่อนไข คือ การใช้หลอดไฟ LED แบบทดแทนหลอดไฟเดิมแบบ 1 : 1 การใช้หลอดไฟ LED แบบทดแทนหลอดไฟเดิมแบบ 1 : 2 การออกแบบโดยใช้หลอดไฟ LED ชนิดประสิทธิภาพความสว่างสูง และการออกแบบโดยใช้หลอดไฟ LED ชนิดประสิทธิภาพความสว่างปกติ โดยใช้โปรแกรม DIA LUX มาจำลองความสว่างตามเงื่อนไขต่างๆ ของห้องเรียน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ด้านค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนและติดตั้งหลอดไฟ LED รวมถึงเพื่อลดเวลาในการออกแบบความสว่างตามความเหมาะสมของการใช้งาน จากเงื่อนไขการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไข พบว่าจะมีต้นทุนในการปรับเปลี่ยนตั้งแต่ 379,590.00 บาท ถึง 2,376,260.00 บาท และจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนทั้ง 4 เงื่อนไขพบว่า หลอดไฟ LED สามารถลดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าลงจากเดิมได้ 54.03 % ถึง 81.42 % และค่าบริการการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างภายในอาคารเรียนกรณีศึกษาลดลงตั้งแต่ 114,047.60 บาท ถึง 172,166.25 บาท

59910268: MAJOR: ENGINEERING MANAGEMENT; M.Eng. (ENGINEERING MANAGEMENT)
KEYWORDS: LED LAMP/ DIA LUX/ ELETRIC ENERGY/ FEASIBILITY STUDY/ LUMINANCE

PAIBOON SRIANAN: A FEASIBILITY STUDY OF LED REPLACEMENT LAMP USE IN INSTITUTION BUILDING : A CASE STUDY OF KASEM JATIKAWANICH, BURAPHA UNIVERSITY. ADVISORY COMMITTEE: WARATTA AUTHAYARAT, Ph.D., 198 P. 2017.

In this era, new technology has emerged and become part of innovation and new product development. With these new technology products, people uses lesser resource, interacts with products more comfortable and safety, in other word, it is optimization in all aspects. For example, LED lamp development, LED lamp has been developing to decrease the usage of electric energy, to expand the life time, and to response consumer's needs. This is because traditional lamp has shorter life time, consumes more energy, and has less variety in terms of choice of colors. Thus, this research aims to study the possibility of replacing LED lamps and study the feasibility to apply those LED lamps in institution building – a case study of Kasem Jatikavanich Building, Burapha University. This research simulated LED lamp replacements in 4 conditions. There were, first, one LED lamp replacement to one traditional lamp, second, one LED lamp replacement to two traditional lamps, third and fourth, LED lamp high luminance efficiency set replacement and LED normal luminance efficiency set replacement. The simulations were done by luminance simulation software, called DIA LUX, for all 4 conditions. The software was used to simulate luminance of classrooms. Then, electric energy costs, installation costs, and renovation costs in all conditions were calculated. From 4 conditions, installation costs were from 379,590.00 baht to 2,376,260.00 baht. Also, electric energy costs decreased from 54.03 % to 81.42 %. Last, electric bill of this institution building could be decreased from 114,047.60 baht to 172,166.25 baht.

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 3

สมมติฐานงานวิจัย ..... 3

กรอบแนวคิดการวิจัย ..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ..... 4

ขอบเขตการวิจัย ..... 5

ข้อจำกัดการวิจัย ..... 5

นิยามศัพท์เฉพาะ ..... 6

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 7

ทฤษฎีของแสงสว่างและอันตรายจากแสงสว่าง ..... 7

แนวทางการปรับปรุงแสงสว่างให้เหมาะสม ..... 8

อันตรายจากแสงสว่าง ..... 8

หลักการป้องกันและควบคุมอันตรายจากแสง ..... 12

หลอดไฟ LED ..... 12

ทฤษฎีการผสมสี ..... 16

ประเภทของหลอดไฟ LED ..... 19

ประโยชน์ของหลอดไฟ LED ..... 27

การออกแบบระบบแสงสว่าง ..... 29

การคำนวณค่าบริการไฟฟ้า ..... 42

การวัดค่าความสว่างของหลอดไฟ ..... 47

# สารบัญ (ต่อ)


บทที่ หน้า

หลักการออกแบบระบบส่องสว่างโดยการใช้โปรแกรม DIA LUX ..... 50
หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน..... 52
การประเมินรายรับและค่าใช้จ่ายของการใช้หลอดไฟ LED ..... 58
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 59
3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 65
การออกแบบแผนผังการดำเนินโครงการ ..... 65
หลักการสำรวจการใช้ห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา. 68
การกำหนดชนิดของหลอดไฟ LED ..... 78
การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม DIA LUX..... 79
การกำหนดชนิดและคุณสมบัติของหลอดไฟ LED ..... 89
การกำหนดเงื่อนไขงานวิจัย..... 93
การตั้งค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในโปรแกรม DIA LUX ..... 100
4 ผลการดำเนินงาน..... 101
ผลการทดลองการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX..... 101
การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ..... 129
การคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า..... 132
การประเมินรายรับและค่าใช้จ่ายของการใช้หลอดไฟ LED ..... 136
การคำนวณงบดุลบัญชีและความเป็นไปได้ของโครงการ..... 140
5 อภิปรายและสรุปผล ..... 165
การอภิปรายผลการจำลองค่าความสว่าง ..... 165
การอภิปรายการใช้พลังงานไฟฟ้า..... 169
การอภิปรายค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า ..... 170
การอภิปรายการเลือกโครงการ ..... 171
การอภิปรายความเป็นไปได้ของโครงการใช้หลอดไฟ LED..... 172
สรุปผลการทดลอง..... 173
บรรณานุกรม..... 175

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ..... 178

ภาคผนวก ก ..... 179

ภาคผนวก ข ..... 191

ภาคผนวก ค ..... 194

ประวัติย่อผู้วิจัย ..... 198

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

2-1 อุณภูมิสีเทียบกับชนิดของสี ..... 18
2-2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟ LED และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาดต่าง ๆ ... 27
2-3 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ..... 33
2-4 ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา ..... 36
2-5 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของสีและชนิดของวัสดุ ..... 38
2-6 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดหลอดไส้ ..... 42
2-7 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ ..... 42
2-8 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด SL ..... 43
2-9 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด PL ..... 44
2-10 คำนวณค่าบริการพลังงานไฟฟ้าประเภทไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน ..... 45
2-11 คำนวณค่าบริการพลังงานไฟฟ้าประเภทเกิน 150 หน่วยต่อเดือน ..... 46
2-12 ตารางมาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่างตามกฎกระทรวงแรงงานกำหนด มาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัย ชีวะอนามัยและสิ่งแวดล้อม ในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่างและเสียง พ.ศ. 2549 ..... 49
3-1 ขนาดห้องเรียน ชนิด จำนวนหลอดไฟและค่าความสว่างของพื้นที่ห้องเรียน ..... 69
3-2 ชั่วโมงการใช้บริการห้องเรียนและพลังงานไฟฟ้าของห้องเรียนภายในอาคาร เกษม จาติกวณิช ..... 73
3-3 จำนวนชั่วโมงและหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเกษม จาติกวณิช ..... 76
3-4 ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเกษม จาติกวณิช ปีการศึกษา 2559 ..... 76
3-5 พฤติกรรมทั่วไปในการเลือกใช้หลอดไฟ LED ของกลุ่มตัวอย่าง ..... 78
3-6 คุณสมบัติพื้นฐานของหลอดไฟ Philips รุ่น Eco fit LED Tube ..... 90
3-7 คุณสมบัติพื้นฐานของหลอดไฟ Philips รุ่น Core range Batten G2 ..... 91
3-8 คุณสมบัติพื้นฐานของหลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED Batten ..... 92
3-9 รายละเอียดของแต่ละเงื่อนไขการทดสอบ ..... 93
3-10 สรุปข้อดีและข้อเสียของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ..... 97
3-11 การกำหนดตัวแปรชนิดต่าง ๆ ในการออกแบบการทดลอง ..... 98

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-1 ผลการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX ของห้องเรียนต่าง ๆ ..... 102
4-2 หน่วยการใช้พลังงานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เทียบกับหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึง 4..... 130
4-3 สถิติการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติย้อนหลัง 24 ครั้งและค่าเฉลี่ย..... 132
4-4 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 แบบค่า Ft คงที่..... 133
4-5 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 แบบค่า Ft คงที่..... 134
4-6 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 3 แบบค่า Ft คงที่..... 134
4-7 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 4 แบบค่า Ft คงที่..... 135
4-8 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ค่า Ft แบบปรับตามสภาวะเงินเฟ้อ..... 136
4-9 ความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไฟ LED จากการคำนวณแบบค่า Ft คงที่..... 137
4-10 ความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไฟ LED จากการคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ..... 137
4-11 การลดค่าบำรุงรักษาของหลอดไฟทั้ง 4 เงื่อนไข..... 139
4-12 ราคาวัสดุอุปกรณ์พร้อมอัตราว่าจ้างและค่าบริการปรับปรุงอาคาร ..... 140
4-13 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 แบบค่า Ft คงที่..... 142
4-14 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 แบบค่า Ft คงที่..... 143
4-15 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2 แบบค่า Ft คงที่ ..... 145
4-16 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 แบบค่า Ft คงที่..... 146
4-17 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 3 แบบค่า Ft คงที่..... 148
4-18 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 3 แบบค่า Ft คงที่..... 149
4-19 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4 แบบค่า Ft คงที่..... 151

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-20 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 4 แบบค่า Ft คงที่ ..... 152
4-21 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไข การทดลองที่ 1 โดยคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 154
4-22 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 1 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 155
4-23 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไข การทดลองที่ 2 โดยคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 157
4-24 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 2 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 158
4-25 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไข การทดลองที่ 3 โดยคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 160
4-26 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 3 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 161
4-27 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไข การทดลองที่ 4 โดยคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 163
4-28 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 4 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ ..... 164
5-1 การกำหนดค่าความสว่างให้กับห้องต่าง ๆ โดยอ้างอิงตามข้อกำหนดของ กระทรวงแรงงาน ..... 165
5-2 ค่าความสว่างจากการใช้หลอดไฟ LED เปรียบเทียบกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ..... 166
5-3 การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้หลอดไฟ LED เปรียบเทียบกับหลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ ..... 169
5-4 ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้หลอดไฟ LED เปรียบเทียบกับ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ..... 170
5-5 สรุปผลการทดลองของเงื่อนไขต่าง ๆ ..... 172
5-6 ความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 เงื่อนไขการ ทดลองที่ 3 และเงื่อนไขการทดลองที่ 4 ..... 173

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | หลอดไฟ LED ชนิดต่างๆ | 13 |
| 2-2 | สัญลักษณ์และโครงสร้างของหลอดLED | 14 |
| 2-3 | การทำงานของ LED เมื่อได้รับการกระตุ้น | 14 |
| 2-4 | ความยาวคลื่นของแสงและการเกิดของสี | 15 |
| 2-5 | หลอด LED ชนิด Lamp type ในรูปแบบต่าง ๆ | 15 |
| 2-6 | หลอด LED ชนิด Surface Mount type ในรูปแบบต่าง ๆ | 16 |
| 2-7 | การผสมสีตามทฤษฎีของ Maxwell | 17 |
| 2-8 | การผสมสีแบบบวก | 17 |
| 2-9 | อุณหภูมิสี | 18 |
| 2-10 | หลอดไฟ LED ที่อุณหภูมิสีแตกต่างกันไป | 19 |
| 2-11 | หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ชนิดต่าง ๆ | 19 |
| 2-12 | หลอดไฟ LED ชนิด Down Light ชนิดต่าง ๆ | 20 |
| 2-13 | หลอดไฟ LED ชนิด Accent & Track light ชนิดต่าง ๆ | 21 |
| 2-14 | หลอดไฟ LED ชนิด Furniture application ชนิดต่าง ๆ | 21 |
| 2-15 | หลอดไฟ LED ชนิดตู้แช่หรือตู้เย็นสำหรับโชว์สินค้า | 22 |
| 2-16 | หลอดไฟ LED ชนิด Cover Light | 23 |
| 2-17 | หลอดไฟ LED สำหรับป้ายโฆษณา | 23 |
| 2-18 | หลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซน | 24 |
| 2-19 | หลอดไฟฮาโลเจนรูปแบบต่าง ๆ | 24 |
| 2-20 | หลอดไฟไอปรอท | 25 |
| 2-21 | หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ | 25 |
| 2-22 | หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ | 26 |
| 2-23 | คลื่นความยาวแสง | 29 |
| 2-24 | สัดส่วนการแบ่งโพรงห้อง | 31 |
| 2-25 | ค่าประกอบจากโคมสกปรก | 35 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-26 | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ | 37 |
| 2-27 | ระยะการติดตั้งหลอดไฟ | 41 |
| 2-28 | ตัวอย่างเครื่องวัดปริมาณแสง | 47 |
| 2-29 | วิธีการวัดความสว่าง | 47 |
| 2-30 | ลำดับการออกแบบด้วยโปรแกรม DIA LUX | 51 |
| 3-1 | แผนผังการดำเนินงานวิจัย | 66 |
| 3-2 | หน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม DIA Lux เวอร์ชั่น 4.12 | 79 |
| 3-3 | หน้าต่างของฐานข้อมูลหลอดไฟ | 80 |
| 3-4 | หลอดไฟและโคมไฟชนิดต่าง ๆ ภายในฐานข้อมูล | 81 |
| 3-5 | หน้าต่างเริ่มการใช้โปรแกรม DIA LUX | 81 |
| 3-6 | การกำหนดขนาดความกว้าง ความยาวและความสูง | 82 |
| 3-7 | การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง | 82 |
| 3-8 | การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษา | 83 |
| 3-9 | การกำหนดค่าความสูงของพื้นทำงาน | 83 |
| 3-10 | ดวงโคมยี่ห้อ Philips 54 วัตต์ 7,600 ลูเมน | 83 |
| 3-11 | การติดตั้งดวงโคม | 84 |
| 3-12 | การกำหนดความสว่าง | 84 |
| 3-13 | ค่าความสว่างบนพื้นที่ต่าง ๆ ของห้องเรียน M4001-1 | 84 |
| 3-14 | แผนผังการติดตั้ง | 85 |
| 3-15 | การกระจายแสงแบบ 3 มิติ | 85 |
| 3-16 | ลำดับขั้นตอนการพิจารณาความคุ้มค่าของโครงการการใช้หลอดไฟ LED | 88 |
| 4-1 | กำหนดแถบสีแทนค่าความสว่างของผลการจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX | 101 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับการผลิตหลอดไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดไฟ LED ได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานที่น้อยกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟแบบคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ ค่าความสว่างที่มากกว่าหลอดไฟทั่ว ๆ ไป ความหลากหลายของแสงสีที่มากกว่าหลอดไฟทั่ว ๆ ไปและอายุการใช้งานที่ยาวของหลอดไฟ LED คุณสมบัติที่พัฒนาขึ้นเหล่านี้ก็เพื่อตอบสนองความต้องการในการนำหลอดไฟ LED ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น การพัฒนาหน้าจอโทรทัศน์ได้พัฒนาจากหน้าจอแสดงผลแบบสุญญากาศสู่หน้าจอแสดงผลแบบ LED หน้าจอแสดงผลโทรศัพท์มือถือต่าง ๆ หน้าจอแสดงโฆษณาขนาดยักษ์ ป้ายไฟโฆษณา รวมจนถึงการนำหลอดไฟ LED ใช้งานในอุปกรณ์ให้ความสว่างต่าง ๆ เช่น ไฟฉาย หลอดไฟตามอาคาร เป็นต้น ส่งผลให้หลอดไฟ LED มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานทดแทนหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ หลอดไฟชนิดดวงเทียนและหลอดไฟแบบคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่าง ๆ ในท้องตลาด

แต่อย่างไรก็ตามหลอดไฟ LED อาจยังไม่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอาคารสำนักงานหรือที่พักอาศัยเนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ เช่น ราคาของหลอดไฟ LED ที่มีราคาสูงกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ การขาดความรู้ในการเลือกใช้ค่าความสว่างที่เหมาะสม ทำให้พื้นที่ติดตั้งมีค่าความสว่างที่มากเกินไปจนทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกไม่สบายตาหรือเลือกใช้ที่ความสว่างที่น้อยเกินไป ทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถมองได้ชัดและการเลือกแสงสีจากหลอดไฟ LED ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความไม่สะดวกในการเลือกหลอดไฟ LED ไปใช้งาน ทั้งด้านในงบประมาณ การเลือกรูปแบบการติดตั้ง ความสว่างหลังการติดตั้งเพราะคุณสมบัติของหลอดไฟ LED กับหลอดไฟที่นิยมใช้กันก่อนหน้ามีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความแตกต่างของหลอดไฟ LED เทียบกับหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟชนิดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ พบว่าหลอดไฟ LED ใช้กำลังไฟฟ้าที่น้อยกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์โดยประมาณ 40 เปอร์เซ็นทำให้หลอดไฟ LED สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้และเมื่อพิจารณาการใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED เทียบกับหลอดไฟชนิดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์พบว่าหลอดไฟ LED มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่น้อยกว่าหลอดไฟชนิดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์เช่นกัน โดยหลอดไฟ LED มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าหลอดไฟชนิดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 50 เปอร์เซ็น โดยเฉลี่ย จึง

สรุปได้ว่าหลอดไฟ LED สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558)

นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างหลอดไฟ LED กับหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ยังพบว่า มีความแตกต่างกันเกี่ยวกับคุณสมบัติหลอดไฟ เช่น จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน ราคาหลอดไฟ ค่าความสว่าง ค่าดัชนีความถูกต้องของสีค่าและประสิทธิภาพความสว่าง โดยเฉพาะเรื่องของค่าประสิทธิภาพความสว่าง หลอดไฟ LED ให้ประสิทธิภาพความสว่างที่มากกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์มาก จึงเป็นการยากที่ผู้ใช้งานจะสามารถกำหนดค่าความสว่างที่เหมาะสมเมื่อต้องการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟ LED ดังนั้นหากสามารถค้นหาวิธีการจัดการที่ช่วยวิเคราะห์หรือประเมินค่าความสว่างที่เหมาะสมของการใช้งานหลอดไฟ LED และจำนวนของหลอดไฟ LED ได้จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบส่องสว่างภายในอาคารได้

ในปัจจุบัน อาคารเรียนเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพาเป็นอาคารเรียนที่ให้บริการกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท รวมถึงจากคณะอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อาคารเกษม จาติกวณิช เป็นอาคารที่มีการใช้งานตลอดปีการศึกษา

จากการสำรวจตารางการใช้ห้องเรียนประจำปีการศึกษา 2559 พบว่ามีการใช้ห้องเรียน 33 ห้องจากจำนวนทั้งหมด 66 ห้อง ชั่วโมงการให้บริการห้องเรียนในปีการศึกษา 2559 ของอาคารเกษมรวมทั้งสิ้น 27,106 ชั่วโมงต่อ 1 ปีการศึกษา จำนวนหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์และชนิดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ที่มีการใช้งานภายในห้องเรียนมีจำนวนหลอดไฟทั้งสิ้น 1,529 หลอด (จากการสำรวจวันที่ 16 กันยายน 2560) เมื่อนำชนิดจำนวนหลอดไฟและชั่วโมงการให้บริการสามารถคำนวณการใช้กำลังไฟฟ้าได้ 76,416 หน่วย ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าบริการการใช้ไฟฟ้าแล้วพบว่า อาคารเกษมมีค่าบริการเกี่ยวกับระบบความสว่างมากถึง 210,545.23 บาทต่อ 1 ปีการศึกษา

โปรแกรม DIA LUX เป็นโปรแกรมจำลองชนิดของหลอดไฟและตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟบนลักษณะห้องและขนาดของห้องแบบต่าง ๆ โดยโปรแกรม DIA LUX สามารถคำนวณค่าความสว่างและทิศทางของแสงได้ ทำให้สามารถลดความสิ้นเปลืองในเรื่องการจัดซื้อวัสดุเพื่อทดลองจริงและทำให้การออกแบบเป็นไปตามความต้องการผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้องซึ่งจะเป็นประโยชน์มากกับเริ่มต้นปรับมาใช้หลอดไฟ LED ในอาคารหรือสำนักงานที่มีจำนวนห้องเรียนมาก เพราะจะเกิดความสิ้นเปลืองในช่วงการเริ่มพิจารณาปรับเปลี่ยนน้อยที่สุด

หากอาคารเกษม จาติกวณิช สามารถเปลี่ยนการใช้งานหลอดไฟภายในอาคารจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED ด้วยการใช้โปรแกรม DIA LUX มาช่วยในการจำลอง

การติดตั้งหลอดไฟ LED ตามห้องเรียนขนาดต่าง ๆ แล้วจะสามารถลดการใช้ทรัพยากรจริง (หลอดไฟ LED) ในการทดสอบและสามารถออกแบบระบบความสว่างในรูปแบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้บริการรวมถึงสามารถลดการใช้พลังงานเกี่ยวกับระบบส่องสว่างด้วยการหลอดไฟ LED ได้อีกด้วย

งานนิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำหลอดไฟ LED มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในจำนวนที่เหมาะสมกับอาคารเรียนเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา โดยมีการจำลองระบบส่องสว่างจากการใช้หลอดไฟด้วยโปรแกรม DIA LUX ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขของพื้นที่ จำนวนของหลอดไฟ ค่าความสว่างและแสงสีที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน

ดังนั้นงานนิพนธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาและออกแบบการใช้หลอดไฟ LED เพื่อทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในอาคารเกษม จาติกวณิช โดยพิจารณาการใช้ค่าความสว่างที่เหมาะสมในการใช้งานและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อปีการศึกษาด้วยการใช้โปรแกรม DIA LUX ในการจำลองระบบส่องสว่างในเงื่อนไขแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งพิจารณาความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบส่องสว่างเพื่อกำหนดจำนวนหลอดไฟและหาค่าความสว่างที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม DIA LUX ในการจำลองสถานการณ์ของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเกษม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ระหว่างหลอดไฟ LED และหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์
3. เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้และความคุ้มค่าของโครงการเพื่อการลงทุนในอนาคต

## สมมติฐานงานวิจัย

1. ค่าความสว่างที่ได้จากหลอดไฟ LED และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในจำนวนหลอดไฟที่เท่ากัน ความสว่างที่ได้รับจะมีค่าความสว่างไม่เท่ากัน ดังนั้นจำนวนหลอดไฟ LED จะน้อยกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเรสเซนต์ที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน
2. การใช้พลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบส่องสว่างจะลดลงเมื่อมีการใช้งานหลอดไฟ LED อย่างเหมาะสมมากกว่าการใช้งานหลอดไฟ LED แบบทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบอัตราส่วน 1 : 1

## กรอบแนวคิดการวิจัย

1. การทดลองด้วยการจำลองการใช้งานหลอดไฟ LED ผ่านโปรแกรม DIA LUX เพื่อหาค่าความสว่างที่เหมาะสมตามแต่ละชนิดของ LED โดยไม่มีความจำเป็นต้องคิดอัตราทดแทนของหลอดไฟแบบ 1 : 1

2. การคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟ LED

3. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟ LED โดยคำนวณจากหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยหลักการคำนวณจากการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค

4. การศึกษาความเป็นไปได้และความคุ้มค่าหากมีการเปลี่ยนการใช้งานจากหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED ในอนาคต

5. การพิจารณาการใช้หลอดไฟ LED จะกำหนดทั้งหมด 4 เงื่อนไข คือ

5.1 การกำหนดการใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement เท่ากับจำนวนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

5.2 การกำหนดการใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement โดยลดจำนวนที่ติดตั้งภายในโคมไฟละ 1 หลอด

5.3 การกำหนดการใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูป แบบประสิทธิภาพความสว่างสูงและออกแบบการใช้งานตามข้อกำหนดความสว่าง

5.4 การกำหนดการใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูป แบบประสิทธิภาพความสว่างปกติและออกแบบการใช้งานตามข้อกำหนดความสว่าง

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถกำหนดค่าความสว่างให้มีความเหมาะสมด้วยการใช้งานหลอดไฟ LED รูปแบบต่าง ๆ ของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพาได้

2. สามารถกำหนดจำนวนหลอดไฟ LED ระหว่างการออกแบบระบบส่องสว่างในห้องเรียนหรืออาคารต่าง ๆ กับพื้นที่ติดตั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานระบบส่องสว่างด้วยการออกแบบความสว่างที่เหมาะสมด้วยหลอดไฟ LED ชนิดต่าง ๆ ได้

4. สามารถพิจารณาความคุ้มค่า จุดคุ้มทุน เมื่อมีการดำเนินการเปลี่ยนการใช้งานจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED ได้

**ขอบเขตการวิจัย**

1. ศึกษาการใช้งานระบบส่องสว่างภายในอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยอ้างอิงจากตารางการใช้งานห้องเรียนในปีการศึกษา 2559

2. ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของหลอดไฟ LED แต่ละชนิดรวมถึงพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งาน

3. ศึกษาวิธีการออกแบบความสว่างด้วยการใช้งานโปรแกรมจำลอง DIA LUX ช่วยในการออกแบบเพื่อหาความสว่างในรูปแบบต่าง ๆ และพิจารณาการใช้งานที่เหมาะสมกับอาคารเกษมจาติกวณิชมหาวิทยาลัยบูรพา

4. ศึกษาและพิจารณามูลค่าโครงการความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED

**ข้อจำกัดการวิจัย**

1. ผู้ทำการวิจัยไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลจากการใช้งานได้ตามการใช้งานจริง ๆ ดังนั้นการหาข้อมูลของงานวิจัยนี้ จึงอ้างอิงจากตารางการใช้ห้องเรียนในอาคารเรียนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และการสำรวจจำนวนหลอดไฟที่ใช้งานเป็นหลักเท่านั้น

2. จากผลสรุปการใช้บริการ พบว่า บางห้องเรียนไม่สามารถเข้าไปหาข้อมูลได้ด้วยจากมีการปรับปรุงห้องใหม่ ประกอบไปด้วย ห้อง M414, M609, M610, M5001, M5002 และ M708

3. ผู้ทำการวิจัยอ้างอิงจากคุณสมบัติของหลอดไฟ LED จากบริษัทหนึ่งเท่านั้น มิได้อ้างอิงจากคุณสมบัติของหลอดไฟ LED ในท้องตลาดทั้งหมด ซึ่งบริษัทที่ผู้วิจัยอ้างอิงคุณสมบัติได้ผ่านการตรวจสอบด้วยมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทยแล้ว

4. อาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารอยู่ในประเภทที่ 6 ซึ่งเป็นอาคารขององค์กรณ์ไม่แสวงหาผลประโยชน์ ซึ่งการคำนวณค่าบริการพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าและจำนวนหน่วย ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถหาข้อมูลได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้หลักการแนวคิดตามประเภท 2 ซึ่งเป็นการคำนวณของที่อยู่อาศัย เป็นเกณฑ์การพิจารณาหน่วยการใช้พลังงานและค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในงานนิพนธ์ฉบับนี้

5. การพิจารณาการปรับปรุงโครงสร้างของอาคาร ผู้วิจัยอ้างอิงราคาวัสดุก่อสร้างและราคาแรงงานจากบัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ปีงบประมาณ 2561 เพียงอย่างเดียว แต่หากต้องการพิจารณาอย่างถูกต้องและเหมาะสมของค่าแรงงานและราคาวัสดุก่อสร้างในพื้นที่ ควรจะนำราคาของค่าแรงงานและราคาวัสดุก่อสร้างในพื้นที่จากกระทรวงพานิชย์มาประกอบในการพิจารณาค่าใช้จ่าย

**นิยามศัพท์เฉพาะ**

ความคุ้มค่าของส่องสว่าง คือ การกำหนดค่าความสว่างที่เหมาะสมกับพื้นที่การใช้งาน

พลังงานไฟฟ้า คือ กำลังไฟฟ้าที่นำไปใช้ในระยะเวลาหนึ่ง มีหน่วยวัดเป็นวัตต์

หลอดคอมแพคไฟฟลูออเรสเซนต์ คือ เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กหรือหลอดตะเกียบ

หลอดไฟ LED คือ หลอดไฟที่ผลิตจากหลอด LED

หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ คือ หลอดแก้วทรงกระบอกด้านในหลอดเคลือบด้วยสารเรืองแสง หรือเรียกว่า หลอดนีออน

DIA LUX คือ โปรแกรมจำลองระบบส่องสว่างของหลอดไฟ

Internal Rate Return (IRR) คือ อัตราความสามารถของเงินทุน ที่ทำให้ผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่าย

Net Present Value (NPV) คือ ผลตอบแทนสุทธิ

Pay Back Peoriod (PB) คือ ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## ทฤษฎีของแสงสว่างและอันตรายจากแสงสว่าง

แสงสว่างเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตในปัจจุบัน แสงสว่างเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งการมองเห็นนับเป็นกลไกที่สำคัญส่วนหนึ่งของระบบประสาทที่ทำให้มนุษย์สามารถรับรู้และประมวลผลได้ทางกายภาพ จึงนับได้ว่าแสงสว่างเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่ทำให้เกิดกิจกรรมในการดำเนินการปฏิบัติงานต่าง ๆ หรือการสื่อสารให้เป็นได้ด้วยดี

แสงสว่างมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 380-780 นาโนเมตร ซึ่งเป็นระยะความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ การเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นต่าง ๆ ทำให้มองเห็นเป็นสีต่าง ๆ เช่น แสงที่ความยาวคลื่น 450-500 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีน้ำเงินหรือแสงที่ความยาวคลื่น 500-570 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีเขียว เป็นต้น โดยแหล่งกำเนิดแสงสว่างมีทั้งหมด 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

**1. แสงสว่างจากธรรมชาติ (Natural lighting)**

แหล่งกำเนิดของแสงสว่างในธรรมชาติที่สำคัญ คือ ดวงอาทิตย์ หากมีการใช้ประโยชน์จากดวงอาทิตย์อย่างเหมาะสมจะเป็นการประหยัดทรัพยากรและค่าใช้จ่ายได้

**2. แสงสว่างจากการประดิษฐ์ (Artificial lighting)**

เป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มนุษย์ได้ประดิษฐ์คิดค้นโดยอาศัยธรรมชาติและเทคโนโลยี เช่น หลอดไฟชนิดต่าง ๆ การมองเห็นจะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีแสงสว่างส่องกระทบไปยังวัตถุหรือบริเวณที่ต้องการมอง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญอื่น ๆ ที่ช่วยในการมองเห็นของมนุษย์ เช่น ความสามารถในการมองเห็นของดวงตา ความสว่างของวัตถุ ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุ ขนาดและรูปร่างของวัตถุ ความแตกต่างระหว่างวัตถุกับฉากและการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นต้น เพราะฉะนั้นการจัดสภาพแวดล้อมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและความสบายในการมอง จึงเป็นเรื่องที่ต้องมีการจัดการแสงสว่างให้ถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะงานนั้น ๆ โดยแสงสว่างจะต้องมีปริมาณความเข้มข้นและคุณภาพของแสงที่เหมาะสมสำหรับการมองเห็น เช่น การประกอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ งานเครื่องประดับ ซึ่งเป็นงานบางชนิดอาจต้องการความสว่างที่มีความเข้มสูง หรือร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้า เป็นงานที่ต้องมีความเข้มแสงแค่พอประมาณ เป็นต้น จึงสรุปได้ว่าแสงสว่างที่เหมาะกับการใช้งานจะต้องมีคุณภาพและไม่ก่อให้เกิดการส่องสว่างที่

รบกวนสายตาของผู้ใช้งาน ปัญหาที่พบเมื่อแสงสว่างไม่เหมาะสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1 แสงสว่างที่น้อยเกินไป มีผลเสียต่อสายตาทำให้กล้ามเนื้อของตาทำงานมากเกินไป โดยดวงตาจะบังคับให้ม่านตาเปิดกว้างเพราะการมองเห็นที่ไม่ชัดเจนต้องใช้เวลาในการมองค่อนข้างนาน จึงทำให้กล้ามเนื้อตาเกิดความเมื่อยล้าส่งผลให้เกิดอาการปวดตา มึนศีรษะ เป็นต้น

2.2 แสงสว่างที่มากเกินไป แสงจ้า (Direct glare) เกิดจากการสะท้อนแสง (Reflected glare) จากวัสดุที่อยู่ภายในอาคารหรือห้องจะทำให้ผู้ใช้งานเกิดความไม่สบาย เมื่อยล้า ปวดตา มึนศีรษะกล้ามเนื้อหนังตากระตุก ทำให้มองเห็นแย่ลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อจิตใจทำให้เบื่อการทำงาน กำลังใจในการทำงานลดลงหรืออาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้

## แนวทางการปรับปรุงแสงสว่างให้เหมาะสม

การจัดแสงสว่างอย่างเหมาะสมในสถานที่หรือสถานประกอบการให้มีสภาพเหมาะสมต้องคำนึงถึงปัจจัยเกี่ยวกับระบบแสงสว่าง แหล่งกำเนิดความสว่าง ลักษณะของพื้นที่ใช้งาน คุณภาพและปริมาณของแสงที่ใช้งาน รวมไปถึงการดูแลรักษาประสิทธิภาพ สำหรับสถานประกอบการที่ต้องปรับปรุงระบบแสงสว่างในบริเวณการทำงานหรือมีแสงสว่างในสถานที่ทำงานไม่เพียงพอสามารถเลือกพิจารณาแก้ไขตามความเหมาะสม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. ติดดวงไฟเพิ่มเติมเฉพาะจุดที่มีการทำงานหรือเปิดไฟเมื่อการทำงานนั้นต้องการความสว่างเป็นพิเศษ เช่น งานเย็บผ้าหรือเครื่องหนัง และปิดไฟเมื่อไม่มีการใช้งาน เพื่อลดระดับความสว่างเหมาะสม

2. ใช้โคมไฟทำด้วยสีเงินหรือสีขาว ซึ่งมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้ดี สามารถช่วยเพิ่มแสงสว่างในบริเวณการทำงาน

3. เปลี่ยนตำแหน่งการทำงานให้อยู่ในพื้นที่ปฏิบัติงานที่ไม่เกิดเงาหรือแสงสะท้อนจากผู้ปฏิบัติงาน

4. ใช้แสงสว่างจากธรรมชาติช่วยเพิ่มแสงในพื้นที่ปฏิบัติงาน

5. สีของผนังฝ้าเพดานที่มีสีอ่อนจะสะท้อนแสงได้ดีกว่าสีมืดทึบ

## อันตรายจากแสงสว่าง

แสง คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงชนิดที่ไม่มีการแตกตัวไอออน (Non ion) คือ พลังงานที่ปล่อยออกมาในรูปของควอนตัมพลังงาน (Quantum energy) หรือโฟตอน (Photon) สามารถแบ่งออกได้ทั้งหมด 3 ประเภท คือ 1) แสงเหนือม่วงหรืออัลตราไวโอเลต (Ultraviolet ray)

2) แสงใต้แดง (Infrared ray) และ 3) แสงในช่วงคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ (Visible light) แสงในช่วงคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ทุกชนิดจะมีคุณลักษณะพื้นฐานที่เหมือนกัน 2 รูปแบบ คือ

1 ความยาวคลื่น ใช้อักษร $\lambda$ หรือ แลมด้า (Lamda) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm) หรือ อังสตรอม (Angstrom) หรือ Å

2 ความถี่ใช้อักษร $\upsilon$ เรียกว่า นู (Nu) มีหน่วยเป็น Hertz หรือ Cycle Per Secon

จากลักษณะพื้นฐานคุณสมบัติบางอย่างของแสงดังกล่าวอาจมีความแตกต่างกันแต่คุณสมบัติที่เหมือนกัน คือ แสงทุกชนิดจะมีความเร็ว การหักเห สะท้อนและหมุนเวียนอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้

**อันตรายจากแสงเหนือม่วง**

แสงเหนือม่วงเป็นส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เลยไปจากส่วนที่ยาวที่สุดของรังสีเอ็กซ์จนไปถึงความยาวคลื่นของแสงที่นัยน์ตาสามารถมองเห็นได้ มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100 ถึง 4,000 Å จะสามารถแผ่รังสีแสงอัลตาไวโอเลต ระดับพลังงานของรังสีนี้มีขอบเขตตั้งแต่ 3.26-123 eV (Electron volts) เช่น ดวงอาทิตย์ เตาหลอมเหล็กหรือการเชื่อมเหล็กที่มีอุณหภูมิสูงเป็นจุดกำเนิดของแสงนี้ กลุ่มคนงานที่เสี่ยงอันตรายจากแสงเหนือม่วง คือ คนงานเชื่อมโลหะ กระบวนการผลิตที่ใช้แสงเหนือม่วงฆ่าเชื้อโรค เกษตรกรที่ทำงานกลางแจ้ง คนงานก่อสร้างที่ทำงานกลางแจ้ง และชาวประมง ผลกระทบที่มีต่อร่างกายนั้นเกิดจากปริมาณและพลังงานของแสงเหนือม่วงที่ถูกดูดซึมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเซลล์ของผิวหนัง ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นกับช่วงคลื่นของแสง 3 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 ช่วงใกล้แสงอัลตาไวโอเลต (1,000-1,900 Å) มักจะถูกดูดกลืนโดยน้ำและอากาศ

ช่วงที่ 2 ช่วงกลางแสงอัลตาไวโอเลต (1,000-3,000 Å) มักจะถูกดูดกลืนมากในสัตว์ที่มีชีวิตและสามารถทำให้กรรมพันธุ์ของสัตว์เปลี่ยนแปลงลักษณะได้

ช่วงที่ 3 ช่วงไกลแสงอัลตาไวโอเลต (3,000-3,000 Å) จะถูกดูดกลืนโดยสิ่งที่มีชีวิตบางชนิดสำหรับร่างกายของคนเรา ช่วงที่เป็นอันตรายมากที่สุด คือ ช่วงคลื่น 2,900 พลังงานในช่วงนี้จะถูกดูดกลืนเข้าในผิวหนังลึกลงไปประมาณ 0.1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดอาการผื่นแดงและคันบริเวณตามผิวหนัง

อันตรายที่เกิดจากแสงเหนือม่วงสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. นัยน์ตาอักเสบอาการที่ปรากฏ คือ นัยน์ตาจะแดงเยื่อบุในชั้นตาดำอาจถูกทำลาย ส่งผลให้เกิดความขุ่นมัวและมองเห็นไม่ชัด ถ้าคนงานได้สัมผัสตั้งแต่ 30 นาทีขึ้นไป จะมีความรู้สึกคล้ายกับมีทรายอยู่ในตา ถ้ามีการสัมผัสบ่อย ๆ เป็นประจำโดยไม่มีการป้องกันจะทำให้เกิดอาการ

ในลักษณะกลัวแสง มีน้ำตาคลอหรือซึมตลอดเวลา มีอาการกระตุกตามขอบตาและกล้ามเนื้อของนัยน์ตา จากการวิจัยพบว่าช่วงคลื่นขนาด 2,800 Å จะทำให้เกิดอันตรายต่อนัยน์ตามากที่สุด

2. ผิวหนังอักเสบ เกิดในช่วงคลื่นขนาด 2,800 Å จะทำให้เกิดอาการอักเสบที่ผิวหนังมากที่สุดเส้นเลือดใต้ผิวหนังจะเกิดการขยายตัวทำให้เกิดการคันและอักเสบ ในปัจจุบันยังไม่มีทฤษฎีใดที่สามารถบ่งได้เด่นชัดว่า แสงนี้ทำให้เกิดมะเร็งบนผิวหนัง แต่จากตัวเลขของผู้ป่วยที่มารับการรักษา พบว่า อาชีพชาวนามีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดมะเร็งบนผิวหนังมาก โดยเฉพาะคนที่อยู่ในโซนร้อน คนงานที่ทำงานเกี่ยวกับการบุหุ้มท่อโดยใช้น้ำมันถ่านหิน (Coal tar) กลางแดดจะมีอาการแพ้บนผิวหนังและมีการเกิดมะเร็งบนผิวหนังด้วย ด้วยเหตุนี้เองกระบวนการที่จะต้องใช้น้ำมันถ่านหินจึงต้องทำในที่ร่มหรือทำในเวลากลางคืนเพื่อลดอาการแพ้และคันของคนงาน

3. ผลกระทบที่ไม่เกี่ยวข้องกับด้านชีวภาพ คนงานที่มองแสงนี้นาน ๆ และสัมผัสทั่วร่างกายจะดูดกลืนแสงนี้เข้าไปเซลล์ของผิวหนังพลังงานโฟตอนขนาด 3.5 eV จะสามารถสั่นเซลล์ของนัยน์ตาและของเหลวที่อยู่รอบ ๆ ตา ทำให้คนงานเกิดอาการมึนงงและทำให้เกิดอาการเมื่อยหรืออ่อนเพลีย

**อันตรายจากแสงใต้แดง**

แสงใต้แดงยังแบ่งช่วงคลื่นออกเป็น 3 ส่วนย่อย คือ ช่วงใกล้ ช่วงกลางและช่วงไกล ในช่วงไกลจะมีความยาวของคลื่นแสงสูงกว่าและลดหลั่นลงไปตามลำดับ แสงประเภทนี้เกิดจากแรงแกว่งของอิเล็กตรอนรอบนอกของวงโคจรไปรับพลังงานสูงและเมื่อกลับคืนสู่สภาพปกติก็ทำให้เกิดแสงออกมา

จุดกำเนิดของแสงนี้เกิดจากกระบวนการหลอมโลหะ เชื่อมโลหะและวัตถุที่ร้อนจัด อันตรายจากแสงใต้แดงมักจะเกิดร่วมกับแสงเหนือม่วงและแสงช่วงคลื่นที่นัยน์ตาสามารถมองเห็นได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมประเภทเป่าแก้ว หลอมโลหะ งานเชื่อมชนิดต่าง ๆ และการทำงานในแสงแดดที่จ้า คนงานมักจะได้รับแสงใต้แดงพร้อม ๆ กันกับแสงเหนือม่วงและแสงที่สามารถมองเห็นได้ แต่อย่างไรก็ตามกลไกของการเกิดอันตราย วิธีการวัดขนาดของแสงรวมทั้งการเสนอแนะมาตรฐานความปลอดภัยนั้นต่างกัน ช่วงคลื่นของแสงใต้แดงที่ยาวจะถูกกลืนไว้หมดโดยตาดำส่งผลทำให้ตาดำขุ่น ส่วนช่วงคลื่นที่สั้นกว่าจะส่องผ่านตาดำและถูกดูดกลืนโดยเลนส์จนเกิดเป็นต้อกระจกจากความร้อน (Heat cataract)

กลไกของการเกิดอันตรายจากรังสีใต้แดงคือ การที่แสงถูกดูดกลืนในที่เป็นเซลล์ของตาดำและเลนส์ขณะที่ดูดกลืนรังสีใต้แดงได้ปล่อยพลังงานให้กับเซลล์ ดังนั้นจึงเกิดการสั่นของโมเลกุลและเกิดความร้อนขึ้นซึ่งความร้อนนี้ทำให้เกิดการตกตะกอนของสารที่ประกอบอยู่ในเซลล์ แสงใต้แดงสามารถทำให้เกิดพลังความร้อนได้มากและอาจทะลุทะลวงถึงจอภาพ (Retina) ของ

นัยน์ตาทำให้สารโปรตีนในเซลล์ของจอภาพเกิดจับตัวกันเป็นก้อนและทำให้เซลล์ของจอภาพตาย ได้ทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ชัด ถ้าเป็นมาก ๆ อาจถึงตาบอดได้ เช่นในกรณีที่มองแสงอาทิตย์จ้า

อันตรายที่เห็นได้ชัด คือ อันตรายเกี่ยวกับผิวหนังคนงานที่ทำงานในสภาพที่มีจุดกำเนิดที่ร้อนจัดจะโดนแสงใต้แดงทำให้เกิดผิวหนังไหม้อย่างเฉียบพลันทำให้เกิดการขยายตัวของเส้นเลือดฝอยที่อยู่บนผิวหนังและอาจทำให้เส้นเลือดฝอยนั้นแตกสีของผิวหนังอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปในกรณีที่มีการสัมผัสอย่างต่อเนื่องจะเกิดอาการผื่นคันและอักเสบเห็นได้ชัด

**อันตรายจากแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็น**

แสงในช่วงคลื่นที่นัยน์ตาสามารถมองเห็นเป็นส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่าง 3,800-7,500 Å ในช่วงนี้ จอภาพของนัยน์ตาจะมีความไวต่อการรับสูง แสงที่เราเห็นเกิดจากอิเล็กตรอนในอะตอมหรือโมเลกุลเปลี่ยนสถานะของพลังงานและสีต่าง ๆ ที่เรามองเห็นนั้นเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างกันสีที่เรามองเห็นแบ่งออกเป็น 6 สี คือ ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้มและแดง

แสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นนี้มีความสำคัญมากเพราะอาจทำให้เกิดผลกระทบทั้งต่อคุณภาพและความแม่นยำของงานได้ สภาพแสงสว่างที่ดีนั้นปกติแล้วก็จะส่งผลให้มีการเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยมีของเสียน้อยและเพิ่มผลผลิต แสงสว่างควรจะมีความสว่างเพียงพอเพื่อช่วยให้มองเห็นได้ง่ายและไม่ก่อให้เกิดแสงจ้า นั่นคือแสงควรจะมีความสว่างและประสิทธิภาพอย่างเพียงพอ

หากมีแสงสว่างมากหรือจ้าเกินไปจะทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายตาหรือรบกวนการมองเห็น ความสว่างจ้านี้อาจเกิดจากแสงสว่างโดยตรงหรือจากแสงสะท้อนก็ได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาแสงจ้าดังกล่าวจึงควรที่จะให้แหล่งของกำเนิดแสงอยู่หนือระดับสายตาหรืออาจห่อหุ้มแหล่งกำเนิดแสงด้วยวัสดุทึบแสงหรือกรองแสง คนงานที่อาจมีโอกาสได้รับแสงจ้า ได้แก่ คนงานแผนกตรวจสอบหรือตรวจคุณภาพวัสดุ คนงานที่เกี่ยวกับการประกอบชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิกส์ คนงานที่ทำงานเกี่ยวกับการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบชิ้นส่วนเล็ก ๆ และคนงานในอุตสาหกรรมที่ทำงานหน้าเตาหลอม อย่างไรก็ตามผิวหนังและนัยน์ตาเป็นด่านแรกของการดูดกลืนแสงที่ผ่านเลนส์ของนัยน์ตาแล้วก็จะผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและไปปรากฏที่จอภาพเพื่อทำให้เกิดการตอบสนองในการมองเห็นพบว่ามีปัจจัย 3 ชนิดที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอันตราย คือ

1. ความยาวคลื่นและความเข้มของแสง
2. เส้นผ่าศูนย์กลางของม่านตา
3. ระยะเวลาที่สัมผัสกับแสง

อาการที่เกิดจากการมองแสงจ้านั้นคล้าย ๆ กับโดนวัตถุที่ร้อนและในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเจ็บป่วยที่รุนแรงกว่า

## หลักการป้องกันและควบคุมอันตรายจากแสง

การสำรวจสภาพการทำงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อตรวจดูว่ามีรังสีประเภทนี้หรือไม่ หากมีจะต้องตรวจสอบว่ามีมากน้อยเพียงใด เป็นประเภทอะไร เมื่อทำการสำรวจ และตรวจสอบได้ข้อมูลที่แท้จริงแล้วก็ควรดำเนินการป้องกันและควบคุมดังต่อไปนี้ คือ

1. การควบคุมที่จุดกำเนิดโดยพิจารณาถึงปริมาณของรังสีที่แพร่กระจายออกมา ถ้ามีการรั่วไหลถึงขีดขั้นอันตรายก็ต้องจัดให้มีการคลุมจุดกำเนิดนั้นหรืออาจจะสร้างเป็นห้องพิเศษและแยกกระบวนการนั้นออกไปให้ห่างจากกลุ่มคนงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง

2. การเลือกที่กั้นสะท้อน เช่น อาจใช้อะลูมิเนียมบาง ๆ เป็นฉากกั้นการแผ่รังสีและฉากนี้สามารถเลื่อนให้เหมาะสม

3. การใช้เครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคลทั่ว ๆ ไป เช่น เสื้อผ้า หมวก แว่น ถุงมือและรองเท้า ให้เหมาะสม

4. การเลือกใช้แว่นตากันแสงและรังสี เนื่องจากการแผ่รังสีนี้มีผลกระทบกระเทือนต่อนัยน์ตาโดยตรง ดังนั้นการเลือกใช้และจัดหาแว่นตาที่เหมาะสมและถูกต้องกับสภาพอันตรายจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

5. คนงานที่ทำงานเกี่ยวกับแสงและคลื่นวิทยุควรจะได้มีการตรวจเช็คสายตาและสมรรถภาพของการมองเห็นเป็นระยะ ๆ เช่น 6 เดือน หรือ 1 ปีต่อครั้ง พร้อมทั้งมีการจดบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพอย่างจริงจังเพื่อประโยชน์ของการตรวจครั้งต่อ ๆ ไป

6. การเฝ้าคุมด้านสิ่งแวดล้อมและการบริหารงานในสถานประกอบการที่มีการใช้แสงรังสีหรือคลื่นวิทยุควรจะมีการตรวจสภาพสิ่งแวดล้อมและเฝ้าคุมเป็นประจำ เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยควรตรวจสอบบริเวณที่เสี่ยงต่ออันตรายมากที่สุด กำหนดชั่วโมงการทำงานและวิธีการบริหารงานด้านความปลอดภัย

7. การให้ความรู้และเปลี่ยนแปลงทัศนคติของคนงานนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องทำกันซ้ำซากและต่อเนื่อง

## หลอดไฟ LED

**1. ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED)**

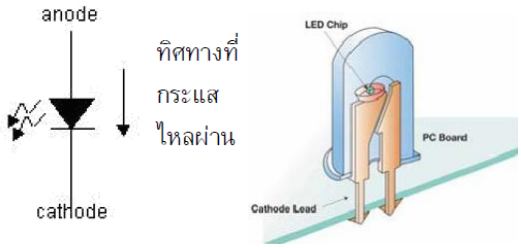
1.1 ลักษณะโครงสร้างของหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode)

หลอดไดโอดเปล่งแสงเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งจัดอยู่จำพวกไดโอด มีคุณสมบัติสามารถเปล่งแสงเมื่อถูกกระตุ้นทางไฟฟ้าแบบ Forward Bias หลอด LED จะเกิดปฏิกิริยาที่สารชนิด N และสารชนิด P เกิดปรากฏการณ์ของ Electroluminescence โดยรูปแบบสีของแสงที่หลอด LED เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้งานโดยหลอด LED สามารถเปล่งแสงได้ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงแสงที่มองเห็นและช่วงอินฟราเรด ซึ่งผู้พัฒนาหลอดไดโอดเปล่งแสงขึ้นเป็นคนแรกของโลก คือ นิก โฮโลยัก (Nick Holon yak Jr, ค.ศ. 1928) แห่งบริษัท เจเนรัลอิเล็กทริก (General Electric Company) โดยได้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงแสงที่สามารถมองเห็นและใช้งานได้ในเชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1962 ซึ่งหลอด LED ที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถเปล่งแสงสีแดงที่มีความสว่างออกมามากเพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ จึงทำให้ทั่วโลกเริ่มมีการตื่นตัววิจัยและพัฒนาในด้านนี้อย่างจริงจัง

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2-1 หลอดไฟ LED ชนิดต่าง ๆ (ก) หลอด LED ชนิดเม็ด (ข) หลอดไฟ LED ชนิด Cover light (ค) ภาพการตกแต่งห้องด้วยหลอดไฟ LED

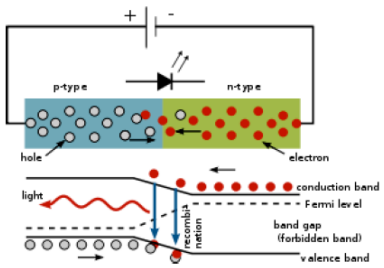
หลอด LED จัดอยู่ในอุปกรณ์ชนิดแบบมีชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งชั้นโครงสร้างภายในของหลอด LED จะมีขั้วจำนวน 2 ขั้ว แบ่งออกเป็นขาบวกหรือแอโนด (A) และขาลบหรือแคโทด (K) โดยหลอด LED จะมีสัญลักษณ์และโครงสร้าง ดังภาพที่ 2-2




ภาพที่ 2-2 สัญลักษณ์และโครงสร้างของหลอด LED

1.2 การทำงานของหลอด LED

โครงสร้างของหลอด LED ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด (สารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N) ประกอบติดเข้าด้วยกัน ผิวข้างหนึ่งมีลักษณะเรียบคล้ายกระจกใสเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านหลอด LED ด้วยวิธีการจ่ายไฟบวกให้ขาแอโนด (A) และจ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) จะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้น จนทำให้อิเล็กตรอนภายในสารชนิด N สามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลในสารชนิด P ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อส่งผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนมีค่าสูงมากขึ้นจนอิเล็กตรอนคายพลังงานออกมาในรูปแบบของคลื่นแสง

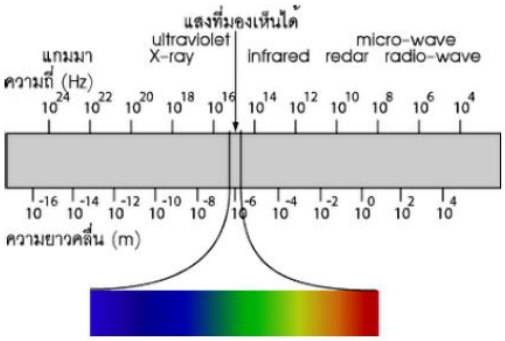



ภาพที่ 2-3 การทำงานของ LED เมื่อได้รับการกระตุ้น

สีของแสงของหลอด LED จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างชั้นรอยต่อของ LED ซึ่งมีสารชนิดที่เป็นของเหลวและชนิดที่เป็นก๊าซ เช่น ใช้แกลเลียมฟอสไฟด์ (Gasllium phosphide, Gap) ทำให้เกิดแสงสีแดงใช้แกลเลียมอาซีไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium arsenide phosphide, GaAsP) ทำให้เกิดแสงสีเหลืองและเขียว

หลักการควบคุมปริมาณแสงสว่างสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอด LED หากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อ P และ N มีค่าสูงมากจะทำให้หลอด

LED มีความสว่างมาก ข้อควรระวังที่สำคัญของหลอด LED คือ เมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนที่รอยต่อ P และ N สูงตามไปด้วยซึ่งหากความร้อนรอยต่อ P และ N มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้รอยต่อ P และ N เกิดความเสียหายจนไม่สามารถใช้งานหลอด LED ได้อีก




ภาพที่ 2-4 ความยาวคลื่นของแสงและการเกิดของสี

ภาพที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นกับชนิดของสีที่เกิดขึ้น แสงที่สามารถมองเห็นได้จะอยู่ในย่านความถี่ $10^{16}$-$10^{14}$ เฮิร์ต

1.3 หลอด LED ชนิดต่าง ๆ

ปัจจุบันหลอดไฟ LED มีลักษณะหลายรูปแบบ หากแบ่งหลอดไฟ LED ตามลักษณะของรูปร่างสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

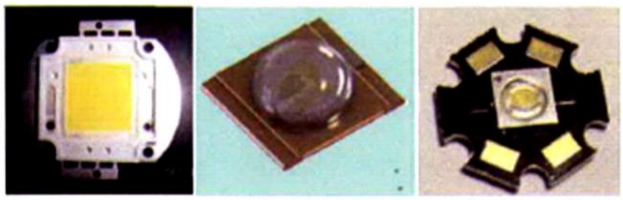
1.3.1 หลอด LED ชนิด Lamp type

เป็นชนิดที่พบกันอยู่ทั่วไป ลักษณะเด่น คือ มีขายื่นออกมาจากตัว Epoxy จำนวน 2 ขาหรือมากกว่า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่แล้วบริษัทผู้ผลิตจะออกแบบให้หลอด LED แบบ Lamp type สามารถรองรับกระแสได้ไม่เกิด 150 มิลลิแอมแปร์

ภาพที่ 2-5 หลอด LED ชนิด Lamp type ในรูปแบบต่าง ๆ

1.3.2 หลอด LED ชนิด Surface Mount type (SMT)

เป็นหลอดไฟ LED ที่มีลักษณะรูปร่างแบบ Chip ซึ่งเมื่อมีความต้องการใช้งานจำเป็นต้องมีการใช้เครื่องมือชนิดพิเศษหรือใช้เครื่องจักรเพื่อหยิบจับและประกอบลงแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลอด LED แบบ Surface mount type สามารถทนกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 20 มิลลิแอมแปร์ จนถึง 1 แอมแปร์ หากมีการขับกระแสมากกว่า 300 มิลลิแอมแปร์ขึ้นไป จะเรียกว่าหลอด LED แบบ Power LED ลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์หรือมีโครงสร้างอื่น ๆ มาครอบตัวหลอด LED อีกชั้นหนึ่ง

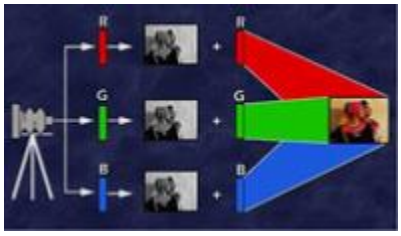


ภาพที่ 2-6 LED ชนิด Surface Mount type ในรูปแบบต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-6 แสดงลักษณะโครงสร้างของหลอดไฟ LED แบบ Surface mount type จะใช้สารเคลือบหน้าหลอด LED เป็นซิลิโคน ทำให้ละอองน้ำหรือความชื้นสามารถซึมผ่านเข้าไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำได้

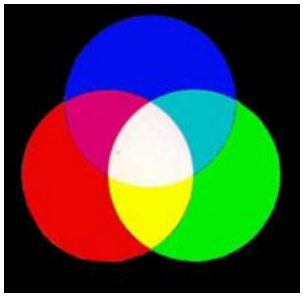
## ทฤษฎีการผสมสี

สีต่าง ๆ ที่เรามองเห็นเกิดจากการผสมกันของแม่สี 3 ชนิด โดยหลักการผสมกันของสีทั้งหมด 2 ประเภท คือ การผสมสีแบบบวก (Additive color mixing) และการผสมสีแบบลบ (Subtractive color mixing) วิธีการผสมสีคิดค้นโดย James Clark Maxwell กล่าวว่า ทฤษฎีการผสมสีแบบบวกทำได้ด้วยการฉายภาพจากฟิล์ม Positive แบบขาวดำจำนวน 3 แผ่น โดยภาพที่ถ่ายจะใช้เทคนิคการใช้แผ่นกรองแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน บังหน้ากล้องถ่ายภาพ วิธีการถ่ายภาพดังกล่าวทำให้ฟิล์มแต่ละแผ่นบันทึกเฉพาะแม่สีของแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุเป็นน้ำหนักสีต่าง ๆ บนฟิล์มตามความเข้มแสงที่สะท้อนจากวัตถุจากนั้นนำฟิล์มแต่ละแผ่นไปฉายด้วยเครื่องฉายที่มีแผ่นกรองแสง สีแดง เขียว และน้ำเงินบังอยู่ เมื่อแสงสามสีนี้ไปรวมกันบนจอภาพจะเกิดเป็นสีต่าง ๆ ขึ้นมาใหม่อีกมากมายจากการผสมสีของแสงทั้งสามในความเข้มต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 2-7 การผสมสีตามทฤษฎีของ Maxwell

การผสมสีแบบบวกนี้เป็นการผสมกันระหว่างสีของแสงซึ่งมีแม่สีหลัก (Primary color) คือ แสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน ซึ่งเราจะพบเห็นการผสมสีแบบบวกได้จากจอโทรทัศน์หรือจอคอมพิวเตอร์ เราจะเรียกสีที่เกิดจากการผสมของแม่สีบวกว่าแม่สีรอง (Secondary color) ซึ่งได้แก่ สีฟ้าหม่น (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 การผสมสีแบบบวก

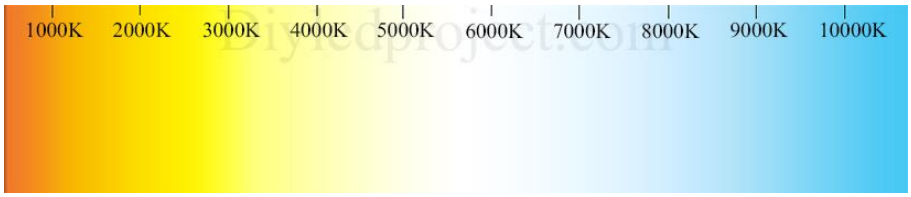
จากภาพที่ 2-8 แสดงหลักการผสมสีต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งจะพบว่าแสงสีขาวนั้นเกิดมาจากการผสมสีระหว่างสีเหลืองและสีน้ำเงินเข้าด้วย

สีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการผสมสีนั้นจะมีวิธีการที่แยกสีนั้น ๆ ออกมาอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถจำแยกด้วยการวิเคราะห์และพิจารณาค่าอุณหภูมิสี (Color temperature)

**อุณหภูมิสี (Color temperature)**

สีที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนผ่านวัตถุสีดำหรือเผาไหม้วัตถุสีดำ เมื่อมีความร้อนเกิดขึ้นที่วัตถุสีดำ วัตถุนั้น ๆ ก็จะมีการดูซับความร้อนจนได้ในระดับต่าง ๆ สีจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่ได้รับ จึงทำให้ได้สีที่เกิดขึ้นตรงกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตัววัตถุโดยหน่วยของอุณหภูมิสีจะใช้เป็นองศาเคลวิน (°K) ค่าของอุณหภูมิสีมักเขียนมากับหลอดไฟ LED

หลักการพิจารณาสีของหลอด LED สามารถใช้วิธีการพิจารณาอย่างง่าย ๆ โดยการพิจารณาค่าอุณหภูมิสีจะสามารถทราบว่า หลอด LED มีโทนสีใด ดังภาพที่ 2-9




ภาพที่ 2-9 อุณหภูมิสี

จากภาพที่ 2-9 สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณภูมิสีกับชนิดของสีได้ว่า สีของแสงที่เกิดขึ้นอยู่กับค่าของอุณภูมิของสีนั้น ๆ ได้ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 อุณภูมิสีเทียบกับชนิดของสี

| **อุณภูมิสี** | **ชนิดของสี** |
|---|---|
| อุณภูมิสีระดับ 2,000 เคลวิน | แสงโทนสีแดง |
| อุณภูมิสีระดับ 3,000-3,2000 เคลวิน | แสงสีเหลืองอมส้ม |
| อุณภูมิสีระดับ 3,500-4,500 เคลวิน | แสงโทนสีขาวอมส้ม |
| อุณภูมิสีระดับ 6,000- 6,500 เคลวิน | แสงโทนสีขาว |
| อุณภูมิสีมากกว่า 8,000 เคลวิน | แสงโทนสีน้ำเงิน |

จากตารางที่ 2-1 พบว่า แสงสีขาวมีอุณภูมิสีที่ 6,000-6,500 เคลวิน ซึ่งมีสีเดียวกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ตามอาคารและที่พักอาศัยทั่วไป

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2-10 หลอดไฟ LED ที่อุณหภูมิสีแตกต่างกันไป (ก) แสงสีโทนสีเหลืองอมส้ม (ข) แสงโทนสีขาวอมส้ม (ค) แสงโทนสีขาว

จากภาพที่ 2-10 แสดงสีของหลอดไฟ LED โดยตามเกณฑ์ของอุณภูมิแต่ละชนิดโดนเรียงจากอุณหภูมิสีค่าต่ำหรือ 3,500 องศาเคลวิน ไปปยังอุณหภูมิสีค่าสูง หรือ 6,000 องศาเคลวิน

## ประเภทของหลอดไฟ LED (LED Lighting application)

### 1. หลอดไฟ LED ชนิด Replacement

เป็นหลอด LED ชนิดที่ออกแบบมาสำหรับใช้งานได้ง่ายโดยออกแบบสำหรับการใช้งานทดแทนหลอดไฟชนิดเก่าได้เลยทันที มีลักษณะต่าง ๆ ดังภาพที่ 2-11

ภาพที่ 2-11 หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ชนิดต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-11 แสดงหลอดไฟ LED ชนิด Replacement หรือหลอดไฟ LED ชนิดที่สามารถใช้ทดแทนหลอดไฟชนิดเดิมได้ทันที ซึ่งหลอดไฟ LED ชนิด Replacement มีคุณสมบัติดังนี้

1.1 สะดวก ใช้ง่าย สามารถแทนหลอดเก่าได้ทันที

1.2 โดยทั่วไปไม่สามารถใช้งานได้เต็ม Capacity ของเม็ด LED

1.3 Power LED ขนาด 1 วัตต์ ขึ้นไปหลาย ๆ เม็ด ควรมี Heat Sink เป็นตัวระบาย

1.4 Consumer Products & Cost Expectations ต้องการค่าดัชนีความถูกต้องของสีที่สูงกว่าหลอดไฟทั่วไปโดยเฉพาะอุณหภูมิสี Warm white

**2. หลอดไฟ LED ชนิด Down light**

เป็นหลอดชนิดที่ออกแบบมาใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลจ์ โดยภายในจะมีภาคจ่ายไฟกระแสตรงและหลอด LED ประกอบใน package ของหลอดไฟ LED ชนิด Down light การใช้งานปกติใช้สำหรับหลอด LED ที่มีกำลังไฟฟ้าสูง มีการควบคุมค่าอุณหภูมิของสีประมาณ 3,000 องศาเคลวิน มีรูปแบบต่าง ๆ ดังภาพที่ 2-12

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 2-12 หลอดไฟ LED ชนิด Down light ชนิดต่างๆ เรียงขนาดตามลำดับของกำลังไฟฟ้า
(ก) ขนาดกำลังไฟฟ้า 3 วัตต์ (ข) ขนาดกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์ (ค) ขนาดกำลังไฟฟ้า 10 วัตต์
(ง) ขนาดกำลังไฟฟ้า 15 วัตต์

จากภาพที่ 2-12 แสดงหลอดไฟ LED ชนิด Down light ชนิดต่าง ๆ โดยเรียงตามกำลังไฟฟ้าใช้งาน โดยปกติหลอดไฟ LED ชนิด Down light จะมีคุณลักษณะที่เด่นชัดคือใช้ตัวถังโคมเป็นตัวระบายความร้อน ต้องเปลี่ยนทั้งโคมสามารถขับกระแสได้เกือบเท่า Capacity ของ LED หากมีการออกแบบ Heat sink ให้รองรับการระบายความร้อนได้ โดยทั่วไปจะนิยมใช้แหล่งจ่ายไฟเป็นแบบกระแสคงที่มีค่า CRI ที่สูงและอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง Warm white

**3. หลอดไฟ LED ชนิด Accent & Track light**

เป็นหลอดไฟที่ออกแบบมาใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลจ์ โดยภายในจะมีภาคจ่ายไฟกระแสตรงและหลอด LED ประกอบใน package ของ Accent & Track light โดยส่วนมาก

แล้วจะใช้หลอด LED ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงและควบคุมค่าอุณหภูมิของสีประมาณ 6,500 องศาเคลวิน ซึ่ง LED ชนิด Accent & Track light มีรูปแบบต่าง ๆ ดังภาพที่ 2-13

ภาพที่ 2-13 หลอดไฟ LED ชนิด Accent & Track light ชนิดต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-13 แสดงหลอดไฟ LED ชนิด Accent & Track light ในรูปแบบต่าง ๆ โดยปกติแล้วหลอดไฟ LED ชนิดนี้นิยมใช้สำหรับการจัดโชว์เครื่องประดับหรือสินค้าที่มีความสวยงามเป็นหลัก หลอดไฟ LED ชนิด Accent & Track light มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

3.1 สำหรับใช้แทนโคมประเภทหลอดฮาโลเจน (ใช้งานแทนประเภทหลอดเมทัลเฮไลด์) ต้องการค่า CRI ที่สูง

3.2 อุณหภูมิสี Warm white มุมกระจายของแสงมีความสำคัญ รูปร่างลักษณะของโคมมีความสำคัญในการเลือกใช้

**4. หลอดไฟ LED ชนิด Furniture application**

เป็นหลอดไฟที่ออกแบบมาใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลจ์ โดยภายในจะมีภาคจ่ายไฟกระแสตรงและหลอด LED ประกอบใน package ของ Furniture application แสงที่ออกมาไม่มีรังสียูวีจึงไม่เป็นอันตรายต่อผลิตภัณฑ์สินค้าที่ต้องหลีกเลี่ยงรังสีนี้ เช่น รูปภาพสีน้ำมัน ช็อคโกแลต ยารักษาโรค เครื่องสำอาง นาฬิกา กระเป๋าหนัง เสื้อผ้าและไวน์ เป็นต้น หลอดไฟชนิด Furniture application มีรูปแบบ ดังภาพที่ 2-14

ภาพที่ 2-14 หลอดไฟ LED ชนิด Furniture application ชนิดต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-14 แสดงหลอดไฟ LED ชนิด Furniture application ตามรูปแบบและชนิดต่าง ๆ เป็นแสงจาก LED ที่ทำให้เกิดประกายที่สินค้าเป็นเครื่องประดับ เพชร พลอย นาฬิกา เป็นต้น และเกิดความร้อนจากแสงน้อยจึงเหมาะกับสินค้าที่โชว์ เช่น สร้อยทองใช้สี Warm white หรือเพชรใช้สีขาวอุณหภูมิสูงกว่า 7,000 องศาเคลวิน เป็นต้น หลอดไฟ LED ชนิด Furniture application มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

4.1 ประหยัดพลังงาน เมื่อเทียบกับหลอดไส้หรือฮาโลเจน

4.2 รูปร่างสามารถใส่ในซอกหรือช่องแคบของเฟอร์นิเจอร์ได้

4.3 ตัวหลอดอายุยืนนาน ไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อย ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ เช่น 12 โวลจ์ หรือ 24 โวลจ์

**5. หลอดไฟ LED สำหรับตู้แช่ ตู้เย็น**

เป็นหลอด LED ชนิดที่ออกแบบมาใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลจ์ โดยภายในจะมีภาคจ่ายไฟกระแสตรงและหลอด LED ภายในจะประกอบใน package แสงที่ออกมาไม่มีรังสียูวีและอินฟาเรด จึงไม่เป็นอันตรายต่ออุณหภูมิเหมาะสำหรับตู้แช่หรือตู้เย็นสำหรับโชว์สินค้า มีรูปแบบ ดังภาพที่ 2-15

ภาพที่ 2-15 หลอดไฟ LED ชนิดตู้แช่หรือตู้เย็นสำหรับโชว์สินค้า

จากภาพที่ 2-15 แสดงการใช้งานหลอดไฟ LED ชนิดตู้แช่หรือตู้เย็นสำหรับโชว์สินค้า ซึ่งหลอดไฟ LED ชนิดนี้มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

5.1 ออกแบบโคมไฟ LED ให้สอดคล้องกับรูปแบบตู้แช่เพื่อให้สามารถกระจายแสงได้อย่างสม่ำเสมอ

5.2 ภาวะที่อุณหภูมิต่ำ LED จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นทำให้ประหยัดพลังงานและมี reliability ดีขึ้น

5.3 สามารถเลือกอุณหภูมิสีของ LED ให้สอดคล้องกับสินค้าที่แสดงในตู้แช่ได้ ทำให้สินค้าดูสดขึ้น

**6. หลอดไฟ LED ชนิด Cove light**

เป็นหลอดชนิดที่ออกแบบมาใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงโดยภายในจะมีหลอด LED ประกอบใน package ที่มีลักษณะอ่อนนิ่ม และแสงของ LED มีสีสันหลากหลาย เพื่อใช้ในการประดับตกแต่งจุดต่าง ๆ มีรูปแบบ ดังภาพที่ 2-16

ภาพที่ 2-16 หลอดไฟ LED ชนิด Cover light

จากภาพที่ 2-16 แสดงรูปร่างและแสงสีจากหลอด LED สีต่าง ๆ ซึ่งหลอดไฟ LED ชนิดนี้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในลักษณะการประดับร้านหรืองานเทศกาลต่าง ๆ โดยหลอดไฟ LED ชนิด Cover light มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

6.1 เหมาะกับพื้นที่ที่ยากแก่การเข้าไปบำรุงรักษาและต้องการเรื่อง ประหยัดพลังงาน การตกแต่ง Dynamic ambience ต้องการอุณหภูมิสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกิจกรรมการใช้งาน

6.2 หลอดไฟ LED แบบ Cove light อาจมีปัญหาความโค้งหรือระยะที่ไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน

**7. หลอดไฟ กล่องไฟ หรือป้ายไฟโฆษณา**

เป็นหลอดชนิดที่ออกแบบมาใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงโดยภายในจะมีหลอด LED ประกอบใน package รูปแบบต่าง ๆ ตามชนิดของป้ายหรือกล่องไฟที่จะใช้งานแสงของของ LED มีสีสันเพื่อใช้ในการประดับตกแต่งจุดต่าง ๆ มีรูปแบบ ดังภาพที่ 2-17

ภาพที่ 2-17 หลอดไฟ LED สำหรับป้ายโฆษณา

จากภาพที่ 2-17 แสดงหลอดไฟ LED สำหรับป้ายโฆษณา โดนส่วนใหญ่หลอดไฟชนิดนี้จะมีสีสันสันสวยงามและมีความสว่างสูง หลอดไฟ LED สำหรับป้ายโฆษณามีคุณลักษณะเด่นดังต่อไปนี้

7.1 ป้ายหรือกล่องไฟ เป็นพื้นที่ที่เข้าถึงยากเมื่อต้องบำรุงรักษาต้องการระดับแรงดันไฟที่ปลอดภัย ความสม่ำเสมอของแสงและประหยัดพลังงาน

7.2 ป้ายมีสีที่ต้องการหลากหลายสี การใช้สีของแสง LED ให้สอดคล้องกับสีของป้ายจะทำให้สีไม่เพี้ยน

7.3 การใช้ LED ให้แสดงแบบ Side light ทำให้กล่องไฟมีความบางและประหยัดไฟ

## หลอดไฟชนิดต่าง ๆ ในปัจจุบัน

**1. หลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซน**

ภาพที่ 2-18 หลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซน

จากภาพที่ 2-18 แสดงหลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนท์บางที เรียกว่า หลอดดวงเทียน มีทั้งชนิดแก้วใสและแก้วฝ้า โดยไส้หลอดผลิตจากทังสเตน เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดความร้อนขึ้น ยิ่งความร้อนมากขึ้นเท่าใดแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากไส้หลอดก็จะมากขึ้นเท่านั้น และให้แสงสีเหลืองส้ม อายุการใช้งานสั้น และสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก เนื่องจากสูญเสียพลังงานไปกับความร้อนที่เกิดขึ้น

**2. หลอดไฟฮาโลเจน**

ภาพที่ 2-19 หลอดไฟฮาโลเจนรูปแบบต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-19 แสดงหลอดฮาโลเจนมีหลักการทำงานคล้ายกับหลอดไส้ คือ กำเนิดแสงจากความร้อนโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดที่ทำจากทังสเตนแต่จะแตกต่างจากหลอดไส้ตรงที่มีการบรรจุสารตะกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอลีน โบรมีน และฟลูออรีน ลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ ซึ่งจะช่วยให้หลอดฮาโลเจนมีอายุการใช้งาน ปริมาณแสงสว่าง อุณหภูมิสี สูงกว่าหลอดไส้และให้แสงสีขาวและให้ค่าความถูกต้องของสีถึง 100 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 1,500-3,000 ชั่วโมง จึงนิยมใช้ให้แสงพวกเครื่องประดับหรือให้แสงสำหรับการแต่งหน้า

**3. หลอดไฟไอปรอทหรือหลอดแสงจันทร์**

ภาพที่ 2-20 หลอดไฟไอปรอท

จากภาพที่ 2-20 แสดงหลอดไฟไอปรอทโดยการทำงานของหลอดประเภทนี้จะทำงานด้วยหลักการปล่อยประจุความเข้มสูง มีอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชั่วโมง มีค่าความถูกต้องของสีค่อนข้างต่ำ แสงจะออกนวลมีปริมาณแสงสว่างต่อวัตต์สูงกว่าหลอดชนิดอื่น ๆ แสงส่องสว่างได้ไกลเหมาะกับงานสนามและภายนอกอาคาร เมื่อเปิดหลอดประเภทนี้จะต้องใช้เวลาสักพักหนึ่งก่อนจะทำงานได้เต็มที่และเมื่อปิดแล้วก็ต้องรออีกราวสิบนาทีก่อนจะเปิดใช้งานได้อีก ปัจจุบันหลอดไอปรอทไม่นิยมใช้งานแล้วเนื่องจากดูแลรักษายากและปรอทก็ยังเป็นพิษต่อคนและสิ่งแวดล้อม

**4. หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์**

(ก) (ข)

ภาพที่ 2-21 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (ก) หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง (ข)หลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ชนิดวงกลม

จากภาพที่ 2-21 แสดงหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดนีออน เป็นหลอดแก้วทรงกระบอกด้านในหลอดเคลือบด้วยสารเรืองแสงก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหลอดจะแตกตัวเป็นไอออนเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปกระทบก๊าซจะเกิดรังสีอัลตร้าไวโอเลตที่ทำให้หลอดสว่างขึ้น จำเป็นต้องใช้งานร่วมกับบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ให้แสงสว่างนวลตาเหมาะกับการทำงานอีกทั้งมีสามารถให้สีของแสงได้หลายแบบ เช่น สี Warm white ให้แสงสีขาวอมเหลืองนวลทำให้รู้สึกอบอุ่น สี Cool white ให้แสงสีขาวอมฟ้าให้ความรู้สึกเย็นสบายตาแต่จะทำให้สีของวัตถุเพี้ยนไปและสี Day light ให้แสงใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติทำให้มองเห็นสีของวัตถุใกล้เคียงกับสีจริงมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าถึง 8 เท่าและใช้พลังงานเพียง 20 เปอร์เซ็น เมื่อเทียบกับหลอดไส้

**5. หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์**

ภาพที่ 2-22 หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

จากภาพที่ 2-22 แสดงหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดตะเกียบมีหลักการทำงานเหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีทั้งแบบที่มีบัลลาสต์ในตัว มีขั้วเป็นแบบเกลียวสวมใส่เข้ากับเต้าเกลียวของหลอดไส้ได้เลยและแบบที่มีขั้วเป็นขาเสียบใช้ร่วมกับโคมและใช้บัลลาสต์ภายนอก โดยหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ผลิตออกมาหลายค่าพลังงาน สีของแสงมี Warm white, Cool white และ Day light เช่นเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีรูปร่างก็หลากหลายไม่ว่าจะเป็นหลอดคู่ หลอดสี่แถว หลอดยาว หลอดเกลียวและหลอดมีโคมครอบ มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

**ประโยชน์ของหลอดไฟ LED**

หลอดไฟ LED เป็นหลอดไฟที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่าง เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังหลอดไฟ LED หลอดไฟ LED ก็จะสว่างขึ้นในทันทีโดยไม่ต้องมีการจุดหรือสตาร์ทหลอดไฟเหมือนหลอดแสงจันทร์หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไฟ LED มีคุณสมบัติที่ดีดังต่อไปนี้

1. หลอดไฟ LED สามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าหลอดไฟฟลูออรเสเซนต์ หลอดไฟคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์

2. สีที่เกิดจากหลอดไฟ LED เกิดจากหารผสมสีของแม่สี ทำให้สามารถให้ดัชสีความถูกต้องของสีได้มากกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ๆ

3. ผลิตภัณฑ์หลอดไฟ LED ยังใช้วัสดุตามคำรับรองของ RoHS

4. หลอดไฟ LED ไม่มีการพร่าหรือสั่นกระพริบของแสง ทำให้สบายตามากกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกระพริบตลอดเวลา

5. หลอดไฟ LED ปล่อยความร้อนออกมาน้อยมากเมื่อเทียบกับหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไฟชนิดอื่น ๆ จึงช่วยลดอุณหภูมิในห้องได้ และช่วยให้อาคารลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ ช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

6. หลอดไฟ LED มีอายุการใช้งาน 25,000 ชั่วโมง ซึ่งหากเปิดหลอดไฟ LED ใช้วันละ 8-10 ชั่วโมง สามารถใช้งานได้นานถึง 10 ปีขึ้นไป

7. หลอดไฟ LED ไม่ต้องใช้บัลลาสต์ และสตาร์ทเตอร์ ซึ่งนอกจากจะไม่ต้องเปลืองเงินซื้อทั้งบัลลาสต์ และสตาร์ทเตอร์ แล้วยังประหยัดไฟจากการใช้บัลลาสต์ถึงประมาณ 8-10 วัตต์

จากคุณสมบัติต่าง ๆ ของหลอดไฟ LED จึงสามารถสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟ LED กับหลอดไฟชนิดต่าง ๆ ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟ LED และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาดต่าง ๆ

| คุณสมบัติ | Day light | | Cool White | | Warm light | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | FL | LED | FL | LED | FL3 | LED |
| หลอดไฟขนาดความยาว 1,200 มิลลิเมตร | | | | | | |
| ขนาด (วัตต์) | 36 | 16 | 36 | 16 | 36 | 16 |
| อุณหภูมิสี (เคลวิน) | 6,500 | 6,500 | 4,000 | 4,000 | 3,000 | 2,700 |
| ค่าความสว่าง (ลูเมน) | 2,690 | 1,600 | 3,100 | 1,600 | 3,100 | 1,600 |

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

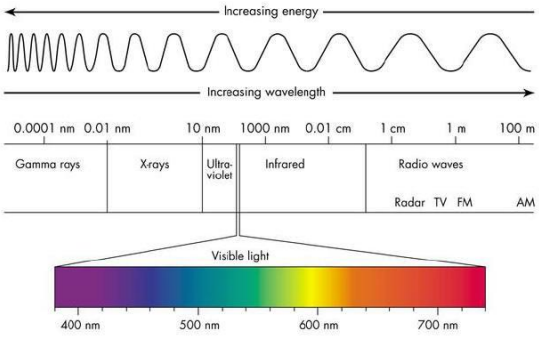
| คุณสมบัติ | Day light | | Cool White | | Warm light | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | FL | LED | FL | LED | FL3 | LED |
| ประสิทธิภาพความสว่าง (ลูเมน/วัตต์) | 75 | 96.5 | 86 | 96.5 | 86 | 96.5 |
| ราคา | 50 | 149 | 55 | 149 | 55 | 149 |
| อายุการใช้งาน | 10,000 | 30,000 | 10,000 | 30,000 | 10,000 | 30,000 |
| หลอดไฟขนาดความยาว 600 มิลลิเมตร | | | | | | |
| ขนาด (วัตต์) | 18 | 8 | 18 | 8 | 18 | 8 |
| อุณหภูมิสี (เคลวิน) | 6,500 | 6,500 | 4,000 | 4,000 | 3,000 | 27,00 |
| ค่าความสว่าง (ลูเมน) | 1,090 | 750 | 1,200 | 750 | 1,200 | 700 |
| ประสิทธิภาพความสว่าง (ลูเมน/วัตต์) | 61 | 93.8 | 67 | 93.8 | 67 | 87.5 |
| ราคา | 49 | 125 | 49 | 125 | 35 | 125 |
| อายุการใช้งาน | 10,000 | 30,000 | 10,000 | 30,000 | 10,000 | 30,000 |
| หลอดไฟแบบคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ | | | | | | |
| ขนาด (วัตต์) | 30 | 6 | N/A | N/A | 30 | 6 |
| อุณหภูมิสี (เคลวิน) | 6,500 | 6,500 | N/A | N/A | 2,700 | 2,700 |
| ค่าความสว่าง (ลูเมน) | 1700 | 400 | N/A | N/A | 1800 | 350 |
| ประสิทธิภาพความสว่าง (ลูเมน/วัตต์) | 57 | 80 | N/A | N/A | 60 | 70 |
| ราคา | 199 | 180 | N/A | N/A | 199 | 180 |
| อายุการใช้งาน | 6,000 | 15,000 | N/A | N/A | 6,000 | 15,000 |

จากตารางที่ 2-2 แสดงเปรียบเทียบความแตกต่างของคุณสมบัติระหว่างหลอดไฟ LED หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ จากตารางสรุปได้ว่าหลอดไฟ LED มีการคุณสมบัติที่ดีมากกว่า เช่น ค่าความสว่างต่อวัตต์ ค่าดัชนีความถูกต้องของสี ค่าประสิทธิภาพความสว่างและอายุการใช้งาน จึงสรุปได้ว่าหลอดไฟ LED มีประโยชน์และความเหมาะสมในการใช้งาน

## การออกแบบระบบแสงสว่าง

### 1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแสงสว่าง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 นาโนเมตร ตั้งแต่แสงสีม่วงจนถึงแสงสีแดง โดยมีแม่สีสามสีคือ สีแดง เขียวและน้ำเงิน ซึ่งแม่สีทั้งสามสีสามารถรวมกันเป็นสีอื่น ๆ ได้ ถ้าทั้งสามสีรวมกันด้วยสัดส่วนที่พอดีจะได้แสงสีขาว




ภาพที่ 2-23 คลื่นความยาวแสง

จากภาพที่ 2-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและชนิดของสีต่าง ๆ โดยค่าความยาวคลื่นตั้ง 400-700 นาโนเมตร จะสามารถมองเห็นเป็นสีต่าง ๆ จำนวนทั้งหมด 7 สี เรียงตามลำดับความยาวคลื่นตั้งแต่สีม่วงอ่อนจนสีแดง

### 2. การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารสามารถแยกแยะตามลักษณะของอาคารว่าเป็นอาคารที่ใช้งานในลักษณะใด เช่น อาคารที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์หรืออาคารอุตสาหกรรม ซึ่งจะมีผลต่อการออกแบบและการเลือกใช้โคมไฟฟ้าให้เหมาะสมกับลักษณะอาคารที่ใช้งาน

การคำนวณในการออกแบบระบบแสงสว่างในอาคารนั้น สิ่งที่เราต้องการทราบ คือ จำนวนของดวงโคมที่จะติดตั้งภายในห้องนั้นโดยชนิดของโคมและชนิดของหลอดไฟฟ้า เราสามารถกำหนดชนิดได้ด้วยตนเองตามความเหมาะสมของแต่ละห้องที่ต้องการออกแบบ ปริมาณความส่องสว่างทั้งหมดของห้องตามมาตรฐานเป็นตัวกำหนดค่ามาตรฐานของความส่องสว่างของห้องนั้น ๆ (Lux ใช้ระยะเป็นเมตรและ fc ใช้ระยะเป็นฟุต) หากต้องการเปลี่ยนหน่วยระหว่าง Lux กับ fc ก็สามารถทำได้จากความสัมพันธ์

$$1\ \text{Lux} = 0.0929\ \text{fc} \qquad (2\text{-}1)$$

$$1\ \text{fc} = 10.76\ \text{Lux} \qquad (2\text{-}2)$$

ขั้นตอนการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคารเป็นขั้นตอนการออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร โดยการออกแบบด้วย ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 วัดขนาดของพื้นที่ที่ต้องการออกแบบเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุต ให้สัมพันธ์กับหน่วยของค่าความส่องสว่างจะที่เลือกใช้ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าความส่องสว่างเป็นลักซ์ (Lux) หรือฟุตแคนเดิล (Foot-candle) ให้สัมพันธ์กับหน่วยของขนาดกว้าง-ยาวของห้องตามมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาเลือกชนิดของหลอดและโคมโดยพิจารณาเรื่องแสงบาดตา ความสวยงามและความเหมาะสมกับสภาพห้องและงาน

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าอัตราส่วนโพรง (RCR) หรืออัตราส่วนของห้อง (Kr)

ขั้นตอนที่ 5 หาสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน กำแพง และพื้นตามชนิดและสีของวัสดุ หากไม่ทราบค่าให้ใช้ค่าโดยประมาณ คือ 70 50 และ 20 (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540)

ขั้นตอนที่ 6 หาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคม จากตารางภาคผนวก ก-1 และ ก-2 พร้อมกับโคมที่ได้จากผู้ผลิต หากไม่มีระบุให้ใช้ตารางมาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง

ขั้นตอนที่ 7 หาค่าความเสื่อมของหลอดจากตารางข้อมูลที่แนบมากับหลอดหรือตารางที่มีผู้รวบรวมไว้และค่าความสกปรกของโคมตามชนิดของหลอดและระดับความสะอาดของห้อง

ขั้นตอนที่ 8 หาฟลักซ์ส่องสว่างและจำนวนโคมโดยการแทนค่าในสมการ

ขั้นตอนที่ 9 คำนวณระยะการติดตั้งพร้อมทั้งเขียนแผนผังการติดตั้งของโคม

2.1 การออกแบบด้วยวิธีแบบอัตราส่วนโพรง (Zonal cavity method) การออกแบบด้วยวิธีแบบอัตราส่วนโพรง คือ วิธีการออกแบบด้วยการออกแบบระบบความสว่างให้สามารถกระจายตัวได้ทั่วพื้นที่ที่กำหนด โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$TL = \frac{E \times A}{CU \times MF} \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อตัวแปรต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

TL คือ ค่าฟลักซ์ส่องสว่างรวมของห้อง มีหน่วยเป็น ลูเมนส์ (Lumen)

E คือ ค่าปริมาณความส่องสว่างตามมาตรฐาน

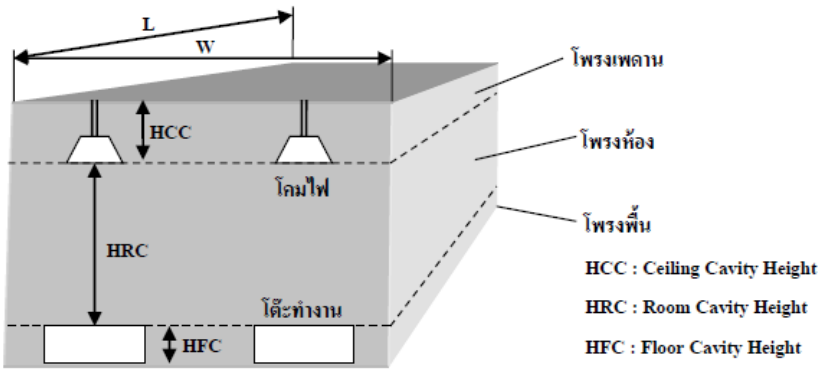
A คือ พื้นที่ของห้องที่ออกแบบ

CU คือ ค่าสัมประสิทธิการใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization)

MF คือ ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา

วิธีการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ของสมการที่ 2-3 จะต้องคำนวณหาค่าสัมประสิทธิการใช้ประโยชน์ ค่าความเสื่อมของหลอดไฟและค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม โดยวิธีคำนวณค่ามีดังต่อไปนี้

2.1.1 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of utilization: CU) จะต้องพิจารณาค่าอัตราส่วนโพรง ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของเพดาน ผนังและค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคม วิธีการหาค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาหาค่า CU สามารถคำนวณได้ ดังนี้




ภาพที่ 2-24 สัดส่วนการแบ่งโพรงของห้อง

จากภาพที่ 2-24 แสดงการแบ่งห้องออกเป็นส่วนต่าง ๆ โดยการคำนวณแบบ Zonal cavity method แบ่งห้องออกเป็น 3 ส่วน คือ โพรงเพดาน โพรงห้องและโพรงพื้น โดยสูตรการคำนวณค่าโพรงเพดาน โพรงห้องและโพรงพื้น (ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545) ดังนี้

อัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling cavity ratio, CCR)

$$CCR = 5 \times HCC \times \frac{(W + L)}{(W \times L)} \qquad (2\text{-}4)$$

อัตราส่วนโพรงห้อง (Room cavity ratio, RCR)

$$RCR = 5 \times HRC \times \frac{(W + L)}{(W \times L)} \quad (2\text{-}5)$$

อัตราส่วนโพรงพื้น (Floor cavity ratio, FCR)

$$FCR = 5 \times HFC \times \frac{(W + L)}{(W \times L)} \quad (2\text{-}6)$$

เมื่อแปรต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

HCC คือ ค่าความแตกต่างระหว่างเพดานถึงโคมไฟ

RCR คือ ค่าความแตกต่างระหว่างโคมถึงพื้นที่ปฏิบัติงาน

FCR คือ ค่าความแตกต่างระหว่างพื้นที่ปฏิบัติงานถึงพื้นห้อง

W คือ ค่าความกว้างของห้อง

L คือ ค่าความยาวของห้อง

2.1.2 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Reflectance) เป็นความสามารถในการสะท้อนแสงของส่วนต่าง ๆ ของห้อง ประกอบด้วยตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

2.1.2.1 ความสามารถสะท้อนแสงของเพดาน (Ceiling reflectance, Pc)

2.1.2.2 ความสามารถสะท้อนแสงของผนัง (Wall reflectance, Pw)

2.1.2.3 ความสามารถสะท้อนแสงของพื้น (Floor reflectance, Pf)

ค่าเหล่านี้กำหนดขึ้นมาเพื่อหาค่าประสิทธิผลการสะท้อนของโพรง (Effective cavity reflectance) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงขององค์ประกอบของห้อง พร้อมทั้งวัสดุเครื่องใช้ภายในห้อง ดังตารางที่ 2-3 (ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545)

ตารางที่ 2-3 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

| บริเวณ | เปอร์เซ็นการสะท้อนแสง | |
|---|---|---|
| | สำนักงาน โรงเรียน โรงงาน | ที่อยู่อาศัย |
| เพดาน | 0.70-0.90 | 0.60-0.90 |
| ผนัง | 0.40-0.60 | 0.35-0.60 |
| อุปกรณ์ | 0.25-0.45 | 0.25-0.48 |
| เครื่องใช้สำนักงาน | 0.25-0.45 | 0.25- 0.48 |
| พื้นทั่วไป | 0.20-0.45 | 0.15-0.35 |
| พื้นโรงงาน | 0.10-0.30 | - |

จากตารางที่ 2-3 แสดงเปอร์เซ็นการสะท้อนของแสงของสำนักงาน โรงเรียนหรือโรงงานจะมีค่าการสะท้อนมากกว่าของที่อยู่อาศัยโดยเฉพาะการสะท้อนของเพดาน ผนังและพื้นทั่วไป

2.1.3 ประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงเพดานและโพรงพื้น ประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงเพดานและโพรงพื้นคือ ผลสัมฤทธิ์ของการสะท้อนของส่วนต่าง ๆ ของห้องทั้งหมด ผลสัมฤทธ์มีอยู่ 2 ส่วน ดังนี้

2.1.31 ประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงเพดาน (Effective ceiling reflectance, Pcc)

2.1.3.2 ประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงพื้น (Effective floor reflectance, Pfc)

วิธีการหาค่าสามารถได้โดยพิจารณาจากตารางภาคผนวก ข โดยใช้ค่า RCR, FCR, CCR, Pf, Pc และ Pw เป็นตัวแปรต้นสำหรับการพิจารณา

2.1.4 สัมประสิทธิ์การประโยชน์ของโคม สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าผลลัพธ์สุทธิ (หลังจากที่สูญเสียไปกับการกรองแสงของโคมและการดูดกลืน-สะท้อนของสภาพห้อง) ต่อค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่กระจายออกจากหลอดทั้งหมด ผลลัพธ์สุทธิของฟลักซ์คือ ฟลักซ์ที่ออกจากโคมและคิดผลของการสะท้อนของส่วนต่าง ๆ ของห้อง การหาค่าทำได้โดยพิจารณาตารางภาคผนวก ก-1 และ ก-2 กำหนดตัวแปรต้น คือ RCR, Pw, Pcc และ Pfc โดยพิจารณาให้ตรงกับชนิดของโคมที่เลือกใช้

2.1.5 สัมประสิทธ์การประกอบการบำรุงรักษา ค่าสัมประสิทธ์การประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance factor, MF) เป็นตัวประกอบของความคงอยู่ของความส่องสว่าง ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ๆ ดังนี้

2.1.5.1 ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ (Lamp lumen depreciation: LLD) ค่าความเสื่อมของหลอดไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบแสงสว่างการหาค่าความเสื่อมของหลอดไฟนั้น สามารถหาได้จากคู่มือของหลอดที่โรงงานผู้ผลิตกำหนดเอาไว้

$$\text{ความเสื่อมของหลอดไฟ} = \frac{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเฉลี่ย}}{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่ม}} \qquad (2\text{-}6)$$

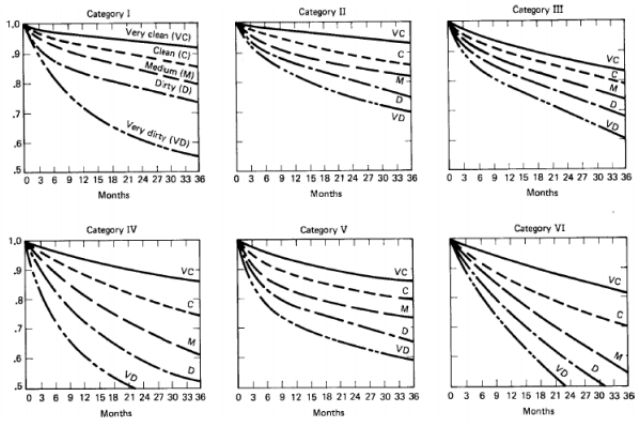
เมื่อแปรต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ความเสื่อมของหลอดไฟ คือ อัตราความเสื่อมสภาพของงหลอดไฟ

ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเฉลี่ย คือ ค่าความสว่างโดยเฉลี่ยของหลอดไฟ

ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่ม คือ ค่าความสว่างเมื่อเริ่มต้นใช้งานหลอดไฟ

2.1.5.2 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (Luminaries dirt depreciation: LDD) เมื่อดวงโคมไฟฟ้าใช้งานนาน ๆ ก็จะเริ่มมีการสะสมของฝุ่นละอองมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ขีดความสามารถในการสะท้อนแสงน้อยลงไป โคมแต่ละชุดนั้นจะมีการสะสมฝุ่นละอองมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของห้องที่ทำการติดตั้งโคมนั้น ซึ่งเราเรียกว่า ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม สามารถพิจารณาค่า ดังภาพที่ 2-25




ภาพที่ 2-25 ค่าประกอบจากโคมสกปรก

จากภาพที่ 2-25 เป็นแสดงความเสื่อมของดวงโคมที่เกิดจากฝุ่นละอองต่าง ๆ ซึ่งดวงโคมแต่ละชนิดจะมีค่าความเสื่อมที่แตกต่างกันออกไป สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ตัวประกอบการบำรุงรักษา = ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ × ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (2-7)

เมื่อแปรต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ตัวประกอบการบำรุงรักษา คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาหลอดไฟ

ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ คือ ค่าความเสื่อมของหลอดไฟจากสมการ 2-6

ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม คือ ความเสื่อมของดวงโคมที่เกิดจากฝุ่นละอองต่าง ๆ

หรืออีกวิธีหนึ่งที่สามารถหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาของโคมไฟได้ คือใช้ค่าที่แนะนำโดย ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 2543) ซึ่งกล่าวไว้ว่าจัดประเภทห้องตามระดับของความสะอาด 3 กลุ่ม คือ สกปรก ปานกลาง และสะอาด ตัวอย่างเช่น ห้องประชุมที่มีระบบปรับอากาศและปิดมิดชิดจัดอยู่ในกลุ่มสะอาด ส่วนโรงงานที่เปิดโล่งและมีฝุ่น จัดอยู่ในกลุ่มสกปรก ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา

| ระดับความสะอาด | ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ | ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม | ตัวประกอบการบำรุงรักษา |
|---|---|---|---|
| สะอาด | 0.90 | 0.90 | 0.80 |
| ปานกลาง | 0.90 | 0.80 | 0.70 |
| สกปรก | 0.90 | 0.70 | 0.60 |

จากตารางที่ 2-4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าตัวประกอบของการบำรุงรักษา โดยแบ่งตามระดับความสะอาดของปัจจัยต่าง ๆ

2.1.6 ตัวอย่างการหาค่าความสว่างและจำนวนหลอดไฟด้วยวิธีแบบอัตราส่วนโพรง คำนวณหาจำนวนโคมที่ใช้ในสำนักงานขนาด 8 x 10 เมตร สูง 2.7 เมตร โดยมีโต๊ะทำงานสูง 0.74 เมตร เลือกโคมไฟแบบฝังในฝ้ามีตัวกรองแสงแบบเกร็ดแก้ว (Flat prismatic) ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ฟลักซ์ส่องสว่าง 3,200 ลูเมน

วิธีทำ

วิธีทำที่ 1 หาอัตราส่วนโพรง

หา RCR แทนค่าในสมการ (2.5)

$RCR = (5 \times HRC \times (W + L)) / W \times L$

$RCR = (5 \times (2.7 - 0.7) \times (8 + 10)) / (8 \times 10)$

$RCR = 2.25$

ค่าอัตราส่วนโพรงที่ค่าเท่ากับ 2.25

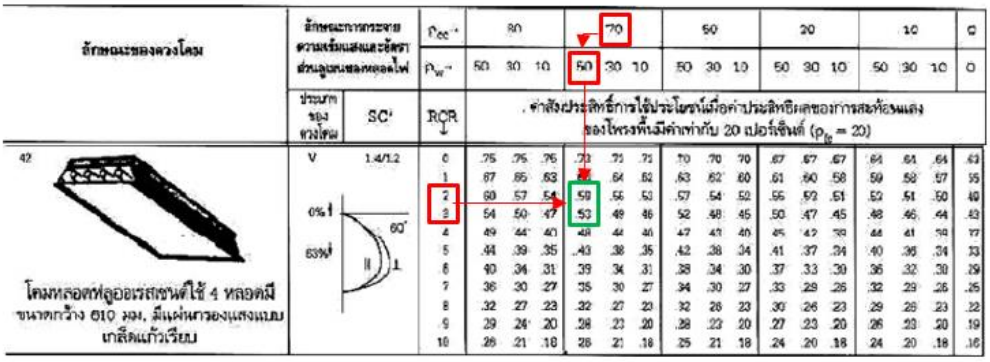
วิธีทำที่ 2 ค่าสัมประสิทธิภาพสะท้อนแสงของโคม

ประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงเพดาน (Pcc) มีค่าเท่ากับ 70

ประสิทธิผลความสามารถสะท้อนแสงของเพดาน (Pw ) มีค่าเท่ากับ 50

วิธีทำที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์

หา CU จากตารางภาคผนวก ก-1 โคมหมายเลข 42 ที่ Pcc = 70 Pw = 50 และ RCR = 2.25 ดังนั้นค่า CU มีค่าเท่ากับ 0.59



ภาพที่ 2-26 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์

จากภาพที่ 2-26 แสดงวิธีการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคมไฟจากที่โจทย์กำหนด ประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงเพดาน (Pcc) เท่ากับ 50 และประสิทธิผลความสามารถสะท้อนแสงของเพดาน (Pw) เท่ากับ 50 และค่าอัตราส่วนโพรงเท่ากับ 2.25 จึงสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 0.58 หรือ 0.53

วิธีทำที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษา

พิจารณาจากตารางที่ 2-3 สำนักงานเป็นสำนักงานที่มีความสะอาด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษามีค่าเท่ากับ 0.8

วิธีทำที่ 5 ค่าความส่องสว่าง

กำหนดตามมาตรฐาน ค่าความส่องสว่างมีค่าเท่ากับ 500 ลักซ์ แทนค่าตัวแปรในสมการที่ (2-3)

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

$TL = (500 \times (8 \times 10)) / (0.59 \times 0.8)$

$TL = 86{,}956$ ลูเมนต์

ค่าความสว่างของห้องที่คำนวณคือ 86,956 ลูเมนต์

วิธีทำที่ 6 หาจำนวนโคม

จำนวนโคม $= 86{,}956 / (3{,}200 \times 2)$

จำนวนโคม = 14 โคม

จำนวนโคมไฟที่ใช้ในห้องขนาด 8 × 10 เมตร มีจำนวนทั้งสิ้น 14 โคม

2.2 การคำนวณโดยวิธีอัตราส่วนของห้อง (Room ratio) การคำนวณโดยวิธีหาอัตราส่วนของห้อง (Room ratio) วิธีการจะคล้ายกับวิธีแบบอัตราส่วนโพรง แต่มีขั้นตอนที่สั้นกว่า ดังหลักการต่อไปนี้

ขั้นตอนของการคำนวณโดยวิธีอัตราส่วนของห้อง

ขั้นตอนที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของส่วนต่าง ๆ ของห้อง (PC, Pw และ Pf ) ตามวิธีอัตราส่วนของห้อง

ขั้นตอนที่ 2 ให้พิจารณาค่าตามสีและชนิดของวัสดุตามตารางที่ 2-4 ซึ่งแนะนำโดย ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์ (ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2545)

ตารางที่ 2-5 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของสีและชนิดของวัสดุ

| **สี** | **เปอร์เซ็นการสะท้อน** | **วัสดุ** | **เปอร์เซ็นการสะท้อน** |
|---|---|---|---|
| ดำ | 0-5 | อิฐ | 10-20 |
| ขาว | 10-60 | หินอ่อน | 20-70 |
| แดง | 10-55 | ไม้ | 10-40 |
| น้ำเงิน | 10-50 | คอนกรีต | 10-30 |
| เขียว | 10-55 | | |
| เหลือง | 40-80 | | |
| น้ำตาล | 20-30 | | |

จากตารางที่ 2-5 สามารถสรุปได้ว่าสีดำสามารถสะท้อนแสงน้อยที่สุดและสีเหลืองเป็นสีที่สามารถสะท้อนแสงมากที่สุดและวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงได้มากที่สุด คือ หินอ่อน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธ์การสะท้อนแสงมากถึง 70 เปอร์เซ็น

2.2.1 การพิจารณาเลือกสูตรที่ใช้คำนวณ ขั้นตอนของการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ จะต้องใช้ค่าอัตราส่วนของห้องร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง การคำนวณอัตราส่วนของห้องซึ่งเป็นขั้นตอนหลักจะมีหลักการคำนวณ 2 สูตร ให้เลือกใช้ตามรูปแบบการกระจายแสงของโคม โดยกำหนดว่าหากโคมจัดอยู่ในกลุ่มใด ๆ ให้ใช้สูตรคำนวณที่เหมาะสม ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สูตรสำหรับโคมกระจายแสงแบบโดยตรง กึ่งโดยตรง และแบบกระจายรอบทิศทาง

$$Kr = \frac{W \times L}{HRC \times (W + L)} \quad (2\text{-}8)$$

เมื่อตัวแปรต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

Kr คือ อัตราส่วนห้อง

HRC คือ ความสูงของโพรงเพดาน

W คือ ความกว้างของห้อง

L คือ ความยาวของห้อง

ขั้นตอนที่ 2 สูตรสำหรับโคมกระจายแสงแบบอ้อมหรือแบบกึ่งอ้อม

$$Kr = \frac{3 \times (W \times L)}{2 \times (HRC + HCC) \times (W + L)} \quad (2\text{-}9)$$

เมื่อเมื่อตัวแปรต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

Kr คือ อัตราส่วนห้อง

HRC, HCC คือ ความสูงของโพรงเพดาน

W คือ ความกว้างของห้อง

L คือ ความยาวของห้อง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ต้องการจะใช้สูตรเดียวกันกับวิธีการหาอัตราส่วนโพรง ดังสมการที่ 2-3

2.2.3 ตัวอย่างการหาค่าความสว่างและจำนวนหลอดไฟด้วยวิธีแบบอัตราส่วนห้อง ห้องบรรยายแห่งหนึ่งเพดานสีขาว ผนังสีเทาอ่อน พื้นสีเทาเข้ม กว้าง 30 เมตร ยาว 50 เมตร เพดานสูง 10 เมตร โต๊ะจดงานสูง 1 เมตร ต้องการติดตั้งโคมขนาดกว้าง 1 ฟุต ยาว 4 ฟุต ติดตั้งให้ด้านล่างของโคมเสมอกับฝ้าเพดาน ครอบด้วยบานเกร็ดโลหะที่มีมุมกำบัง 45° ติดตั้งด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ TLD 36 W cool white ฟลักซ์ส่องสว่างเริ่มแรก 3,350 lm ฟลักซ์ส่องสว่างเฉลี่ย 2,950 ลูเมน รอบของการบำรุงรักษา 2 ปี ให้คำนวณหาจำนวนโคมที่ต้องใช้ และเขียนแผนผังแสดงตำแหน่งการติดตั้งโคม

วิธีทำ

วิธีทำที่ 1 วิเคราะห์ชนิดของดวงโคมเพื่อเลือกสูตร จากโจทย์ เป็นโคมชนิดส่องแสงโดยตรง จึงเลือกใช้สมการที่ 2-8

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

$Kr = (30 \times 50) / ((10 \times (30 + 50)$

$Kr = 1.87$

ค่าอัตราส่วนห้อง = 1.87 หรือประมาณเท่ากับ 2

วิธีทำที่ 2 หาค่า CU โดยพิจารณาจากตารางที่ 2-2 พิจารณาว่าเพดานเป็นสีขาว ผนังสีเทาอ่อนมีค่าดังต่อไปนี้ Pc = 80%, Pw = 50%

จากตารางสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ ของโคมหมายเลข 4 ในตารางภาคผนวก ก-2 ที่ Kr = 2, Pc = 80 %, Pw = 50 % ได้ CU = 0.41

วิธีทำที่ 3 หาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา

จากตารางที่ 2-3 ที่การบำรุงรักษาระดับปานกลาง ได้ MF = 0.7

วิธีทำที่ 4 กำหนดความส่องสว่าง ค่าความส่องสว่างของสถานศึกษา โรงเรียน มหาวิทยาลัย ส่วนของห้องเรียน ห้องบรรยาย ใช้ค่า 300 ลักซ์

วิธีทำที่ 5 คำนวณหาฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมด

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

$TL = (300 \times (30 \times 50)) / (0.41 \times 0.7)$

$TL = 1,567,944$ ลักซ์

ค่าฟลักซ์ส่องสว่างเท่ากับ 1,567,944 ลักซ์

วิธีทำที่ 6 หาจำนวนโคม

ดวงโคม = 1,567,944 ลักซ์ / (2 × 3,350) ลูเมน

ดวงโคม = 234 โคม

วิธีทำที่ 7 แผนผังการติดตั้ง

พื้นที่ของ 1 โคม = 30 × 50 / 234 = 6.4 ตารางเมตร

ระยะห่างระหว่างโคม 2.55 เมตร ตรวจสอบระยะห่างจากตารางภาคผนวก ก-2 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคมหมายเลข 4 มีค่า SC = 0.9

ดังนั้น S = SC × MH

= 0.9 × 9

= 7.2 เมตร

ระยะห่างระหว่างโคม 7.2 เมตร

วิธีทำที่ 8 แผนผังการติดตั้ง

จัดแบบปกติมีแนวทางการจัดรูปแบบ ดังต่อไปนี้

จำนวนแถว = 30 เมตร / 2.55 เมตร = 11.7 แถว ปัดเป็น 12 แถว

จำนวนโคมใน 1 แถว = 234 โคม / 12 แถว = 19.5 โคม ปัดเป็น 20 โคม

ระยะระหว่างแถว = 30 เมตร / 12 = 2.5 เมตร

ระยะระหว่างโคมแถวที่ติดผนังกับผนัง = 2.5 เมตร / 2 = 1.25 เมตร

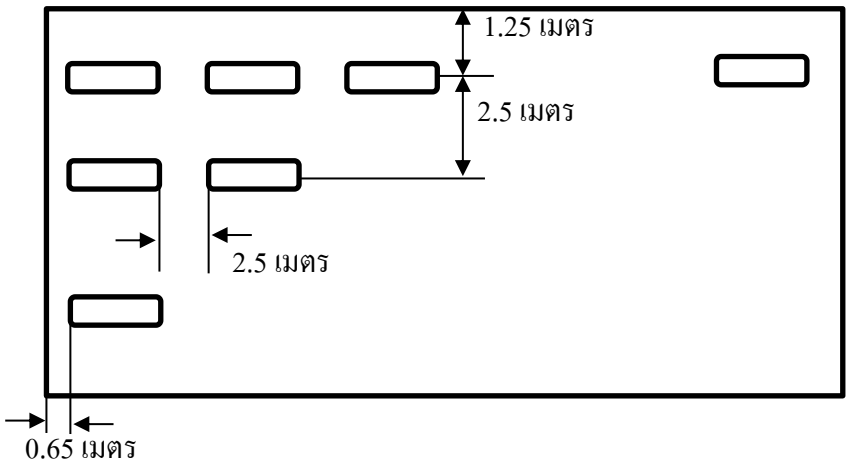
ระยะระหว่างกึ่งกลางโคมถึงกึ่งกลางโคมที่อยู่ในแถวเดียวกัน

= 50 เมตร/20 โคม

= 2.5 เมตร

ระยะระหว่างโคมกับผนังด้านหน้าและด้านหลัง = (2.5 เมตร/2) – 0.6 เมตร

= 0.65 เมตร




ภาพ 2-27 ระยะการติดตั้งหลอดไฟ

จากภาพที่ 2-27 แสดงแผนผังระยะและตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟจากการคำนวณด้วยวิธีอัตราส่วนห้อง

## การคำนวณค่าบริการไฟฟ้า

**1. หลักการคำนวณกระแสและกำลังไฟฟ้า**

ค่ากำลังไฟฟ้าสามารถพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าของหลอดไฟได้ ดังต่อไปนี้

1.1 ตารางค่ากระแสไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดหลอดไส้ ตารางการใช้กระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดหลอดไส้ที่มีขายในท้องตลาด สามารถพิจารณาได้ ตารางที่ 2-6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2-6 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดหลอดไส้

| ชนิดของหลอดไส้ | ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) | ค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์) |
|---|---|---|
| หลอดไส้ชนิด 40 วัตต์ | 0.182 | 40.00 |
| หลอดไส้ชนิด 60 วัตต์ | 0.273 | 60.00 |
| หลอดไส้ชนิด 75 วัตต์ | 0.341 | 75.00 |
| หลอดไส้ชนิด 100 วัตต์ | 0.455 | 100.00 |
| หลอดไส้ชนิด 150 วัตต์ | 0.682 | 150.00 |

จากตารางที่ 2-6 แสดงค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดหลอดไฟ พบว่ายิ่งหลอดไส้มีขนาดใหญ่ขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าก็จะมีมากขึ้นตามขนาดของหลอดไฟ

1.2 ตารางค่ากระแสไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ ตารางการใช้กระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ที่มีขายในท้องตลาด สามารถพิจารณาได้ ดังตารางที่ 2-7 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2-7 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์

| ชนิดของหลอดไฟ | Low power factor | | High power factor | |
|---|---|---|---|---|
| | กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) | กำลังไฟฟ้า (วัตต์) | กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) | กำลังไฟฟ้า (วัตต์) |
| หลอดไฟ 20 วัตต์ | 0.370 | 81.40 | 0.160 | 35.20 |
| หลอดไฟ 36 วัตต์ | 0.410 | 90.20 | 0.240 | 52.80 |
| หลอดไฟ 40 วัตต์ | 0.430 | 94.60 | 0.270 | 59.40 |

จากตารางที่ 2-7 แสดงค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาดต่าง ๆ ซึ่งฟลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์และ 40 วัตต์ มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่ไม่ต่างกันมาก

1.3 ตารางค่ากระแสไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ตารางการใช้กระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าของหลอดไฟชนิดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีขายในท้องตลาดสามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะ คือ หลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด SLและหลอดไฟชนิดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด PL โดยหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันเกี่ยวกับโครงสร้างภายใน ดังนั้นหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าการใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-8 และตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-8 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด SL

| **หลอดไฟชนิด SL** | **Low power factor** | | **High power factor** | |
|---|---|---|---|---|
| | **กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)** | **กำลังไฟฟ้า (วัตต์)** | **กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)** | **กำลังไฟฟ้า (วัตต์)** |
| หลอดไฟ 9 วัตต์ | 0.175 | 38.50 | 0.100 | 22.00 |
| หลอดไฟ 13 วัตต์ | 0.190 | 41.80 | 0.100 | 22.00 |
| หลอดไฟ 18 วัตต์ | 0.220 | 48.40 | 0.140 | 30.80 |
| หลอดไฟ 25 วัตต์ | 0.315 | 96.30 | 0.180 | 39.60 |

จากตารางที่ 2-8 แสดงค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด SL ซึ่งการใช้กำลังไฟฟ้าจะมากขึ้นตามขนาดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ

ตารางที่ 2-9 กระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด PL

| หลอดไฟชนิด SL | Low power factor | | High power factor | |
|---|---|---|---|---|
| | กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) | กำลังไฟฟ้า (วัตต์) | กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) | กำลังไฟฟ้า (วัตต์) |
| หลอดไฟ 5 วัตต์ | 0.175 | 38.50 | 0.070 | 15.40 |
| หลอดไฟ 7 วัตต์ | 0.180 | 39.60 | 0.070 | 15.40 |
| หลอดไฟ 9 วัตต์ | 0.170 | 37.40 | 0.070 | 15.40 |
| หลอดไฟ 11 วัตต์ | 0.155 | 34.10 | 0.080 | 17.60 |

จากตารางที่ 2-9 แสดงค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิด PL ซึ่งการใช้กำลังไฟฟ้าจะมากขึ้นตามขนาดกำลังวัตต์ของหลอดไฟ

**2. การคำนวณหน่วยการใช้งานพลังงานไฟฟ้า**

การคำนวณค่าบริการไฟฟ้านั้นผู้ใช้งานทั่วไปสามารถคำนวณได้ด้วยตัวเองซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบถึงจำนวนกำลังไฟฟ้าที่มีใช้งานเมื่อกล่าวถึงการใช้งานหลอดไฟชนิดต่าง ๆ สามารถอ้างอิงค่ากำลังไฟฟ้าได้ ดังตารางที่ 2-6 ถึง ตารางที่ 2-9

เมื่อผู้ใช้งานทราบกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานแล้ว ผู้ใช้งานจะต้องแปลงค่ากำลังไฟฟ้าเป็นจำนวนหน่วยการใช้บริการไฟฟ้าโดยใช้สูตรคำนวณต่อไปนี้

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{1{,}000} \times \text{จำนวนชั่วโมงการใช้งาน} \qquad (2\text{-}10)$$

ตัวอย่าง หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 10 หลอด มีการใช้งานประมาณวันละ 6 ชั่วโมง คำนวณหาหน่วยการใช้ไฟฟ้า

วิธีทำ

วิธีทำที่ 1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์มีการใช้งานกำลังไฟฟ้าจำนวน 94.60 วัตต์ มีการใช้งานจำนวนทั้งหมด 10 หลอด ดังนั้นจำนวนกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจะมีทั้งหมด 946 วัตต์

วิธีทำที่ 2 คำนวณหาหน่วยการใช้งานกำลังไฟฟ้า

หน่วยการใช้ไฟฟ้า = $\frac{946}{1,000}$ = 5.67 หน่วย

หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 5.67 หน่วย / วัน

**3. การคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า**

อัตราค่าบริการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถแบ่งการคำนวณค่าบริการไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยได้ 2 ประเภท คือ

3.1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีอัตราการคิดค่าบริการตามหน่วยใช้งานจริง ดังตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 คำนวณค่าบริการพลังงานไฟฟ้าประเภทไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

| **หน่วยการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)** | **อัตราค่าบริการ (บาทต่อหน่วย)** |
|---|---|
| 0 | 4.6700 |
| 1-5 | 4.9600 |
| 6-15 | 0.7124 |
| 16-25 | 0.8993 |
| 26-35 | 1.1516 |
| 36-100 | 1.5348 |
| 101-150 | 1.6282 |
| 151-400 | 2.1329 |
| 400 เป็นต้นไป | 2.4226 |

จากตารางที่ 2-10 แสดงการคำนวณการคิดค่าบริการการใช้ไฟฟ้าประเภทไม่เกิน 150 หน่วย ซึ่งการคิดค่าบริการประเภทนี้เหมาะสมกับการใช้บริการในที่อยู่อาศัยเท่านั้น

3.2 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีอัตราการคิดค่าบริการตามหน่วยใช้งานจริง ดังตารางที่ 2-11

ตารางที่ 2-11 คำนวณค่าบริการพลังงานไฟฟ้าประเภทเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

| หน่วยการใช้ไฟฟ้า (หน่วย) | ลักษณะการคำนวณ | อัตราค่าบริการ (บาทต่อหน่วย) |
|---|---|---|
| 0 | เหมาจ่าย | 83.1800 |
| 1 – 35 | เหมาจ่าย | 85.2100 |
| 36 – 150 | จ่ายตามอัตราต่อหน่วย | 1.1236 |
| 151 – 400 | จ่ายตามอัตราต่อหน่วย | 2.1329 |
| 400 เป็นต้นไป | จ่ายตามอัตราต่อหน่วย | 2.42226 |

จากตารางที่ 2-11 แสดงการคำนวณการคิดค่าบริการการใช้ไฟฟ้าประเภทเกิน 150 หน่วย ซึ่งการคิดค่าบริการประเภทนี้เหมาะสมกับการใช้บริการเกี่ยวกับอุตสาหกรรม หอพัก เป็นต้น

นอกเหนือไปจากตารางคำนวณบริการไฟฟ้าแล้ว การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีการเรียกเก็บค่าบริการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติหรือที่เรียกว่า ค่า Ft (Energy adjustment charge) ซึ่งสามารถพิจารณาค่า Ft ได้จากใบกำกับภาษีค่าบริการไฟฟ้าหรือสอบถามได้โดยตรงกับทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ในกรณีที่คำนวณค่าไฟฟ้าแล้วมีเศษสตางค์ที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่า 12.5 สตางค์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำการปัดเศษลง เพื่อให้เต็มจำนวนทุก ๆ 25 สตางค์ และถ้าเศษสตางค์มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 12.5 สตางค์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะปัดเศษขึ้นให้เต็มจำนวนทุก ๆ 25 สตางค์.

3.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าบริการไฟฟ้า ผู้ใช้บริการไฟฟ้าเป็นผู้ใช้งานประเภทที่ 2 มีการใช้ไฟฟ้าไปทั้งสิ้น 990 หน่วย จงหาอัตราค่าบริการไฟฟ้า เมื่อค่า Ft มีค่าเท่ากับ 5.45 สตางค์ต่อหน่วย

วิธีทำ

หน่วยบริการค่าไฟฟ้าประเภทที่ 2 คิดค่าบริการ ดังต่อไปนี้

0 - 35 หน่วย ค่าบริการ 35 หน่วยแรก 85.21 บาท

36 - 150 หน่วย ค่าบริการ 150 หน่วย × 1.1236 บาท = 129.214 บาท

151 - 400 หน่วย ค่าบริการ 250 หน่วย × 2.1329 บาท = 533.220 บาท

400 หน่วย เป็นต้นไป ค่าบริการ 590 หน่วย × 2.4266 บาท = 1431.70 บาท

ค่าบริการ Ft ค่าบริการ 990 หน่วย × 5.45 สตางค์ = 499.46 บาท

ค่าบริการรวม 85.21 + 129.214 + 533.220 + 1431.70 + 499.96 = 2,697.304 บาท

ค่าภาษี 7% 2,697.304 × 0.07 = 187.55 บาท

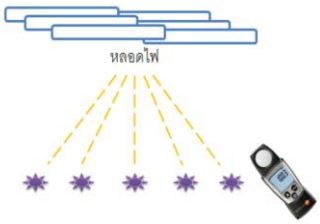
รวมค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้นเท่ากับ 2,697.304 + 187.55 = 2,884.855 บาท ผู้ใช้บริการไฟฟ้าจะต้องชำระค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า 2,884.855 บาท

## การวัดความสว่างของหลอดไฟ

**1. เครื่องวัดปริมาณแสง (Lux Meter)**

ภาพที่ 2-28 ตัวอย่างเครื่องวัดปริมาณแสง

เครื่องมือวัดปริมาณแสงหรือ Lux meter คือ เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณค่าความสว่างในรูปแบบของค่าความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous intensity) หรือกำลังส่องสว่าง (Candle power) ของแสงที่ตกกระทบพื้นที่พื้นที่หนึ่ง เพื่อให้ทราบว่าพื้นที่ใช้งานอยู่นั้นมีค่าความสว่างเหมาะสมหรือไม่ โดยปกติแล้วเครื่องมือวัดปริมาณแสงที่หน่วยการวัดเป็น ลูเมนต่อตารางฟุต (fc) หรือลูเมนต่อตาราง (Lux)




ภาพที่ 2-29 วิธีการวัดความสว่าง

ภาพที่ 2-29 แสดงการวัดค่าความสว่างด้วยอุปกรณ์ Lux meter โดยผู้ใช้งานจะต้องระยะความสูงในการวัดกันของแต่ละจุดให้มีความสูงใกล้เคียงกัน หน่วยที่อ่านได้จาก Lux meter มีหน่วยการวัดเป็นลูเมนต่อตารางฟุต (fc) หรือลูเมนต่อตารางเมตร (Lux)

**2. ค่ามาตรฐานความสว่าง**

กฎกระทรวงแรงงานกำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัย ชีวะอนามัยและสิ่งแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 กำหนดให้สถานประกอบการมีการจัดการมีการจัดการให้สถานที่ทำงานที่ความเหมาะสม มีความปลอดภัยในการทำงานทั้งบริเวณทั่วไปในสถานประกอบการบริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ลูกจ้างต้องทำงาน โดยใช้สายตามองเฉพาะจุดบริเวณที่กำหนดดังกล่าวจะต้องมีความเข้มของแสงสว่างไม่ต่ำกว่าที่กระทรวงกำหนดหรือหากมีความเข้มแสงมากกว่านายจ้างจะต้องอุปกรณ์ป้องกันกรองแสงหรือมาตราการที่เหมาะสม

ทั้งนี้ได้ยกตัวอย่างตารางแนบท้ายตามกฎกระทรวงแรงงานซึ่งแสดงค่ามาตรฐานเฉลี่ยขั้นต่ำของความเข้มแสง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไป และ ณ ที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงาน ดังตารางที่ 2-12 เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการค่าความสว่างในพื้นที่ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2-12 ตารางมาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่างตามกฎกระทรวงแรงงานกำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัยชีวะอนามัยและสิ่งแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549

| ประเภทอุตสาหกรรม | อาคารพื้นที่ | การใช้ประโยชน์ | ค่าเฉลี่ยความเข้มแสง (ลักซ์) |
|---|---|---|---|
| บริเวณพื้นที่ทั่วไปของอาคาร | ทางเข้าอาคาร | ทางเข้าห้องโถงหรือห้องพักรอ | 200 |
| | | บริเวณโต๊ะประชาสัมพันธ์หรือโต๊ะติดต่อลูกค้า | 400 |
| | | ประตูทางเข้าใหญ่ของสถานประกอบกิจการ | 50 |
| | | ป้อมยาม | 100 |
| | | จุดขนถ่ายสินค้า | 100 |
| | พื้นที่สัญจร | ทางเดินสัญจรในพื้นที่บางเบา | 20 |
| | | ทางเดินในพื้นที่สัญจรหนาแน่น | 50 |
| | | บันได | 50 |
| | ห้องฝึกอบรมและบรรยาย | พื้นที่ทั่วไป | 300 |
| | อาคารสถานีขนส่ง | ห้องจองตั๋วและขายตั๋ว | 400 |
| | ห้องคอมพิวเตอร์ | บริเวณทั่วไป | 400 |
| | ห้องประชุม | บริเวณทั่วไป | 300 |
| | งานธุรการ | ห้องถ่ายเอกสาร | 300 |
| | | ห้องนิรภัย | 200 |
| | โรงอาหาร | พื้นที่ทั่วไป | 100 |
| | | พื้นที่เก็บเงิน | 300 |

จากตารางที่ 2-12 ค่าความสว่างของพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับอาคารเรียน เกษม จาติกวณิช คือ ห้องฝึกอบรมและบรรยาย มีความสว่างตามข้อกำหนด 300 ลักซ์

## หลักการออกแบบระบบส่องสว่างโดยการใช้โปรแกรม DIA LUX

DIA LUX คือโปรแกรมออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถจำลองห้อง ลักษณะต่าง ๆ การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง กำหนดวัสดุของพื้นผิวต่าง ๆ ภายในห้อง รวมไปถึง การวางของดวงโคมไฟฟ้า การใช้หลอดไฟในรูปแบบต่าง ๆ โดยโปรแกรม DIA LUX สามารถคำนวณค่าความสว่างของห้องที่จำลอง ลักษณะของแสงจากหลอดไฟ ทิศทางการกระจายแสงและแสดงผลลักษณะห้องในรูปแบบของสามมิติในรูปแบบไฟล์ PDF และรูปแบบไฟล์ Video

หลักการออกแบบระบบส่องสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX สามารารถสรุปขั้นตอนการออกแบบได้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังไปต่อไปนี้

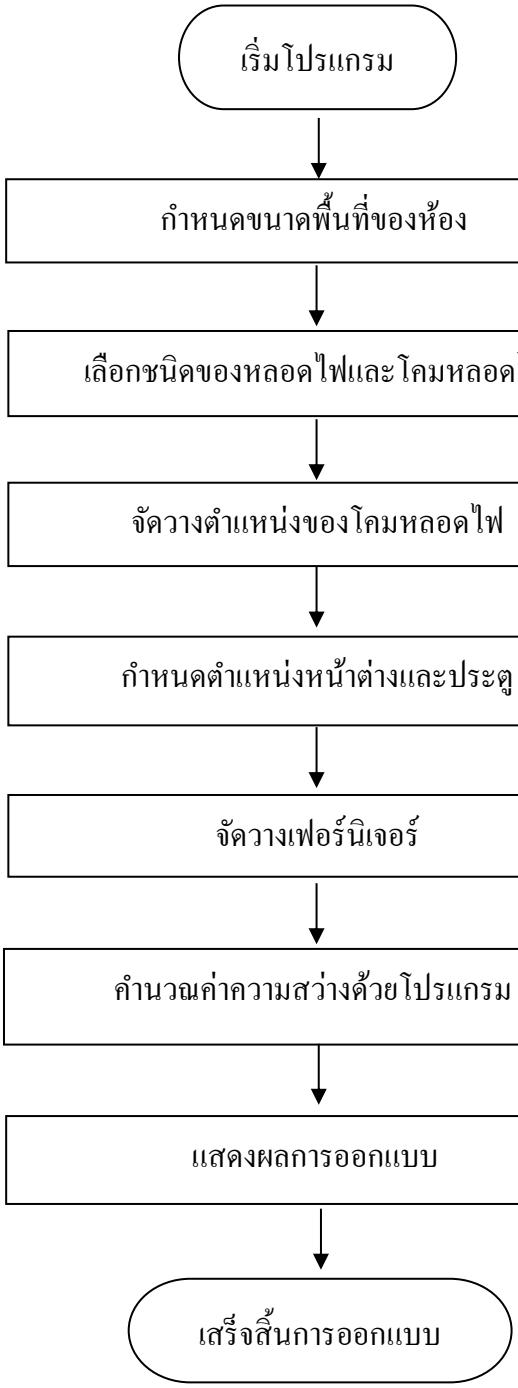
1. กำหนดขนาดของห้องที่ต้องการคำนวณ โดยผู้ใช้งานจะต้องกำหนดค่าความยาว ความกว้างและความสูงของห้องพร้อมกำหนดลักษณะพื้นที่ผิวของพนังและเพดาน

2. กำหนดหลอดไฟและโคมหลอดไฟ คือการกำหนดชนิดของหลอดไฟที่ต้องการออกแบบโดยผู้ใช้งานสามารถเลือกชนิดของหลอดไฟ กำลังความสว่างของหลอดไฟได้ หากโปรแกรม DIA LUX ไม่มีชนิดของหลอดไฟที่ต้องการ ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลต่าง ๆ ของหลอดไฟได้จากเว็บไซต์ของผู้ผลิตได้

3. กำหนดตำแหน่งหน้าต่างและประตู คือ การกำหนดขนาดและตำแหน่งการติดตั้งของหน้าต่างและประตูภายในห้องที่กำหนด

4. จัดวางเฟอร์นิเจอร์ คือ การกำหนดพื้นที่มีการเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ภายในห้อง

5. คำนวณและแสดงผล คือ โปรแกรมคำนวณค่าความสว่างและจำนวนหลอดไฟที่ออกแบบ พร้อมลักษณะการกระจายแสงของหลอดไฟ




ภาพที่ 2-30 ลำดับการออกแบบด้วยโปรแกรม DIA LUX

ภาพที่ 2-30 แสดงลำดับและแนวทางการออกแบบด้วยโปรแกรม DIA LUX ซึ่งการออกแบบจะต้องวางลำดับอุปกรณ์และกำหนดความสว่างตามมาตรฐานเพื่อความถูกต้องในการคำนวณระบบส่องสว่าง

## หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

ในการศึกษาความคุ้มค่าของงานนิพนธ์นี้จะใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์เข้ามาวิเคราะห์เพื่อช่วยในการตัดสินใจโครงการ ได้แก่ จะคำนวณตัวบ่งชี้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงินที่สำคัญ 4 หลักเกณฑ์ด้วยกัน คือ

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ
2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน
3. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ
4. ระยะคืนทุน

จากการคำนวณทั้งตัวบ่งชี้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน ทั้ง 4 ตัวแปรนี้ จะทำให้ทราบว่าโครงการมีความเหมาะสมที่จะดำเนินการหรือไม่ หรือได้รับผลตอบแทนจากการดำเนินการคุ้มค่าตามตัวแปรปัจจัยต่าง ๆ ในเศรษฐศาสตร์และการเงิน แต่อย่างไรก็ตามยังมีอีกหลาย ๆ ปัจจัย เช่น อัตราเงินเฟ้อ อัตราดอกเบี้ย โดยจะขอกล่าวถึงรายละเอียดของตัวบ่งชี้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงินและปัจจัยต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

**1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)**

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คือมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหักจากกระแสเงินสดรับ หรือผลตอบแทนสุทธิ มูลค่าปัจจุบันสุทธิอาจหาได้ด้วยการหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่าย ซึ่งอาจแสดงด้วยสูตรได้ ดังนี้

$$\mathrm{NPV} = -\mathrm{CF}_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \qquad (2\text{-}11)$$

เมื่อกำหนดตัวแปร ดังต่อไปนี้

$CF_0$ คือ เงินทุนริเริ่มโครงการ

$CF_1$ คือ เงินที่ได้จากการลงทุน

i คือ อัตราส่วนลดหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

n คือ จำนวนปี

t คือ ปี

การหลักพิจารณา NPV สามารถพิจารณาตามหลักเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

NPV > 0 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่าศูนย์ หมายถึง โครงการนี้มีคุ้มค่าแก่การลงทุน

NPV < 0 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่าศูนย์ หมายถึง โครงการนี้ไม่สมควรลงทุน

NPV = 0 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง โครงการนี้ไม่ให้ผลกำไรหรือขาดทุน

**2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit cost ratio: B/C)**

เป็นตัวบ่งชี้ทางเศรษฐกิจและการเงินตัวหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย การที่โครงการหนึ่งเป็นที่ยอมรับว่าเหมาะสมแก่การลงทุนนั้น มูลค่าของผลประโยชน์ที่ได้หักลดแล้วควรจะมากกว่ามูลค่าของค่าใช้จ่ายที่ได้หักลดแล้วเช่นกัน อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนหาได้จากการนำมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย พิจารณาสูตรต่อไปนี้

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{t=n} \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad (2\text{-}12)$$

เมื่อตัวแปรมีค่าต่าง ๆ ต่อไปนี้

B/C คือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน

$B_t$ คือ ผลตอบแทนในปีที่ t

$C_t$ คือ ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในปีที่ t

t คือ ปี

n คือ อายุโครงการ

i คือ อัตราส่วนลดหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

หลังจากการคำนวณ สามารถพิจารณา B/C ได้ดังนี้

B/C > 1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่าหนึ่ง หมายถึงยอมรับข้อเสนอโครงการ

B/C < 1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่าน้อยกว่าศูนย์ หมายหมายถึงปฏิเสธข้อเสนอโครงการ

B/C = 1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่าเท่ากับศูนย์ หมายหมายถึงไม่มีผลกระทบใด ๆ ไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธข้อเสนอโครงการ

**3. อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal rate return: IRR)**

หลักเกณฑ์ของ NPV และ B/C ที่กล่าวมาต่างก็อาศัยค่าอัตราส่วนลดที่กำหนดไว้แล้วมาใช้ในการคำนวณแต่สำหรับในกรณีหลักเกณฑ์อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal rate of return) หรือ IRR นี้จะคล้ายกับหลักเกณฑ์ NPV คือ ต้องอาศัยการคิดคำนวณมูลค่าในอนาคตของ

แต่ละงวดมาเป็นมูลค่าปัจจุบันแต่ว่าในกรณีหลักเกณฑ์ IRR นี้จะไม่ยุ่งเกี่ยวกับว่าจะใช้อัตราส่วนลดเท่าใดในการคำนวณทั้งนี้เพราะหลักเกณฑ์ IRR ต้องการหาอัตราดอกเบี้ยอัตราหนึ่งที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายการเงินสดของโครงการเท่ากับศูนย์ ซึ่งนักวิเคราะห์โครงการเองก็ยังไม่รู้ว่าอัตราดอกเบี้ยที่ว่านั้นเป็นเท่าใด

นอกจากนี้จากหลักเกณฑ์ NPV ซึ่งมีข้อจำกัดคือบอกเพียงว่าโครงการจะสามารถทำกำไรให้แก่ผู้เป็นเจ้าของโครงการได้หรือไม่ ถ้าได้จะได้มากน้อยเพียงใด โดยนักวิเคราะห์โครงการกำหนดอัตราส่วนลด (i) ลงไปในสูตร NPV แต่หลักเกณฑ์ NPV ไม่สามารถบอกได้ว่าโครงการที่พิจารณาจะคืนทุนในอัตราเท่าใด เมื่อเป็นเช่นนี้นักวิเคราะห์โครงการโดยทั่วไปจึงมักนิยมใช้หลักเกณฑ์ IRR พิจารณาร่วมกับหลักเกณฑ์ NPVอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ คือ อัตราผลตอบแทนของโครงการที่กำลังพิจารณา ซึ่งอาจสรุปได้ว่า IRR หมายถึง

1. IRR คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย

2. IRR คือ อัตราความสามารถของเงินทุน ที่ทำให้ผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่าย เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน

3. IRR คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV = 0 วิธีการในการคำนวณ IRR โดยทั่วไปสามารถทำได้ ดังนี้

จากสมการที่ 2-12 กำหนดให้ NPV = 0

$$0 = -\mathrm{CF}_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \qquad (2\text{-}13)$$

เมื่อกำหนดตัวแปร ดังต่อไปนี้

$CF_0$ คือ เงินทุนริเริ่มโครงการ

$CF_1$ คือ เงินที่ได้จากการลงทุน

IRR คือ อัตราส่วนลดหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

n คือ จำนวนปี

t คือ ปี

โดยทั่วไป IRR คืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนหรือ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ หลักเกณฑ์ IRR เป็นเครื่องมือที่ธนาคารโลกและสถาบันการเงินอื่น ๆ ใช้ในการวิเคราะห์โครงการทางการเงินและเศรษฐกิจ จึงนับว่ามีความสำคัญและมีบทบาทอย่างมากในการวิเคราะห์โครงการ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะกำหนดอัตรา

ส่วนลดที่จะทำให้ NPV เท่ากับศูนย์พอดี วิธีการก็คือจะต้องหาอัตราที่จะทำให้ NPV ใกล้เคียงกับศูนย์ก่อน แล้วจึงหาค่าที่ต้องการต่อไป

**4. ระยะคืนทุน (Payback period: PB)**

คือ ระยะเวลาจากเริ่มต้นโครงการถึงจุดที่โครงการสามารถสร้างกระแสเงินสดสุทธิของโครงการได้เท่ากับเงินลงทุนในสินทรัพย์สำหรับดำเนินการของโครงการ ณ เริ่มต้นโครงการ

$$PB = \text{จำนวนปีก่อนได้รับคืนทุนครบ} + \frac{\text{ส่วนที่ยังได้คืนไม่ครบ ณ วันต้นปีถัดไป}}{\text{กระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับในปีนั้น}} \qquad (2\text{-}14)$$

ปัญหาสำคัญของเกณฑ์ระยะคืนทุน

ปัญหาที่ 1 ระยะเวลาของการได้มาซึ่งกระแสเงินสดของโครงการ

ปัญหาที่ 2 เกณฑ์กระแสคืนทุนให้ความสาคัญกับกระแสเงินที่เข้ามาหลังระยะคืนทุน

ปัญหาที่ 3 มูลค่าของเงินตามเวลา

ปัญหาที่ 4 เกณฑ์ระยะคืนทุนเหมาะสมกับโครงการปกติ

**5. การประเมินอัตราส่วนลดที่เหมาะสม (Discount rate)**

จากหลักเกณฑ์การตัดสินใจที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นแล้วว่าการประเมินต้นทุนและผลตอบแทนอันเกิดจากโครงการ เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับช่วงเวลาของการได้มาซึ่งกระแสต้นทุนและผลตอบแทน และเมื่อเวลาผ่านไปมูลค่าที่แท้จริงของเงิน 1 บาท ในปัจจุบัน จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพราะมีทางเลือกหลายประการที่จะสามารถนำเงินไปลงทุนหาผลประโยชน์ได้ ค่าของเงินตามระยะเวลาดังกล่าวจึงถูกเชื่อมโยงด้วยอัตราหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า "อัตราส่วนลด"ในการเลือกอัตราส่วนลดจะต้องเลือกอัตราที่เหมาะสม การเลือกใช้อัตราส่วนลดที่สูงเกินไปจะทำให้จำนวนโครงการที่น่าสนใจลดลง แต่ถ้าใช้อัตราส่วนลดที่ต่ำเกินไปก็จะมีผลทำให้โครงการจำนวนมากเกินไปผ่านการพิจารณา ประเด็นสำคัญคืออัตราส่วนลดใดที่จะเหมาะสมโดยทั่วไปอัตราส่วนลดที่เหมาะสมจะพิจารณาจากสูตรที่เหมาะสม ดังต่อไปนี้

$$A = \frac{B \times C}{D} + \frac{E \times F}{G} \qquad (2\text{-}15)$$

เมื่อกำหนดตัวแปร ดังต่อไปนี้

A คือ อัตราส่วนลดที่เหมาะสม

B คือ เงินทุนส่วนของเจ้าของ

C คือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ

D คือ เงินทุนทั้งหมด

E คือ เงินทุนที่กู้ยืม

F คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้

G คือ เงินทุนทั้งหมด

แนวคิดพื้นฐานอันเป็นที่มาของสูตรอัตราส่วนลดที่เหมาะสมนี้ คือ เป็นการหาต้นทุนที่แท้จริงถ่วงน้ำหนักด้วยเงินทุนที่กู้ยืมมาลงทุน

ยกตัวอย่างเช่น โครงการ S ต้องการเงินทุนทั้งหมดจำนวน 50 ล้านบาท ในจำนวนนี้เป็นส่วนของเจ้าของจำนวน 20 ล้านบาท ซึ่งส่วนนี้คาดว่าจะได้รับอัตราผลตอบแทน 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 30 ล้านบาท ได้มาจากการเงินกู้ธนาคารพาณิชย์ซึ่งอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ในกรณีนี้จะหาอัตราส่วนลดที่เหมาะสมได้ดังนี้

อัตาราส่วนลด = (200% ÷ 50) + (240% ÷ 50)

= 4% + 4.8%

= 8.8%

โดยสรุปอัตราส่วนลดที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์โครงการจะได้แก่ ต้นทุนของเงินทุน และถ้าเป็นเงินทุนของตนเองและเงินกู้ อัตราส่วนลดก็คืออัตราเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของต้นทุนเงินจากทั้งสองแหล่ง

**6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Risk analysis)**

โดยหลักการของการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการจะเป็นการพยากรณ์ในรายละเอียดของต้นทุนและผลประโยชน์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ภายใต้ข้อสมมุติที่สำคัญว่าค่าของตัวแปรใด ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละตัวมีความแน่นอนมีเพียงหนึ่งค่าในแต่ละช่วงเวลาตลอดอายุโครงการ ตัวอย่างเช่น อัตราดอกเบี้ย ณ ปีที่ 1 เท่ากับร้อยละ 8 ราคาปัจจัยการผลิต ณ ปีที่ 2 เท่ากับ 100 บาทต่อกิโลกรัม ราคาผลผลิต ณ ปีที่ 3 เท่ากับ 1,000 บาทต่อชิ้น เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติตัวแปรเหล่านี้มีค่าไม่แน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ จึงมีความไม่แน่นอนพัวพันอยู่ตลอดเวลาเช่นกันและมีผลทำให้การพิจารณาตัดสินใจลงทุนผิดพลาดได้ ดังนั้นผู้วิเคราะห์โครงการจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาให้ทราบว่าปัจจัยใดที่มีความสำคัญและมีผลต่อความสำเร็จของโครงการเพื่อดูความไว

หรือความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงสถานะทางด้านการเงินของโครงการเมื่อปัจจัยเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงได้

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ ก็คือ

1. เพื่อหาหนทางลดความเสี่ยงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสี่ยงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงราคาและปัจจัยการผลิตที่สำคัญ ๆ ที่อาจเกิดมีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่ได้คาดคะเนไว้จะได้ช่วยเพิ่มขีดความเชื่อมั่นของการตัดสินใจให้มีมากขึ้น

2. เพื่อระบุว่ายังมีเรื่องอะไรบ้างที่ยังต้องการข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อจะได้ลดขอบเขตของความไม่แน่นอนนั้นลงและจะได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมในเรื่องนั้น ๆ ต่อไป

3. เพื่อนำเรื่องความเสี่ยงรวมเข้าไว้ในการวิเคราะห์โครงการเพื่อให้ผู้ตัดสินใจได้ทราบไว้ล่วงหน้า เช่น หากมีโครงการ 2 โครงการซึ่งต่างก็ให้อัตราผลตอบแทนที่เท่ากันแต่ความเสี่ยงระหว่าง 2 โครงการ ไม่เท่ากัน ผู้ตัดสินใจจึงอาจตัดสินใจเลือกโครงการที่มีความเสี่ยงน้อยกว่า เป็นต้น

**7. การตัดสินใจเลือกโครงการ**

ในการตัดสินใจคัดเลือกโครงการมักขึ้นอยู่กับปัจจัยที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของโครงการ ขั้นตอนการใช้เครื่องมือเพื่อทำการคัดเลือกโครงการโดยทั่วหลักการการพิจารณา ดังนี้

7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ คือ การวิเคราะห์เครื่องมือทางการเงินที่ไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินผลตอบแทนถัวเฉลี่ย (The average rate of return method) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period method) โดยเปรียบเทียบกับผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าของโครงการในลักษณะคล้ายคลึงกับเครื่องมือทางการเงินที่คำนึงถึงมูลค่าของเงิน ได้แก่ คืนทุนที่คำนึงถึงค่าเงิน (Discounted payback period method) ผลตอบแทนจากการลงทุน (The internal rate of return method) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (The net present value method) โดยทำการเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ

7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ คือ วิธีการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น โครงการบางชนิดแม้มีผลตอบแทนจากการลงทุนน้อยกว่าผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการแต่การลงทุนนั้นเป็นสิ่งจำเป็นในระยะยาวหรือการลงทุนนั้นเปิดโอกาสให้มีการลงทุนโครงการอื่นต่อเนื่อง เป็นต้น

โดยทั่วไปหากมีเงินลงทุนเพียงพอจะคัดเลือกโครงการที่มีผลการคำนวณจากเครื่องมือต่าง ๆ ที่น่าพอใจในกรณีที่มีเงินลงทุนจำกัด จำนวนเงินลงทุนในแต่ละโครงการแตกต่างกันและจำเป็นต้องคัดเลือกโครงการเพียงบางโครงการอาจพิจารณาผลตอบแทนต่อการลงทุนจากดัชนีการทำกำไร (Profitability index method) เพื่อจัดลำดับโครงการเลือกลงทุนด้วย

## การประเมินรายรับและค่าใช้จ่ายของการใช้หลอดไฟ LED

### 1. การประเมินรายรับและรายจ่ายของโครงการ

การประเมินรายรับและรายจ่ายของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษา กรณีศึกษาอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึงเงื่อนไขการทดลองที่ 4 สามารถสรุปได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 การพิจารณาค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยมีแนวคิดว่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้ไฟฟ้าระหว่างการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เทียบกับหลอดไฟ LED คือ รายได้ของโครงการ โดยคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$A = B - C \tag{2-16}$$

เมื่อกำหนดตัวแปร ดังต่อไปนี้

A คือ รายได้ของโครงการใช้หลอดไฟ LED

B คือ ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

C คือ ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED

1.2 การพิจารณารายได้จากการลดค่าบำรุงรักษาหลอดไฟ การลดค่าบำรุงรักษาของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์นับเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเพิ่มรายรับให้กับโครงการการใช้หลอดไฟ LED ค่าบำรุงรักษาที่ลดลงสามารถคำนวณได้จากสมการของบริษัท Lekise ต่อไปนี้ (บริษัท เลคิเซ่ ไลท์ติ้ง จำกัด, 2560)

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} = \left[\frac{A}{B} \times C\right]\left[D + E\right] \tag{2-17}$$

เมื่อกำหนดตัวแปร ดังต่อไปนี้

A คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งานของหลอดไฟ LED

B คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

C คือ จำนวนของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่จะทำการเปลี่ยน

D คือ ค่ารักษาหรือว่าจ้างในการตรวจสอบ ติดตั้งและเปลี่ยนหลอดไฟ

E คือ ราคาของหลอดไฟชนิดที่ต้องการเปลี่ยน

1.3 ราคาและอัตราว่าจ้างในการติดตั้งหลอดไฟ LED และปรับปรุงอาคาร จากเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 4 จะมีอัตราว่าจ้างในการติดตั้งหลอดไฟ LED รวมถึงราคาปรับปรุงโครงสร้างอาคารเกษม จาติกวณิช (บัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ปีงบประมาณ 2561, 2561) และราคาของหลอดไฟ LED (Catalog Phillip Indoor Luminaire 2016 - 2017, 2017) โดยกำหนดราคาดังต่อไปนี้

1.3.1 หลอดไฟ LED รุ่น Eco Fit LED tube ขนาด 1,200 มิลลิเมตร ราคาต่อหลอด 350 บาทและขนาด 60 มิลลิเมตร ราคาต่อหลอด 250 บาท

1.3.2 หลอดไฟ LED รุ่น Core range Batten G2 ขนาด 1,200 มิลลิเมตร ราคาต่อหลอด 3,000 บาท

1.3.3 หลอดไฟ LED รุ่น LED Smart bright LED Batten ขนาด 1,200 มิลลิเมตร ราคาต่อหลอด 3,000 บาท

1.3.4 ราคาค่าติดตั้งหลอดไฟ LED จุดละ 135 บาท

1.3.5 กำหนดให้ใช้ฝ้าและเพดานชนิดทั่วไป คือ ฝ้ายิปซั่มหนา 12 มิลลิเมตร มีอัตราค่าบริการต่อตารางเมตร 268 บาท และค่าแรงต่อตารางเมตร 52 บาท (บัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ปีงบประมาณ 2561, 2561) และจากการสำรวจขนาดของห้องต่าง ๆ ภายในอาคารเกษม จาติกวณิช สรุปได้ว่า อาคารเกษม จาติกวณิชมีพื้นที่ฝ้าและเพดานทั้งหมด 901,345. 86 ตารางเมตร ดังนั้นค่าปรับปรุงโครงสร้างอาคารเกษม จาติกวณิช มีค่าดังสมการดังต่อไปนี้

ค่าปรับปรุงโครงสร้างอาคาร = ค่าบริการปรับปรุงฝ้าและเพดาน × พื้นที่ทั้งหมด (2-18)

เมื่อกำหนดตัวแปร ดังต่อไปนี้

ค่าปรับปรุงโครงสร้างอาคารเกษม คือ ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอาคารเกษม จาติกวณิช

ค่าบริการปรับปรุงฝ้าและเพดาน คือ ค่าบริการต่อตารางเมตร + ค่าแรงต่อตารางเมตร

พื้นที่ทั้งหมด คือ พื้นที่ฝ้าและเพดานที่ต้องการปรับปรุงทั้งหมด

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล และเฉลิมชาติ มานพ (2551) ศึกษาสมรรถนะการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (Power LED) โดยศึกษาการประยุกต์การใช้งานไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงเข้ากับระบบภาคจ่ายไฟที่

ผู้วิจัยออกแบบ เพื่อพัฒนาศักยภาพการควบคุมการทำงานของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงให้สามารถนำไปใช้งานกับการออกแบบค่าความสว่างภายในอาคารหรือสถานที่ต่าง ๆ ได้ โดยทำการควบคุมการทำงานของไดโอดเปล่งแสงเกิดการสูญเสียกำลังทางไฟฟ้าน้อยที่สุดรวมไปถึงการควบคุมการทำงานของภาคจ่ายไฟเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สรุปกล่าวถึงการนำไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงประยุกต์ใช้งานในภาคภาคอุตสาหกรรม จากผลวิจัยได้ว่าเมื่อการนำไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง ค่าความสว่างจากไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงมากกว่าหลอดไฟแสงจันทร์ถึง 22 ลักซ์ ทำให้สามารถลดการใช้จำนวนหลอดไฟแสงจันทร์ได้ นอกจากนี้พบว่าไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดไฟแสงจันทร์ประมาณ 16 วัตต์ต่อ 1 หลอด ทำให้โรงงานลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้มากกว่าหนึ่งแสนกว่าบาทต่อเดือน

ชิดชนก ประสพสุข และปุณณมี สัจจกมล (2555) ศึกษาเรื่องการอนุรักษ์พลังงานและการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วย LED กรณีศึกษาบริษัทต้าชิงคอตตอนไทย ได้ศึกษาและทำวิจัยเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานด้วยการเปลี่ยนหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดไฟ LED โดยทำการวิจัยที่ บริษัท ต้าชิงคอตตอน ประเทศไทย โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลการใช้หลอดไฟชนิดต่าง ๆ และจำนวนของหลอดไฟภายใน บริษัท ต้าชิงคอตตอน ประเทศไทย จากนั้นผู้ทำวิจัยได้จำลองโดยการเปลี่ยนหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟแบบ LED 20 วัตต์ โดยกำหนดสัดส่วนการทดแทนแบบ 1 : 1 จากนั้นทำการคำนวณค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้ทั้ง 2 ชนิด และนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า หลอดไฟชนิด LED ขนาด 20 วัตต์ มีค่าใช้ไฟฟ้า 66 บาทต่อชั่วโมง หลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์มีค่าใช้จ่าย 118.8 บาทต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า หลอดไฟ LED สามารถช่วยลดพลังงานการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 22.8 เปอร์เซ็นต์

กิตติ เป้าอันพงษ์กูล และจรรยาพร จุลตามระ (2558) ศึกษาเรื่องการประเมินคุณภาพระบบแสงสว่างภายนอกอาคารแบบปรับตามการใช้งาน เป็นวิจัยกึ่งการทดลองเพื่อหาค่าความสว่างที่หมาะสมในการใช้งานบริเวณทางเดินภายนอกอาคาร โดยการประเมินผลจากความรู้สึกปลอดภัยและความสบายตาของผู้ใช้งานเป็นหลัก โดยผู้วิจัยได้ทดลองตั้งแนวคิดเกี่ยวกับการวางตำแหน่งหลอดไฟ LED ที่จุดต่าง ๆ ทดลองหาค่าความสว่างที่เหมาะสมการจำลองบนโปรแกม DIA LUX จากนั้นทดลองเปลี่ยนค่าความเข้มแสงในระดับสูงไปถึงระดับต่ำสุด ตั้งแต่ระดับ 24 ลักซ์ จนถึง 5.5 ลักซ์ โดยทดลองในสภาวะทั้งกลางวันและกลางคืน หลังจากนั้นทำการสำรวจความพอใจของผู้ใช้งานทางเดิน พบว่า ผู้ใช้งานพอใจที่ให้มีความสว่างมากกว่า 12 ลักซ์ ซึ่งเป็นค่ามากกว่ามาตรฐานทั่วไป ซึ่งผู้วิจัยสรุปไว้ว่าผู้ใช้งานโดยทั่วไปอาจเคยชินกับค่าความสว่างที่มากเกินไปตั้งแต่แรกเริ่มก่อนการวิจัย หรือ ผู้ใช้งานอาจได้รับอิทธิพลจากลำแสงในแนวดิ่งของหลอดไฟ LED จึงทำให้เกิดความพอใจที่ค่าความสว่างดังกล่าว

ประภาศิลป์ เอนกสุวรรณมณี (2555) ศึกษาเรื่องความคุ้มค่าของโครงการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน กองดุริยางค์ทหารบก ผู้วิจัยทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความคุ้มค่าของการเปลี่ยนหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดประหยัดไฟ โดยแรกเริ่มผู้วิจัยได้ศึกษาและสำรวจถึงจำนวนและปริมาณการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ภายในกองดุริยางค์ทหารบก พบว่า กองดุริยางค์ทหารบกเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงได้คิดค้นการลดใช้พลังงานโดยใช้หลอดไฟแบบประหยัดไฟแทน โดยการเปลี่ยนทดแทนใช้อัตราการเปลี่ยนแบบ 1 ต่อ 1 จากการคำนวณพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนเป็นแบบหลอดประหยัดไฟแล้ว กองดุริยางค์ทหารบกสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์โดยคิดเป็น NPV แล้วมีมูลค่า -10,173,230.74 บาท ทำให้สรุปได้ว่า มูลค่าโครงการนี้ไม่มีความคุ้มค่าในการเปลี่ยนจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟแบบประหยัด

อุมาพร สุภาวงศ์ และอภิชิต เทอดโยธิน (2559) ศึกษาเรื่องศักยภาพของการลดการใช้ไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมการใช้หลอดไฟแอลอีดีของบ้านอยู่อาศัย ในเขตความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผู้วิจัยได้ศึกษาการใช้งานหลอดไฟในพื้นที่จำนวน 400 หลังคาเรือน พบว่า มีเพียงจำนวน 12.26 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่มีการใช้งานหลอดไฟ LED ส่วน 86.4 เปอร์เซ็นต์ ยังไม่เคยมีการใช้งานหลอดไฟ LED ผู้วิจัยจึงทำการสำรวจถึงปริมาณการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าว และนำมาคำนวณเป็นค่าบริการจากการไฟฟ้า ซึ่งคำนวณการใช้งานพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 260 kWh แต่หากมีการใช้งานหลอดไฟ LED แล้ว การใช้พลังงานไฟฟ้าจะลดลงเหลือเพียง 85.68 kWh ซึ่งมีการใช้พลังงานลดลง 66.12 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบเป็นค่าบริการจากการไฟฟ้า จะลดลงถึงปีละ 4,652 บาทต่อปีต่อหนึ่งหลังคาเรือน คิดเป็นมูลค่ารวมจากทุกครัวเรือน 45,184,110 บาทต่อปีต่อหลอด โดยมีระยะในการคืนทุนที่ 1.5 ปี

สุริยปกร งามสรรพศิร (2551) คู่มือการออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยโปรแกรม DIA LUX โดยผู้วิจัยได้เสนอศึกษาโปรแกรม DIA LUX และได้จัดทำคู่มือการใช้งานโปรแกรม DIA LUX ขึ้นมา โดยเนื้อหาภายในกล่าวถึงวิธีการติดตั้ง การกำหนดขนาดของพื้นที่ การกำหนดชนิดของโคมไฟ การวางอุปกรณ์สำนักต่าง ๆ และการจัดตำแหน่งหน้าต่างประตู จากนั้นทำการคำนวณโดยการใช้งานโปรแกรม DIA LUX ทำการจำลองและวัดค่าความสว่างที่ได้กำหนดไว้ รวมถึงอ้างอิงวิธีการคำนวณตามหลักการวิศวกรรมแสงสว่าง เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการจำลอง ซึ่งค่าความสว่างทั้ง 2 กระบวนการมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สรุปได้ว่า โปรแกรม DIA LUX สามารถที่จะใช้ในการจำลององค์ประกอบต่าง ๆ และคำนวณได้ถูกต้อง

ธวัชชัย ประดู่ (2558) ศึกษาประสิทธิภาพการใช้หลอด LED ในการเพิ่มแสงสว่างและลดการใช้พลังงานภายในศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา ผู้วิจัยต้องการเพิ่มแสงสว่างภายในอาคารศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยวัลลักษณ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการเปลี่ยนจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED เพื่อเพิ่มความสว่าง โดยผู้วิจัยได้ทดลองหลอดไฟจำนวน 40 หลอดแบ่งเป็นหลอดไฟ LED จำนวน 22 หลอด และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จำนวน 18 หลอด หลังจากการทดลองพบว่า หลอดไฟ LED ให้ความสว่างมากกว่าหลอดไฟประมาณ 60 ลักซ์ และมีค่าเสื่อมสภาพน้อยกว่าถึงร้อยละ 6.32 รวมถึงค่าบริการไฟฟ้าลดลงร้อยละ 40 ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าหลอดไฟ LED มีประสิทธิภาพด้านความสว่างมากกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานอาคารได้อีกด้วย.

อัคราวุฒิ ครองยุติ, พัฒนะ รักความสุข และกูสกานา กูบาฮา (2557) ศึกษาเรื่อง การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน ในอาคารสาธารณะ ผู้วิจัยวิจัยได้ทำการจัดทำการวิจัยเกี่ยวกับการจัดพลังงานในอาคารสาธารณะ เนื่องจากอาคารสาธารณะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างของอาคารสาธารณะ ก่อนการปรับปรุง ผู้วิจัยวิจัยได้บันทึกค่าความสว่างในพื้นที่ที่ต้องการปรับปรุงไว้เพื่อใช้สำหรับอ้างอิงผลการทดลอง หลังจากบันทึกผล ผู้วิจัยทดลองเปลี่ยนหลอดไฟตามพื้นที่ที่กำหนด เช่น เปลี่ยนหลอดไฟสปอร์ตไลท์จากชนิด Floodlight MH. 4 x 250W เป็นหลอดไฟ High bay LED 4 x 150W หรือเปลี่ยนหลอดไฟและลักษณะโคมไฟบริเวณทางเดินของอาคาร จากเดิมเป็นหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ × 2 ต่อ 1 โคมไฟ โดยโคมไฟเป็นแบบไม่มีแผ่นสะท้อนแสงเป็นหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์ × 2 ต่อ 1 โคมไฟ และเปลี่ยนลักษณะโคมไฟเป็นแบบสะท้อนแสง หลังจากเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแล้วพบว่าค่าความสว่างของพื้นที่ที่ปรับปรุงมีค่ามากกว่าเดิม จากนั้นผู้วิจัยได้ประเมินความคุ้มค่าของโครงการด้วยการวิเคราะห์ NPV, IRR และ PB พบว่างานวิจัยนี้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 6,994,175 บาทต่อปี โดยมีจุดคุ้มทุนโครงการที่ 3.98 ปี รวมถึงผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์แบบ SWOT ทำให้สามารถสรุปกลยุทธ์สำหรับสำหรับการสื่อสารเพื่อนำมาปรับใช้ในองค์กรณ์อีกด้วย

ปิยะพล บวรอุดมวงศ์ และสาธิต พุทธชัยยงค์ (2558) ศึกษาเรื่องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานทอผ้าด้วยเครื่องทอระบบส่งเส้นด้ายพุ่งด้วยน้ำ ผู้วิจัยต้องการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานทอผ้าด้วยเครื่องทอระบบส่งเส้นด้ายพุ่งด้วยน้ำเพื่อลดต้นทุนในการผลิตผ้าซึ่งผู้วิจัยได้สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าจากปัจจัยจำนวน 3 อย่างในโรงงาน ได้แก่ มอเตอร์สำหรับทอผ้า หลอดไฟที่ใช้ในโรงงานและการควบคุมค่า Power factor ของตู้คอนโทรล ซึ่งผู้วิจัยวิจัยได้เปลี่ยนชนิดของมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด T8 36

วัตต์ เป็นหลอดไฟ LED T8 18 วัตต์และเพิ่มตัวเก็บประจุในตู้คอนโทรลระบบไฟฟ้าจากการทดลอง พบว่าการเปลี่ยนมอเตอร์สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 889,177.58 บาทต่อปีในระยะเวลาคืนทุน 1.47 ปี, การเปลี่ยนมาใช้หลอด ประหยัดไฟ LED สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ถึง 255,644 บาทต่อปี ซึ่งจะมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ ที่ประมาณ 0.72 ปี หรือ 8.69 เดือน และการปรับปรุงค่าคาปาซิเตอร์ทั้ง 2 ตู้ ด้วยการลงทุน 58,500 บาท จะสามารถลดค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ลงได้ 88,290.12 บาทต่อปี หรือมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 0.66 ปี นอกจากเรื่องการประหยัดพลังงานแล้ว ผู้วิจัยพบว่าการนำหลอดไฟ LED มาใช้งานนั้นสามารถที่ลดปัจจัยอื่น ๆ ของโรงงานได้อีกด้วย ได้แก่ อุณหภูมิในห้องทอผ้าลดลงส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในเครื่องควบคุมความชื้นและ เครื่องปรับอากาศลดลงด้วย และอุณหภูมิในห้องทอผ้าที่ลดลงส่งผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้น จึงลดไฟฟ้าสถิตย์ในเส้นใยประดิษฐ์ได้อีกด้วย

สุทธิศักดิ์ เต็มเกษมสุข (2555) ศึกษาความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ด้วยแอลอีดีในโคมไฟป้องกันการระเบิด ผู้วิจัยได้วิจัยถึงความเป็นไปได้ในการนำหลอดไฟชนิด LED มาใช้แทนหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ในโคมไฟป้องกันการระเบิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี กล่าวคือภายในโคมไฟป้องกันระเบิดมีการใช้หลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสซ์ และสตาร์ทเตอร์ ซึ่งอาศัยหลักการจุดระเบิดในการทำงานของหลอดไฟ ทำให้เกิดความเสี่ยงเกี่ยวกับการระเบิดในพื้นที่อุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมทั้งเกิดความสิ้นเปลืองด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าอีกด้วย ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเพื่อหาความเป็นไปได้ในเปลี่ยนการใช้งานหลอดไฟจากเดิมใช้หลอดไฟฟลูอเรสเซนต์ 36 วัตต์และ 28 วัตต์เป็นหลอดไฟ LED 20 วัตต์จำนวน 5,000 หลอด การใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน จากการศึกษาพบว่า หากมีการนำหลอดไฟ LED มาใช้งานแทนหลอดไฟฟลูอเรสเซนต์ T8 36 วัตต์ จะสามารถช่วยประหยัดกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 47.4 ถึง 56.5 เปอร์เซ็นและเมื่อเปรียบเทียบหลอดไฟฟลูอเรสเซนต์ T5 28 วัตต์ จะสามารถประหยัดกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 33.3 เปอร์เซ็น เมื่อนำมาคิดจุดคุ้มทุนพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้หลอด LED แทนหลอดไฟฟลูอเรสเซนต์ 36 วัตต์ จะถึงจุดคุ้มทุนเมื่อผ่านไป 3.5 ปี และหลอดไฟฟลูอเรสเซนต์ 28 วัตต์ จะถึงจุดคุ้มทุนเมื่อผ่านไป 4.3 ปี นอกจากนี้ในเรื่องสิ่งแวดล้อมหลอดไฟ LED ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าหลอดไฟฟลูอเรสเซนต์อีกด้วย

นริศรา คุ้มรักษา (2558) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในการใช้งานกับหลอดไฟ LED ผู้วิจัยได้ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานหลอดไฟ LED โดยการตอบแบบสอบถามออนไลน์ของผู้ใช้งานในกรุงเทพและปริมณฑล โดยการวิจัยได้แบ่งการวิเคราะห์ลักษณะประชาการ พฤติกรรมทั่วไปในการใช้งานหลอดไฟ LED และผลความพึงพอใจในการใช้งานหลอดไฟ LED ด้วยการวิเคราะห์แบบ ASCI Model ซึ่งจากผลการวิจัยด้านของการวิเคราะห์ลักษณะประชาการ

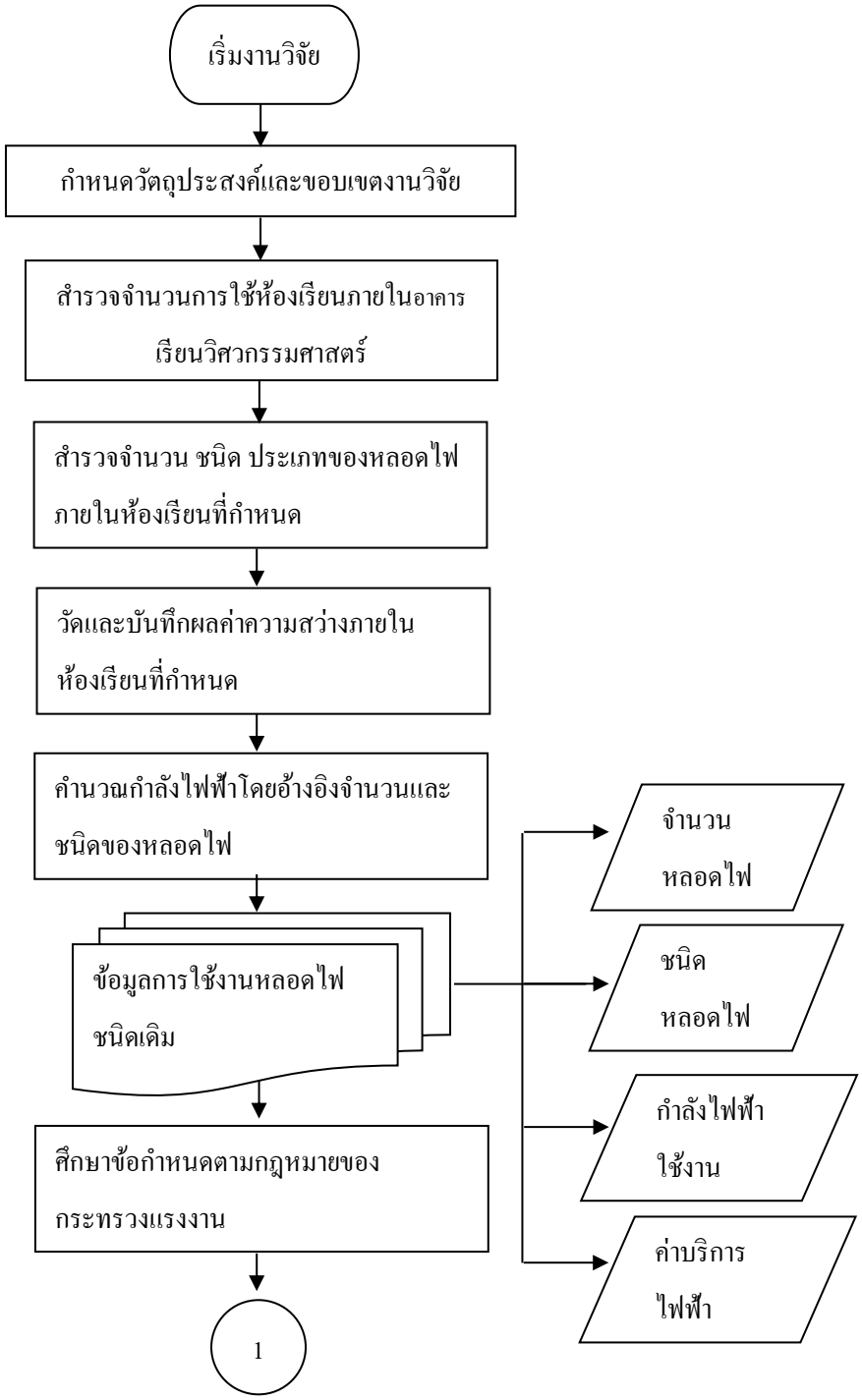
พบว่ากลุ่มผู้ใช้งานหลอดไฟ LED อยู่ในช่วงอายุ 26-27 ปี และจบการศึกษาระดับปริญญาตรีร้อยละ 61.3 และมีรายได้ต่อเดือนโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25,001-30,000 บาท พฤติกรรมทั่วไปในการใช้หลอดไฟ LED พบว่าหลอดไฟ LED ของบริษัท Philips ได้รับความนิยม 45.3 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือหลอดไฟ LED ของบริษัท Panasonic ได้รับความนิยม 13.3 เปอร์เซ็นต์

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

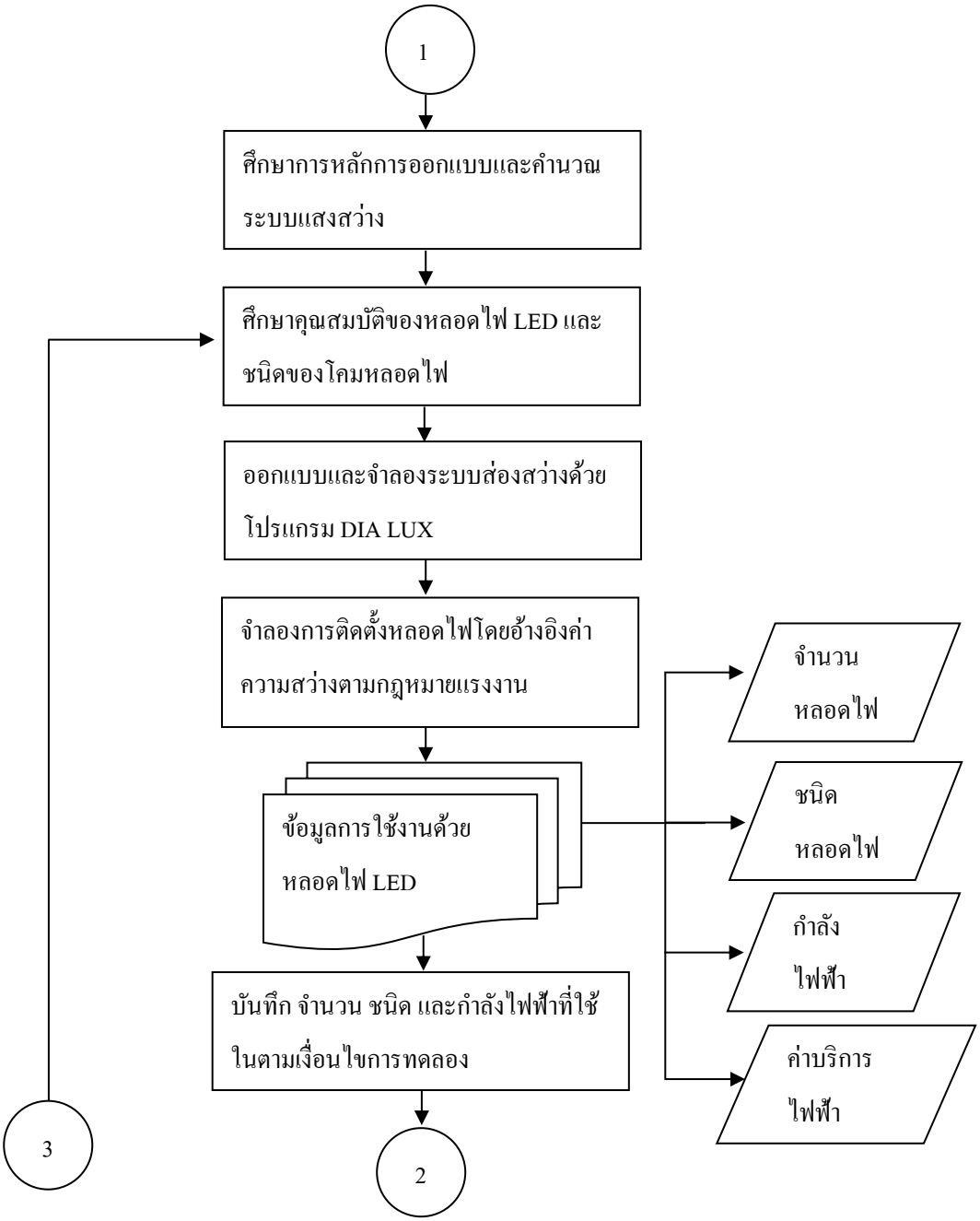
บทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่อกำหนดลำดับการดำเนินงานวิจัยอย่างเป็นระบบและขั้นตอน แนวทางในการศึกษาค้นคว้า ดำเนินงานวิจัยอ้างอิงจากหัวข้อขอบเขตงานวิจัยและวัตถุประสงค์งานวิจัยเป็นอันดับแรก โดยงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED เพื่อปรับใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานภายในอาคารเกษมจาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งรายละเอียดวิธีการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไป

## การออกแบบแผนผังการดำเนินงานโครงการ

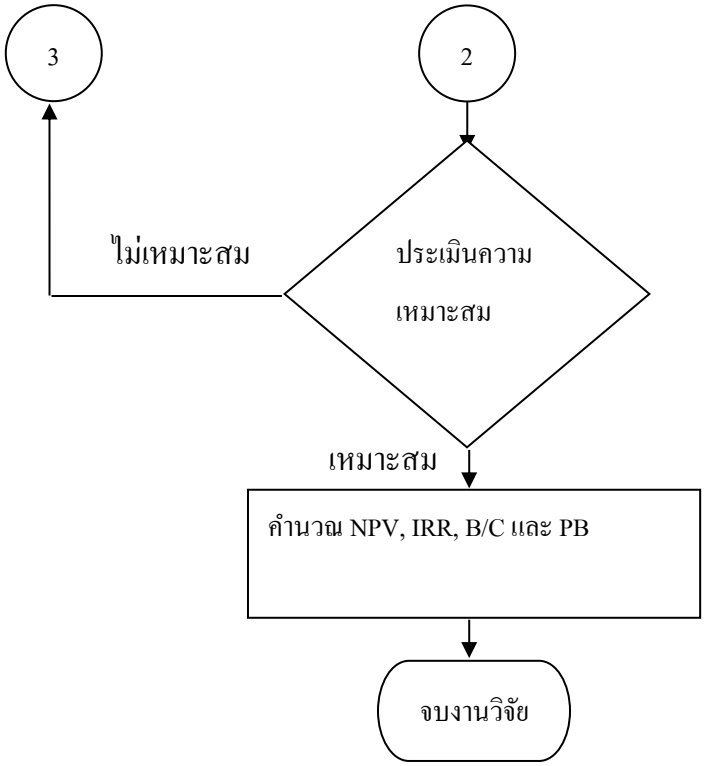
รูปที่ 3-1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยวางลำดับขั้นตอน ผู้วิจัยได้วางวัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย ลำดับต่อผู้วิจัยได้กำหนดการวางแผนงานสำรวจอาคารเกษมจาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อสำรวจจำนวน ชนิดและค่าความสว่างภายในของห้องเรียนต่าง ๆ เพื่อบันทึกผลก่อนการวิจัย จากนั้นผู้วิจัยเลือกจำลองความสว่างตามชนิดและจำนวนของหลอดไฟตามเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม DIA LUX บันทึกผลค่าความสว่างและจำนวนหลอดไฟ รวมถึงวิธีการทดลองต่าง ๆ จากนั้นนำผลการวิจัยไปคำนวณหาความเป็นไปได้ของการใช้งานหลอดไฟ LED โดยผู้วิจัยวิเคราะห์ความเป็นไปได้ด้วยหลักการทางการเงิน คือ การพิจารณา NPV, B/C, IRR และ PB ตามลำดับ




ภาพที่ 3-1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย


1
ศึกษาการหลักการออกแบบและคำนวณระบบแสงสว่าง
ศึกษาคุณสมบัติของหลอดไฟ LED และชนิดของโคมหลอดไฟ
ออกแบบและจำลองระบบส่องสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX
จำลองการติดตั้งหลอดไฟโดยอ้างอิงค่าความสว่างตามกฎหมายแรงงาน
ข้อมูลการใช้งานด้วยหลอดไฟ LED
บันทึก จำนวน ชนิด และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในตามเงื่อนไขการทดลอง
จำนวนหลอดไฟ
ชนิดหลอดไฟ
กำลังไฟฟ้า
ค่าบริการไฟฟ้า
3
2

ภาพที่ 3-1 (ต่อ)




ภาพที่ 3-1 (ต่อ)

## หลักการสำรวจการใช้ห้องเรียนภายในอาคารเกษม จติกวนิช มหาวิทยาลัยบูรพา

การสำรวจการใช้ห้องเรียนจะสำรวจปริมาณชั่วโมงและปริมาณหลอดไฟภายในอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพาในระหว่างปีการศึกษา 2559 โดยอ้างอิงการใช้งานอาคารเรียนอาคารเกษม จาติกวณิช ตามตารางการใช้ห้องเรียน ปีการศึกษา 2559 บนระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อสำรวจการใช้งานของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช หลังจากนั้นสำรวจชนิดและปริมาณของหลอดไฟ ลักษณะของโคมไฟที่ติดตั้งและค่าความสว่าง ของห้องเรียนภายในอาคารเรียนเกษม จาติกวณิช

**1. การสำรวจชั่วโมงการใช้ห้องเรียนในปีการศึกษา 2559**

จากการสำรวจการใช้ห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช ผู้วิจัยอ้างอิงตารางการใช้ห้องเรียนปีการศึกษา 2559 พบว่าอาคารเกษม จาติกวณิชมีการใช้ห้องเรียนทั้งหมด 33 ห้อง ชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนตลอดปีการศึกษารวมกันทั้งสิ้น 27,601 ชั่วโมง จำนวนชั่วโมงการใช้งานห้องเรียนของอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา ดังตารางที่ 3-1

**2. การสำรวจหลอดไฟภายในอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา**

การสำรวจหลอดไฟภายในห้องเรียนอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา สำรวจเพื่อบันทึก ชนิดของหลอดไฟ พบว่าห้องเรียนอาคารเกษม จาติกวณิช มีการใช้งานหลอดไฟ 3 ชนิด ดังนี้

2.1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ EVE ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์

2.2 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ EVE ชนิด T5 ขนาด 36 วัตต์

2.3 หลอดไฟฟิลิปส์ รุ่น Super 80 ชนิด T5 ขนาด 18 วัตต์

โดยคุณสมบัติของหลอดไฟทั้ง 3 ชนิด สามารถพิจารณาได้ที่ภาคผนวก ค-1 และ ค-2

**3. การสำรวจค่าความสว่าง**

ในการสำรวจค่าความสว่างภายในอาคาร เกษม จาติกวณิช ผู้วิจัยทำการสำรวจและบันทึกค่าความสว่างด้วย Lux meter โดยผู้วิจัยได้แบ่งพื้นที่การวัดค่าความสว่างของพื้นที่เป็นรูปแบบตารางขนาด 3 × 3 เพื่อวัดค่าความสว่างของแต่ละพื้นที่และนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของความสว่างของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา ดังข้อมูลในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ขนาดห้องเรียน ชนิด จำนวนหลอดไฟและค่าความสว่างของพื้นที่ห้องเรียน

| ห้องเรียนภายในอาคารเกษม | | ขนาดของพื้นที่ | | | ชนิดหลอดไฟ | จำนวน | ความสว่างเฉลี่ย (Lux) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | กว้าง (ม.) | ยาว (ม.) | สูง (ม.) | | | |
| ชั้นที่ 4 | M4001-1 | 14.50 | 15.00 | 3.00 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 156 | 539.00 |
| | M4001-2 | 14.50 | 15.00 | 3.00 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 156 | 539.00 |
| | M4002 | 14.00 | 15.00 | 2.90 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 76 | 216.60 |
| | M4003 | 14.80 | 14.80 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 76 | 216.60 |
| | M402 | 7.00 | 7.30 | 3.20 | ฟลูออเรสเซนต์ T5<br>ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 12<br>12 | 280.00 |
| | M431 | 7.40 | 7.80 | 3.20 | ฟลูออเรสเซนต์ T5<br>ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 12<br>12 | 265.50 |

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

| ห้องเรียนภายในอาคารเกษม | | ขนาดของพื้นที่ กว้าง (ม.) | ยาว (ม.) | สูง (ม.) | ชนิดหลอดไฟ | จำนวน | ความสว่างเฉลี่ย (Lux) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชั้นที่ 5 | M502 | 7.00 | 7.30 | 3.20 | ฟลูออเรสเซนต์ T5<br>ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 12<br>12 | 311.11 |
| | M505 | 15.10 | 9.40 | 3.20 | ฟลูออเรสเซนต์ T5<br>ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 48<br>12 | 101.11 |
| | M521 | 7.40 | 7.80 | 3.20 | ฟลูออเรสเซนต์ T5<br>ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 12<br>12 | 354.40 |
| ชั้นที่ 6 | M6001 | 11.50 | 9.05 | 3.00 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 36 | 362.22 |
| | M6002 | 9.35 | 9.70 | 3.00 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 30 | 272.22 |
| | M603 | 6.10 | 8.60 | 2.90 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 20 | 142.88 |
| | M604 | 6.10 | 8.60 | 2.90 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 20 | 125.22 |
| | M605 | 6.10 | 8.60 | 2.90 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 20 | 126.00 |
| | M606 | 6.10 | 8.60 | 2.90 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 20 | 135.77 |
| | M607 | 4.70 | 6.10 | 2.90 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 8 | 83.30 |
| | M608 | 4.70 | 6.10 | 2.90 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 8 | 81.60 |
| ชั้นที่ 7 | M704 | 3.00 | 9.30 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 12 | 223.33 |
| | M705 | 3.00 | 9.30 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 12 | 233.33 |
| | M706 | 3.00 | 9.30 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 21 | 217.77 |
| | M710 | 3.00 | 9.30 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 21 | 234.44 |
| | M711 | 3.00 | 9.30 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 21 | 228.88 |
| | M712 | 3.00 | 9.30 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 21 | 223.33 |
| | M707 | 18.20 | 15.00 | 4.00 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 30 | 194.22 |
| | M709 | 13.80 | 8.10 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 48 | 194.22 |
| | M714 | 13.80 | 8.10 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5<br>ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 48<br>12 | 264.44 |

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

| ห้องเรียนภายในอาคารเกษม | | ขนาดของพื้นที่ กว้าง (เมตร) | ยาว (เมตร) | สูง (เมตร) | ชนิดหลอดไฟ | จำนวน (หลอด) | ความสว่างเฉลี่ย (Lux) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชั้นที่ 7 | M718 | 15.10 | 9.40 | 3.20 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 30 | 514.11 |
| | | | | | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 20 | |
| | | | | | คอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ | 8 | |
| | M717 | 9.20 | 13.00 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 48 | 230.33 |
| | ห้องประชุม | 9.00 | 12.40 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 40 | 449.00 |
| | | | | | หลอดตะเกียบ 5w | 20 | |
| ชั้นที่ 8 | ห้องพักเบรก | 9.68 | 14.70 | 3.10 | ฟลูออเรสเซนต์ T5 | 18 | 173.66 |
| | | | | | หลอดตะเกียบ 5w | 11 | |
| | M801 | 14.60 | 15.30 | 3.00 | ฟลูออเรสเซนต์ T8 | 50 | 199.77 |

จากตารางที่ 3-1 แสดงผลการสำรวจขนาด ชนิดและจำนวนของหลอดไฟและค่าความสว่างของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช พบว่าห้องสมุดมีค่าความสว่างถูกต้องตามมาตรฐานและในขณะที่ห้องเรียนอื่น ๆ มีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามาตรฐาน

**4. การคำนวณพลังงานไฟฟ้า**

การหาค่าพลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณจากสมการที่ 2-11 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง ห้องเรียน M4001-1 มีการใช้งานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ขนาด 38 วัตต์ จำนวน 156 หลอด ในปีการศึกษา 2559 มีการใช้งานห้องเรียน M4001-1 ดังต่อไปนี้ ภาคเรียนที่ 1 มีการใช้งาน 76 ชั่วโมง และภาคเรียนที่ 2 มีการใช้งาน 30 ชั่วโมง ดังนั้นห้องเรียน M4001-1 จะมีการใช้พลังงานเท่าใด

วิธีการคำนวณ มีอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนี้

ฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ขนาด 38 วัตต์ จำนวน 156 หลอด

บัลลาสส์ของฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ขนาด 10 วัตต์

มีจำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้า = (38 + 10) = 48 วัตต์

จำนวนการใช้งานปีการศึกษา 2559 = (76 + 30) = 106 ชั่วโมง

จากสมการที่ 2-11

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} = \frac{(\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า})}{1{,}000} \times \text{จำนวนชั่วโมง}$$

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} = \frac{(48 \times 156)}{1{,}000} \times 106$$

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} = (48 \times 156) / 1{,}000 ) \times 106$$

$$= 793.72 \text{ หน่วย}$$

ห้องเรียน M4001-1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 793.72 หน่วย

สามารถแสดงผลการใช้งานพลังงานไฟฟ้าของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกนิช ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ชั่วโมงการใช้บริการห้องเรียนและพลังงานไฟฟ้าของห้องเรียนภายในอาคาร เกษม จาติกวณิช

| ห้องเรียน | ชั่วโมงการใช้งาน | | | | จำนวนการใช้พลังงาน | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ภาคเรียนที่ 1 (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 2 (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 3 (ชั่วโมง) | รวม (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 1 (วัตต์) | ภาคเรียนที่ 2 (วัตต์) | ภาคเรียนที่ 3 (วัตต์) | รวมจำนวนพลังงาน (วัตต์) |
| ห้องสมุด | 1,596.00 | 756.00 | 1,596.00 | 3,612.00 | 21,258,720.00 | 16,783,200.00 | 10,069,920.00 | 48,111,840.00 |
| M4001-1 | 76.00 | 30.00 | 0.00 | 106.00 | 569,088.00 | 224,640.00 | 0.00 | 793,728.00 |
| M4002 | 817.00 | 450.00 | 117.00 | 1,384.00 | 6,117,696.00 | 3,369,600.00 | 876,096.00 | 10,363,392.00 |
| M4003 | 285.00 | 240.00 | 0.00 | 525.00 | 649,800.00 | 547,200.00 | 0.00 | 1,197,000.00 |
| M402 | 855.00 | 450.00 | 117.00 | 1,422.00 | 513,000.00 | 270,000.00 | 70,200.00 | 853,200.00 |
| M431 | 760.00 | 315.00 | 216.00 | 1,291.00 | 456,000.00 | 189,000.00 | 129,600.00 | 774,600.00 |
| M5001 | 684.00 | 360.00 | 0.00 | 1,044.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M5002 | 399.00 | 270.00 | 54.00 | 723.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M502 | 513.00 | 540.00 | 36.00 | 1,089.00 | 307,800.00 | 324,000.00 | 21,600.00 | 653,400.00 |
| M505 | 399.00 | 180.00 | 0.00 | 579.00 | 919,296.00 | 414,720.00 | 0.00 | 1,334,016.00 |
| M521 | 399.00 | 450.00 | 0.00 | 849.00 | 239,400.00 | 270,000.00 | 0.00 | 509,400.00 |

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

| ห้องเรียน | ชั่วโมงการใช้งาน | | | | จำนวนการใช้พลังงาน | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ภาคเรียนที่ 1 (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 2 (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 3 (ชั่วโมง) | รวม (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 1 (วัตต์) | ภาคเรียนที่ 2 (วัตต์) | ภาคเรียนที่ 3 (วัตต์) | รวมพลังงาน (วัตต์) |
| M6001 | 969.00 | 270.00 | 54.00 | 1,293.00 | 1,046,520.00 | 291,600.00 | 58,320.00 | 1,396,440.00 |
| M6002 | 475.00 | 480.00 | 81.00 | 1,036.00 | 427,500.00 | 432,000.00 | 72,900.00 | 932,400.00 |
| M602 | 779.00 | 465.00 | 0.00 | 1,244.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M603 | 0.00 | 330.00 | 0.00 | 330.00 | 0.00 | 132,000.00 | 0.00 | 132,000.00 |
| M604 | 0.00 | 180.00 | 0.00 | 180.00 | 0.00 | 72,000.00 | 0.00 | 72,000.00 |
| M605 | 0.00 | 150.00 | 0.00 | 150.00 | 0.00 | 60,000.00 | 0.00 | 60,000.00 |
| M607 | 0.00 | 240.00 | 0.00 | 240.00 | 0.00 | 92,160.00 | 0.00 | 92,160.00 |
| M608 | 0.00 | 225.00 | 0.00 | 225.00 | 0.00 | 86,400.00 | 0.00 | 86,400.00 |
| M612 | 228.00 | 555.00 | 108.00 | 891.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M704 | 0.00 | 240.00 | 0.00 | 240.00 | 0.00 | 138,240.00 | 0.00 | 138,240.00 |
| M705 | 0.00 | 60.00 | 0.00 | 60.00 | 0.00 | 34,560.00 | 0.00 | 34,560.00 |
| M707 | 532.00 | 495.00 | 126.00 | 1,153.00 | 766,080.00 | 712,800.00 | 181,440.00 | 1,660,320.00 |

ตารางที่ 3-2 ห้องเรียน (ต่อ)

| ห้องเรียน | ชั่วโมงการใช้งาน | | | | จำนวนการใช้พลังงาน | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ภาคเรียนที่ 1 (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 2 (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 3 (ชั่วโมง) | รวม (ชั่วโมง) | ภาคเรียนที่ 1 (วัตต์) | ภาคเรียนที่ 2 (วัตต์) | ภาคเรียนที่ 3 (วัตต์) | รวมพลังงาน (วัตต์) |
| M709 | 494.00 | 180.00 | 36.00 | 710.00 | 711,360.00 | 259,200.00 | 51,840.00 | 1,022,400.00 |
| M710 | 760.00 | 405.00 | 0.00 | 1,165.00 | 478,800.00 | 255,150.00 | 0.00 | 733,950.00 |
| M711 | 418.00 | 270.00 | 0.00 | 688.00 | 263,340.00 | 170,100.00 | 0.00 | 433,440.00 |
| M712 | 399.00 | 360.00 | 0.00 | 759.00 | 251,370.00 | 226,800.00 | 0.00 | 478,170.00 |

จากตารางที่ 3-2 แสดงผลการคำนวณหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช พบว่าห้องสมุดใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเนื่องจากมีจำนวนชั่วโมงการใช้งานมากที่สุด คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 27,492,480 วัตต์

**5. การคำนวณค่าบริการการใช้ไฟฟ้า**

การคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ตามหลักการคำนวณจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต โดยกำหนดตัวแปรการคำนวณ ดังต่อไปนี้

5.1 ห้องสมุด กำหนดการใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง เป็นจำนวน 6 วันต่อสัปดาร์

5.2 ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2559 มีระยะเวลา 19 สัปดาห์

5.3 ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2559 มีระยะเวลา 15 สัปดาห์

5.4 ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2559 มีระยะเวลา 9 สัปดาห์

ผลรวมค่าชั่วโมงและการใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถสรุปผลได้ ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 จำนวนชั่วโมงและหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเกษม จาติกวณิช

| ปีการศึกษา 2559 | จำนวนชั่วโมง | จำนวนพลังงาน |
|---|---|---|
| ภาคการศึกษาที่ 1 | 14,326.00 | 37,574.89 |
| ภาคการศึกษาที่ 2 | 10,980.00 | 27,309.21 |
| ภาคการศึกษาที่ 3 | 1,800.00 | 11,531.81 |

จากตารางที่ 3-3 สามารถแจกแจงได้ ดังต่อไปนี้

ปีการศึกษา 2559 ภาคเรียนที่ 1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 37,574.89 หน่วย สามารถคำนวณค่าบริการได้ ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเกษม จาติกวณิช ปีการศึกษา 2559

| ภาคเรียนที่ | หน่วยการไฟฟ้า (หน่วย) | จำนวนหน่วย (หน่วย) | ราคาต่อหน่วย (บาท) | จำนวนเงิน (บาท) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 – 35 | 35 | 0 | 85.21 |
| | 36 – 150 | 115 | 1.12360 | 129.21 |
| | 151 – 400 | 250 | 2.13290 | 533.23 |

ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

| ภาคเรียนที่ | หน่วยการไฟฟ้า (หน่วย) | จำนวนหน่วย (หน่วย) | ราคาต่อหน่วย (บาท) | จำนวนเงิน (บาท) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | มากกว่า 400 | 29,121 | 2.42262 | 90,062.32 |
| | รวม | | | 90,809.97 |
| 2 | 0 - 35 | 35 | 0 | 85.21 |
| | 36 – 150 | 115 | 1.1236 | 129.21 |
| | 151 – 400 | 250 | 2.1329 | 533.23 |
| | มากกว่า 400 | 20,359 | 2.4226 | 65,192.67 |
| | รวม | | | 65,940.32 |
| 3 | 0 - 35 | 35 | 0 | 85.21 |
| | 36 – 150 | 115 | 1.1236 | 129.21 |
| | 151 – 400 | 250 | 2.1329 | 533.23 |
| | มากกว่า 400 | 6,936 | 2.4226 | 26,970.34 |
| | รวม | | | 27,717.99 |

จากตารางที่ 3-4 แสดงค่าบริการการใช้พลังงานของอาคารเกษม จาติกวณิช จากการคำนวณได้ว่า ภาคเรียนที่ 1 จะต้องชำระค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า 90,809.97 บาท ภาคเรียนที่ 2 จะต้องชำระค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า 65,940.32 บาทและภาคเรียนที่ 3 จะต้องชำระค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า 27,717.99 บาท รวมค่าบริการการพลังงานไฟฟ้า 184,468.28 บาท

ค่าบริการปรับการคิดค่าบริการอัติโนมัติหรือ ft มีค่าเท่า 76,146 คูณ 0.1610 มีค่าเท่ากับ 13,773.99 บาท ดังนั้นค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมีค่าเท่ากับ 196,771.25 บาท ซึ่งต้องนำมารวมกับค่าภาษี 7 เปอร์เซ็น ของผลรวมค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม จึงสรุปได้ว่าอาคารเกษม จาติกวณิชจะเสียค่าบริการทั้งหมด 210,545.23 บาทต่อ 1 ปีการศึกษา

**การกำหนดชนิดของหลอดไฟ LED**

ในปัจจุบันหลอดไฟ LED มีผู้ผลิตและจำหน่ายหลอดไฟ LED ชนิดต่างๆเป็นจำนวนมาก จากการสำรวจ พบว่ามีหลอดไฟ LED ที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมและได้รับฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 เป็นจำนวน 353 รุ่น (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, วันที่ 30 กันยายน 2560)

จากการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานหลอดไฟ LED (นริศรา คุ้มรักษา, 2558) พบว่าพฤติกรรมของผู้ใช้งานหลอดไฟ LEDโดยทั่วไป สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 พฤติกรรมการทั่วไปในการเลือกใช้หลอดไฟ LED ของกลุ่มตัวอย่าง

| พฤติกรรมการใช้หลอดไฟ LED | | จำนวน | ร้อยละ |
|---|---|---|---|
| ยี่ห้อ | Synvania | 12 | 6.60 |
| | Philips | 82 | 45.30 |
| | L&E | 10 | 5.50 |
| | Toshiba | 2 | 1.10 |
| | Panasonic | 24 | 13.30 |
| | Lamptan | 7 | 3.90 |
| | Lumira | 1 | 0.60 |
| | กฟผ. | 22 | 12.20 |
| | อื่นๆ | 20 | 11.00 |

จากการสำรวจพบว่าหลอดไฟ LED ยี่ห้อ Philips เป็นที่นิยมใช้งานมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ หลอดไฟ LED ยี่ห้อ Panasonic

ปี พ.ศ. 2556 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) กระทรวงอุตสาหกรรมและสำนักงานนโยบายพลังงานและแผนพลังงาน (สนพ.) ได้จัดตั้ง “โครงการอุตสาหกรรมประหยัดไฟ ช่วยไทยลดใช้พลังงาน” เป็นการส่งเสริมการลดใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงอุตสาหกรรมภายใต้ข้อกำหนดต่อไปนี้

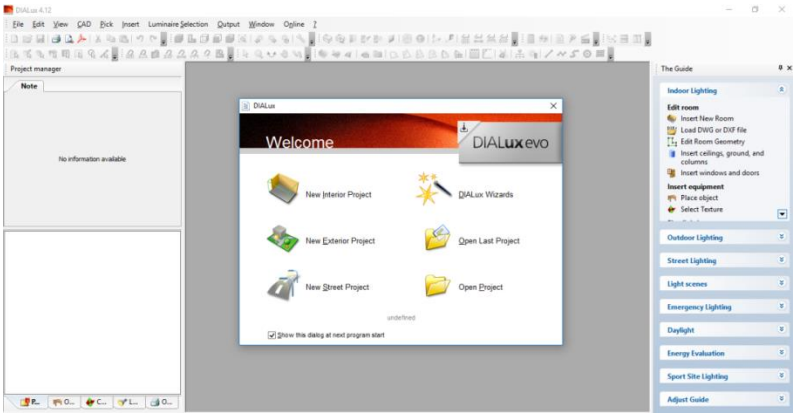
1. การเปลี่ยนไปใช้หลอดไฟ LED แทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์
2. หลอดไฟ LED ที่เปลี่ยนได้รับการสนับสนุน 80-230 บาท
3. สามารถประหยัดพลังไฟได้ไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

หลอดไฟ LED ยี่ห้อ Philips ได้รับการรับรองและเข้าร่วมโครงการพร้อมภาคอุตสาหกรรมเอกชน เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาโครงการ เจ้าหน้าที่จากการไฟฟ้าส่วนส่วนภูมิภาค (กฟภ.) กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานนโยบายพลังงานและแผนพลังงานจะเป็นผู้ตรวจสอบการลดใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งผลปรากฏว่าสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จริง จากเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยจึงนำคุณสมบัติของหลอดไฟ Philips มาใช้ในการจำลองความสว่างในห้องเรียนของอาคารเกษม จาติกวณิช ในงานนิพนธ์ฉบับนี้

## การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม DIA LUX

### 1. การติดตั้งโปรแกรม DIA LUX

โปรแกรม DIA LUX เป็นโปรแกรมที่ผู้ใช้งานสามารถผ่านดาวน์โหลดโปรแกรมได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ จากเว็บไซต์ https://www.dial.de/en/software/dialux/download/ ซึ่งผู้วิจัยดาวน์โหลดโปรแกรม DIA LUX เวอร์ชั่น 4.12 เพื่อใช้วิจัยหาค่าความสว่างและจำนวนหลอดไฟที่เหมาะสมในงานนิพนธ์ฉบับนี้




ภาพที่ 3-2 หน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม DIA LUX เวอร์ชั่น 4.12

จากภาพที่ 3-2 หน้าต่างแสดงการเริ่มการทำงานของโปรแกรม DIA LUX เวอร์ชั่น 4.12 ผู้ใช้งานสามารถเลือกรูปแบบการออกแบบการใช้งานโปรแกรม DIA LUX เวอร์ชั่น 4.12 ได้ทั้งหมดจำนวน 3 รูปแบบ คือ

1. การออกแบบระบบส่องสว่างภายนอกอาคาร
2. การออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร
3. ระบบส่องสว่างบนและริมถนน

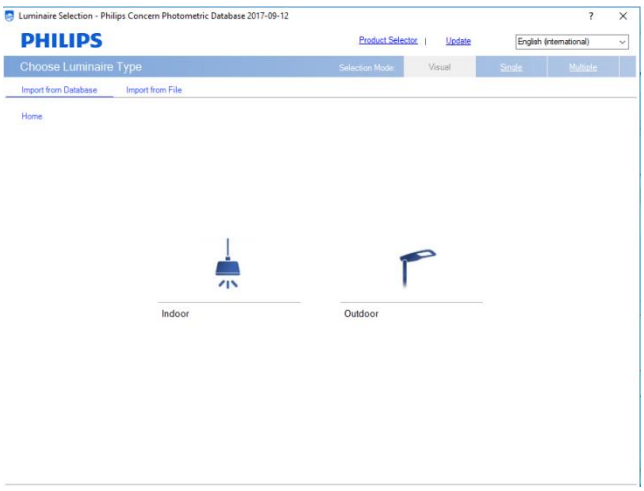
จากรูปแบบทั้งหมด ผู้ใช้งานจะต้องพิจารณาว่าลักษณะหรือพื้นที่ที่ต้องการออกแบบนั้นเป็นลักษณะอย่างไร เพื่อที่จะสามารถเลือกโหมดการออกแบบได้อย่างเหมาะสม

**2. การติดตั้งฐานข้อมูลของหลอดไฟในโปรแกรม DIA LUX เวอร์ชั่น 4.12**

การติดตั้งฐานข้อมูลของหลอดไฟสำหรับจำลองระบบส่องสว่างโปรแกรม DIA LUX เวอร์ชั่น 4.12 สามารถดำเนินงานตามขั้นตอนได้ ดังนี้

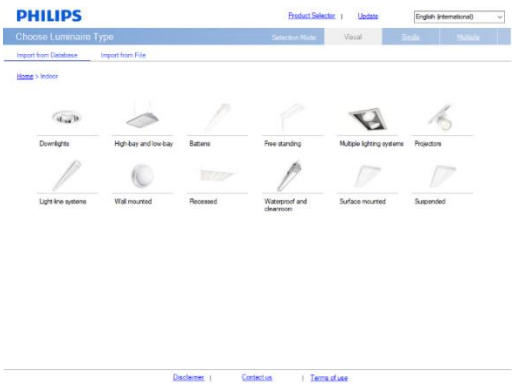
2.1 ดาวน์โหลดฐานข้อมูลของหลอดไฟได้โดยตรงจากบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายหลอดไฟโดยการเข้าไปยังเว็บไซต์ของผู้ผลิต

2.2 ติดตั้งฐานข้อมูลของหลอดไฟลงในคอมพิวเตอร์




ภาพที่ 3-3 หน้าต่างของฐานข้อมูลหลอดไฟ

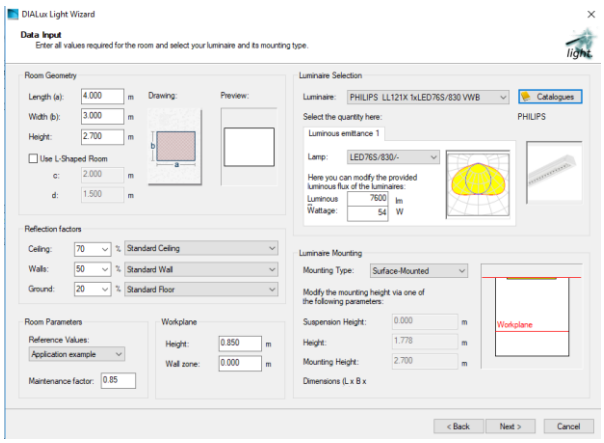
จากภาพที่ 3-3 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการใช้งานฐานข้อมูลของหลอดไฟจากบริษัท Philips โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกชนิดของหลอดหลอดไฟตามลักษณะการใช้งานได้




ภาพที่ 3-4 หลอดไฟและโคมไฟชนิดต่าง ๆ ภายในฐานข้อมูล

จากภาพที่ 3-4 แสดงลักษณะของโคมไฟและหลอดไฟชนิดต่าง ๆ จากฐานข้อมูลของหลอดไฟ ซึ่งผู้ใช้งานโปรแกรมจะต้องเลือกใช้หลอดไฟและโคมไฟให้ถูกต้องและเหมาะสมกับการออกแบบระบบความสว่าง

2.3 เมื่อทำการติดตั้งฐานข้อมูลของหลอดไฟและโปรแกรม DIA LUX เวอร์ชั่น 4.12 จะสามารถเรียกใช้หลอดไฟชนิดต่างๆพร้อมฐานข้อมูลในโปรแกรม DIA LUX ได้



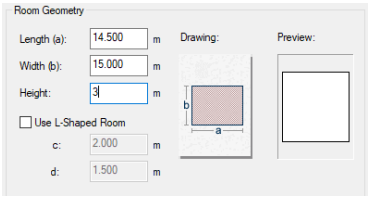

ภาพที่ 3-5 หน้าต่างเริ่มการใช้โปรแกรม DIA LUX

จากภาพที่ 3-5 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม DIA LUX พร้อมฐานข้อมูลของหลอดไฟจากบริษัท Philips

**3. ขั้นตอนการออกแบบด้วยโปรแกรม DIA LUX**

โดยผู้ใช้งานจะต้องกำหนดค่าตัวแปรชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ โดยยกตัวอย่างห้องเรียน M4001-1

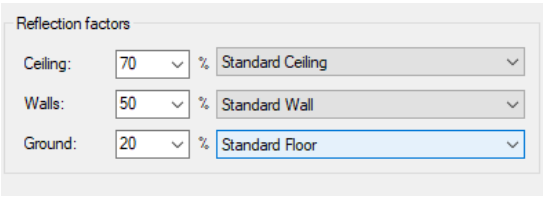
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดความกว้าง ความยาวและความสูงของห้องเรียน




ภาพที่ 3-6 การกำหนดขนาดความกว้าง ความยาวและความสูง

จากภาพที่ 3-6 แสดงการลงรายละเอียดขนาดห้องที่ต้องการออกแบบ โดยผู้ออกแบบสามารถกำหนดค่าความกว้าง ความยาวและความสูงรวมถึงการออกแบบห้องในลักษณะที่มีมุมตัดได้

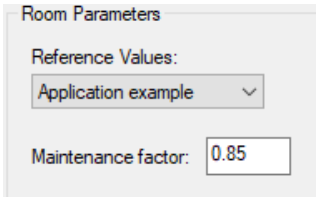
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงตามค่ามาตรฐาน (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540)




ภาพที่ 3-7 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

จากภาพที่ 3-7 แสดงการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของห้องที่ต้องการออกแบบ ผู้ออกแบบสามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของเพดาน พนังและพื้นได้ตามลำดับ

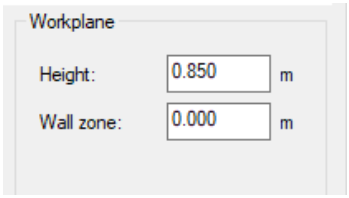
ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษา เท่ากับ 0.85




ภาพที่ 3-8 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษา

จากภาพที่ 3-8 แสดงการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาของห้องที่ออกแบบ ผู้ออกแบบสามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาได้ด้วยตนเองหรือตามค่ามาตรฐาน

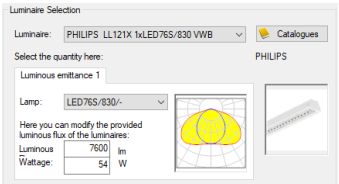
ขั้นตอนที่ 4 กำหนดความสูงของพื้นทำงานเท่ากับ 0.85 เมตร




ภาพที่ 3-9 การกำหนดค่ากำหนดความสูงของพื้นทำงาน

จากภาพที่ 3-9 แสดงการกำหนดระยะความสูงของการวัดความสว่าง ผู้ออกแบบสามารถระยะความสูงของการวัดความสว่างได้

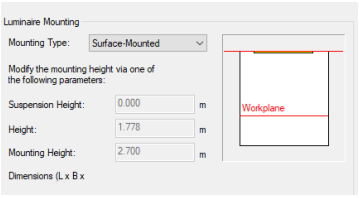
ขั้นตอนที่ 5 กำหนดของดวงโคมยี่ห้อ Philips รุ่น LL121X 1xLED76S /830 VWB




ภาพที่ 3-10 ดวงโคมยี่ห้อ Philips 54 วัตต์ 7,600 ลูเมน

จากภาพที่ 3-10 แสดงการเลือกและกำหนดรายละเอียดของหลอดไฟตามฐานข้อมูล ผู้ออกแบบสามารถกำหนดใช้ตามฐานข้อมูลหรือสามารถสร้างฐานข้อมูลเอง

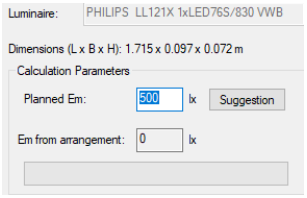
ขั้นตอนที่ 6 กำหนดลักษณะการติดตั้งดวงโคม โดยเลือกใช้ดวงโคมแบบติดฝาผนัง




ภาพที่ 3-11 การติดตั้งดวงโคม

จากภาพที่ 3-11 แสดงการรูปแบบการติดตั้งดวงโคม ผู้ออกแบบสามารถกำหนดลักษณะหรือระยะความสูงในการติดตั้งได้

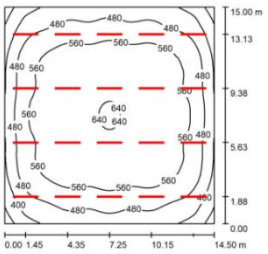
ขั้นตอนที่ 7 กำหนดให้ค่าความส่องสว่างภายในห้อง




ภาพที่ 3-12 การกำหนดความสว่าง

จากภาพที่ 3-12 แสดงการกำหนดความสว่างตามมาตรฐานกฎกระทรวงแรงงาน เท่ากับ 500 ลักซ์และกดปุ่ม Suggestion จากนั้นเลือก Calulation โปรแกรมจะคำนวณจำนวนหลอดไฟและความสว่าง

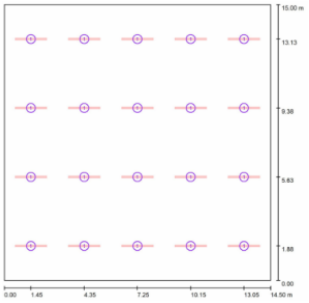
ขั้นตอนที่ 8 โปรแกรมจะคำนวณจำนวนหลอดไฟให้ถูกต้องกับความสว่างที่กำหนด




ภาพที่ 3-13 ค่าความสว่างบนพื้นที่ต่าง ๆ ของห้องเรียน M4001-1

จากภาพที่ 3-13 แสดงค่าความสว่างตามพื้นที่ออกแบบ โดยโปรแกรม DIA LUX จะแสดงตัวเลขแสดงค่าความสว่างดังรูป

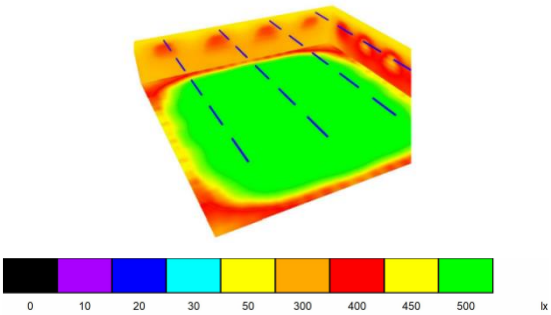
ขั้นตอนที่ 9 โปรแกรม DIA LUX จะคำนวณตำแหน่งการติดตั้งเพื่อความเหมาะสมของความสว่าง



ภาพที่ 3-14 แผนผังการติดตั้ง

จากภาพที่ 3-14 แสดงแผนผังและระยะการติดตั้งหลอดไฟตามการคำนวณด้วยโปรแกรม DIA LUX

ขั้นตอนที่ 10 โปรแกรม DIA LUX แสดงภาพการกระจายแสงแบบ 3 มิติ




ภาพที่ 3-15 การกระจายแสงแบบ 3 มิติ

จากภาพที่ 3-15 แสดงภาพฉาย 3 มิติของความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX กำหนดให้พื้นที่สีเขียวมีความสว่าง 500 ลักซ์

จากการจำลองโปรแกรมตามขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 10 พบว่าสามารถโปรแกรม DIA LUX สามารถคำนวณค่าความสว่างและจำนวนหลอดไฟ LED ในห้องเรียน M4001-1 ทำให้ห้องเรียน M4001-1 มีความสว่างตามมาตรฐานทั่วทั้งบริเวณห้องและลดจำนวนหลอดไฟลงได้

**6. การประเมินความเป็นไปได้ของงานวิจัย**

6.1 การประเมินสถานการณ์ของงานวิจัย การประเมินสถานการณ์การเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED ของอาคารเกษม จาติกวณิช โดยประเมินสถานการณ์เป็น 2 กรณี ดังต่อไปนี้

6.1.1 อาคารเรียนเกษม จาติกวณิช ยังคงใช้งานหลอดไฟชนิดเดิมดังตารางที่ 3-1 ไม่มีการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟ

6.1.2. อาคารเรียนเกษม จาติกวณิช เปลี่ยนการใช้หลอดไฟจากหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟชนิด LED โดยอ้างอิงค่าความสว่างจากตารางมาตรฐานความสว่างของกฎกระทรวงแรงงาน ดังตารางที่ 2-12 และอ้างอิงจำนวนหลอดไฟ LED จากการจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX

6.2 การประเมินผลลัพธ์ก่อนและหลังการจำลองการใช้หลอดไฟ LED การประเมินผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้จะประเมินผลด้วยการเปรียบตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

6.2.1 ราคาของหลอดไฟ LED และค่าบริการตั้งหลอดไฟ LED

6.2.2 เปรียบเทียบจำนวนหลอดไฟ คือการนำจำนวนหลอดไฟจากการสำรวจเปรียบเทียบกับจำนวนหลอดไฟ LED ที่ได้จากการจำลองด้วยโปแกรม DIA LUX

6.2.3 เปรียบเทียบการใช้งานพลังงานไฟฟ้า คือการนำผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟภายในอาคารเกษม จาติกวณิช เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการจำลองด้วยโปแกรม DIA LUX โดยอ้างอิงชั่วโมงการใช้งานจากตารางการใช้อาคารเรียนเกษม จาติกวณิช ปีการศึกษา 2559

6.2.4 เปรียบเทียบค่าบริการไฟฟ้า คือการเปรียบเทียบค่าบริการไฟฟ้าของอาคารเกษม จาติกวณิช โดยการคำนวณค่าบริการไฟฟ้าจากจำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้าและชั่วโมงการใช้งานจากตารางการใช้อาคารเรียน เกษม จาติกวณิช ปีการศึกษา 2559 ก่อนและหลังการดำเนินจากจำลองการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารเกษม จาติกวณิช

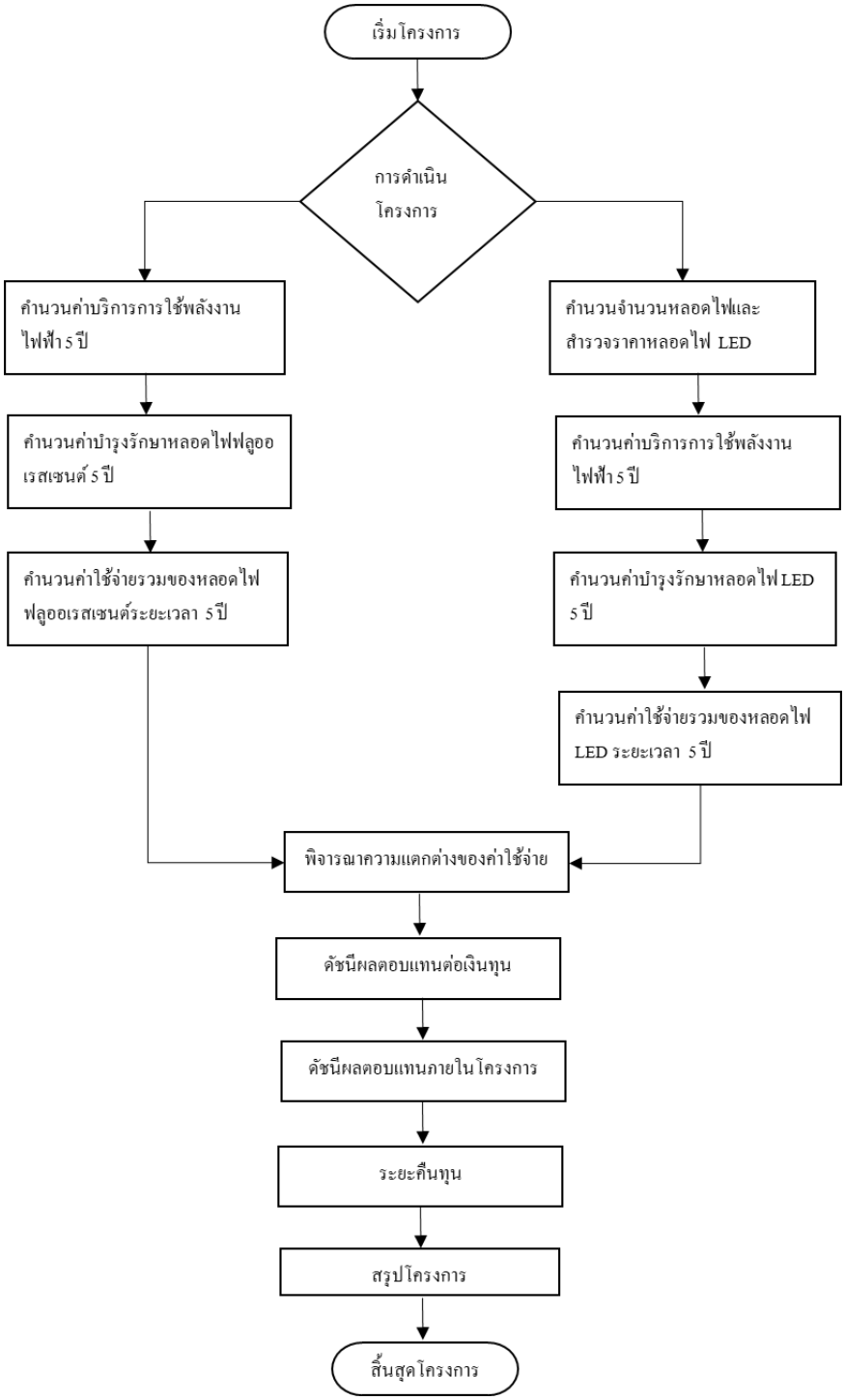
6.2.5 เปรียบเทียบค่าบำรุงรักษาระหว่างหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไฟ LED เพื่อพิจารณาต้นทุนในปีการศึกษาต่อ ๆ ไปด้วย

6.2.6 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ผู้วิจัยกำหนดการคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า 2 กรณี คือ

6.2.6.1 การใช้ค่า ft แบบคงตัวตลอดระยะเวลาโครงการ

6.2.6.2 การใช้ค่า ft แบบปรับตัวตามอัตราเงินเฟ้อทุก ๆ ปีของระยะเวลาโครงการ

6.3 การประเมินความคุ้มค่าโครงการ จากการสำรวจจำนวนการใช้งานห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช ดังตารางที่ 3-2 พบว่า อาคารเกษม จาติกวณิช มีจำนวนชั่วโมงการใช้งานของห้องเรียนโดยเฉลี่ย 829 ชั่วโมงต่อ 1 ปีการศึกษา การประเมินความคุ้มค่าของโครงการจะประเมินความคุ้มค่าในระยะเวลา 10 ปี (อายุการใช้งานของหลอดไฟ LED, Philips) เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนหากมีการใช้งานหลอดไฟ LED ในอนาคต สามารถพิจารณาตามขั้นตอน ดังภาพที่ 3-16




ภาพที่ 3-16 ลำดับขั้นตอนการพิจาณาความคุ้มค่าของโครงการใช้หลอดไฟ LED

จากภาพที่ 3-16 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ กำหนดให้อายุโครงการทั้งหมด 10 ปีและใช้หลักการทางเศรฐษศาสตร์วิเคราะห์และประเมินโครงการ

6.3.1 การประเมินมูลค่าสุทธิ การประเมินมูลค่าสุทธิ คือ การประเมินมูลค่าสุทธิของโครงการจากสมการที่ 2.12 กำหนดค่าตัวแปร โดยกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

6.3.1.1 เงินลงทุน คือราคารวมของจำนวนหลอดไฟ LED ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX และระยะการบำรุงรักษาหลอดไฟ LED ในระยะเวลา 10 ปี

6.3.1.2 ผลตอบแทน คือความแตกต่างของราคาค่าบริการไฟฟ้าในแต่ละปี โดยอ้างอิงจำนวนชั่วโมงการใช้งานจากตารางการใช้ห้องเรียน อาคารเกษม จาติกวณิช ปีการศึกษา 2559

6.3.1.3 อัตราคิดลด คือ ค่าเสียโอกาสของเงินทุนจำนวน 3 เปอร์เซ็นต์ (อ้างอิงจากอัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล, วันที่ 8 พฤกษาคม 2560)

6.3.2 การประเมินอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน การประเมินอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน คือ อัตราผลตอบแทนของโครงการโดยของค่าบริการไฟฟ้าเปิดจากผลรวมของจำนวนค่าบริการไฟฟ้าที่ลดลงในระยะเวลา 10 ปี เปรียบเทียบกับมูลค่าการลงทุนและการบำรุงรักษาของโครงการ

6.3.3 การประเมินอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ อัตราผลตอบแทนลงทุนภายในโดยพิจารณาค่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการจะต้องมีมูลค่ามากกว่าอัตราคิดลด

6.3.4 การประเมินระยะเวลาคืนทุน การประเมินระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ ด้วยการพิจารณาระยะเวลาในการคืนเงินทุนของโครงการ

เมื่อศึกษาปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยแล้ว จะสามารถประเมินความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ของโครงการค่าความสว่างที่เหมาะสมด้วยหลอดไฟ LED ได้

## การกำหนดชนิดและคุณสมบัติของหลอดไฟ LED

จากงานวิจัยสำรวจความพึงพอใจในของการใช้งานหลอดไฟ LED (นริศรา คุ้มรักษา, 2558) พบว่าหลอดไฟที่ผู้ใช้งานมีพฤติกรรมการใช้งานมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง คือ หลอดไฟ LED ของบริษัท Philips อีกทั้งหลอดไฟ Philips เข้าร่วมโครงการอุตสาหกรรมไทย ลดใช้พลังงาน (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานนโยบายพลังงานและแผนพลังงาน (สนพ.), 2555) ร่วมกับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) กระทรวงอุตสาหกรรม และ

สำนักงานนโยบายพลังงานและแผนพลังงาน (สนพ.) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ LED ของบริษัท Philips ในการวิจัย โดยเลือกหลอดไฟเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ชนิด ดังนี้

**1. หลอดไฟ LED ชนิด Replacement**

ผู้วิจัยได้เลือกหลอดไฟ Philips รุ่น Eco fit LED Tube ขนาด 1,200 มม. และ 600 มม. ซึ่งหลอดไฟ Philips รุ่น Ecofit LED Tube สามารถติดตั้งแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดเดิมได้ทันที โดยหลอดไฟ Philips รุ่น Ecofit LED Tube สามารถคุณสมบัติดังนี้

1.1 ลักษณะด้านโครงสร้างและการติดตั้งของหลอดไฟ LED ชนิด Replacement

1.1.1 สามารถติดตั้งแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เดิมชนิดแบบ G13 ได้ทันที

1.1.2 สามารถประหยัดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 64 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับหลอดไฟที่ต่อใช้งานทั้งระบบ

1.1.3 ไม่มีสารปรอท

1.1.4 ลักษณะของแสงมีความนิ่มนวล

1.2 ลักษณะคุณสมบัติเกี่ยวกับแสงสว่างของหลอดไฟ LED ชนิด Replacement

หลอดไฟ Philips รุ่น Ecofit LED Tube คุณสมบัติคุณสมบัติเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า ความสว่าง อายุการใช้งานและชนิดของแสง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-6 คุณสมบัติพื้นฐานของหลอดไฟ Philips รุ่น Eco fit LED Tube Tube

| คุณสมบัติของหลอดไฟ LED รุ่น Ecofit LED Tube | กำลังไฟฟ้า (วัตต์) | ความสว่าง (ลูเมน) | อายุการใช้งาน (ชั่วโมง) | ชนิดของแสงและสี |
|---|---|---|---|---|
| หลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. | 16 | 1,600 | 15,000 | Day light |
| หลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. | 8 | 800 | 15,000 | Day light |

จากตารางที่ 3-6 แสดงคุณสมบัติของหลอดไฟ Philips รุ่น หลอดไฟ LED รุ่น Ecofit LED Tube ขนาด 1,200 มม. และขนาด 600 มม. มีอายุการใช้งาน 15,000 ชั่วโมง เหมือนกัน แต่หลอดไฟ LED รุ่น Ecofit LED Tube ขนาด 1,200 มม. ใช้กำลังไฟฟ้า 16 วัตต์และหลอดไฟ LED รุ่น Ecofit LED Tube ขนาด 600 มม. ใช้กำลังไฟฟ้า 8 วัตต์

**2. หลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จรูป**

ผู้วิจัยได้เลือกหลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จรูป เพื่อใช้ในการทดลองจำนวน 2 ชนิด ดังนี้

2.1 หลอดไฟ Philips รุ่น Core range Batten G2

หลอดไฟ LED สำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพความสว่างสูง โดยสามารถติดตั้งกับพื้นที่ที่ต้องการใช้งานได้ทันที ซึ่งหลอดไฟชนิดนี้ไม่สามารถใช้ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และโคมไฟแบบเดิมได้ การใช้งานจะต้องดำเนินติดตั้งใหม่เท่านั้น

2.1.1 คุณสมบัติด้านโครงสร้างและการติดตั้งของหลอดไฟ Philips รุ่น Core range Batten G2

หลอดไฟ Philips รุ่น Core range Batten G2 มีคุณสมบัติด้านโครงสร้างและการติดตั้ง ดังต่อไปนี้

2.1.1.1 สามารถประหยัดไฟมากกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ต้องต่อใช้งานร่วมกับบัลลาสส์และสตาร์ทเตอร์

2.1.1.2 ไม่มีสารปรอท

2.1.1.3 ลักษณะของแสงมีความนิ่มนวล

2.1.1.4 สามารถติดตั้งในมุมเอียงเพื่อจัดไฟเข้าหาผนังได้

2.1.1.5 สามารถติดตั้งเชื่อมแบบ Trunk ได้สูงสุด 24 ชิ้น

2.1.2 ลักษณะคุณสมบัติเกี่ยวกับแสงสว่างของหลอดไฟ Philips รุ่น Core range Batten G2

หลอดไฟ LED รุ่น Core range Batten G2 คุณสมบัติเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า ความสว่าง อายุการใช้งานและชนิดของแสง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-7 คุณสมบัติพื้นฐานของหลอดไฟ Philips รุ่น Core range Batten G2

| คุณสมบัติของหลอดไฟ LED รุ่น Core range Batten G2 | กำลังไฟฟ้า (วัตต์) | ความสว่าง (ลูเมน) | อายุการใช้งาน (ชั่วโมง) | ชนิดของแสงและสี |
|---|---|---|---|---|
| หลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. | 26 | 3,300 | 50,000 | Day light |

จากตารางที่ 3-7 แสดงคุณสมบัติของหลอดไฟ Philips รุ่น หลอดไฟ LED รุ่น Core range Batten G2 ขนาด 1,200 มม. มีอายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง และหลอดไฟ LED รุ่น Core range Batten G2 ขนาด 1,200 มม. ใช้กำลังไฟฟ้า 26 วัตต์

2.2 หลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED Batten

หลอดไฟ LED สำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพความสว่างปกติ โดยสามารถติดตั้งกับพื้นที่ที่ต้องการใช้งานได้ทันที ซึ่งหลอดไฟชนิดนี้ไม่สามารถใช้ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และโคมไฟแบบเดิมได้ การใช้งานจะต้องดำเนินติดตั้งใหม่เท่านั้น

2.2.1 คุณสมบัติดังนี้คุณสมบัติด้านโครงสร้างและการติดตั้งหลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED Batten

หลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED Batten มีคุณสมบัติด้านโครงสร้างและการติดตั้ง ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 สามารถประหยัดไฟมากกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับหลอดไฟที่ต่อใช้งานทั้งระบบ

2.2.1.2 ไม่มีสารปรอท

2.2.1.3 ลักษณะของแสงมีความนิ่มนวล

2.2.2 คุณสมบัติเกี่ยวกับแสงสว่างของหลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED Batten

หลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED Batten คุณสมบัติด้านไฟฟ้าและแสงสว่าง ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-8 คุณสมบัติพื้นฐานของหลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED Batten

| คุณสมบัติของหลอดไฟ LED รุ่น Smart bright LED Batten | กำลังไฟฟ้า (วัตต์) | ความสว่าง (ลูเมน) | อายุการใช้งาน (ชั่วโมง) | ชนิดของแสงและสี |
|---|---|---|---|---|
| หลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. | 21 | 2,000 | 25,000 | Day light |

จากตารางที่ 3-8 แสดงคุณสมบัติของหลอดไฟ Philips รุ่น หลอดไฟ LED รุ่น Smart bright LED Batten ขนาด 1,200 มม. มีอายุการใช้งาน 25,000 ชั่วโมง และหลอดไฟ LED รุ่น Smart bright LED Batten ขนาด 1,200 มม. ใช้กำลังไฟฟ้า 21 วัตต์

## การกำหนดเงื่อนไขงานวิจัย

การกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบในงานนิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยพิจารณาเงื่อนไขความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ทดแทนในห้องเรียนภายในอาคารเกษมจาติกวณิช โดยกำหนดการทดลองออกเป็น 4 เงื่อนไข คือ

เงื่อนไขการทดลองที่ 1 การใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตามจำนวนเดิมที่ติดตั้งภายในอาคาร

เงื่อนไขการทดลองที่ 2 การใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยลดจำนวนหลอดไฟ LED จำนวนโคมไฟละ 1 หลอด

เงื่อนไขการทดลองที่ 3 การใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพสูงทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ออกแบบตามข้อกำหนดความสว่างของกระทรวงแรงงาน

เงื่อนไขการทดลองที่ 4 การใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพปกติทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ออกแบบตามข้อกำหนดความสว่างของกระทรวงแรงงาน

รายละเอียดของแต่ละเงื่อนไข ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 รายละเอียดของแต่ละเงื่อนไขการทดสอบ

| เงื่อนไขการทดลองที่ | รายละเอียด |
|---|---|
| 1 | การใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยใช้หลอดไฟจำนวนเท่าเดิมและใช้โคมไฟชนิดเดิมสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED |
| 2 | การใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยลดจำนวนหลอดไฟโคมไฟละ 1 หลอด และใช้โคมไฟชนิดเดิมสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED |
| 3 | การใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพความสว่างสูงทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ไม่กำหนดจำนวนการใช้หลอดไฟ LED และออกแบบตามข้อกำหนดความสว่างของกระทรวงแรงงานตามลักษณะการใช้ห้องเรียนภายในอาคาร |
| 4 | การใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพความสว่างแบบปกติทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ไม่กำหนดการใช้จำนวนหลอดไฟ LED และออกแบบตามข้อกำหนดความสว่างของกระทรวงแรงงานตามลักษณะการใช้ห้องเรียนภายในอาคาร |

จากตารางที่ 3-9 ผู้วิจัยมีแนวคิดการวิจัยใช้หลอดไฟ LED ทั้งหมด 3 ชนิด คือ หลอดไฟ LED ชนิด Replacement การใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพสูง และการใช้

หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพปกติ เพื่อทดลองหาหลอดไฟ LED ที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุดเพื่อทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเงื่อนไขการทดสอบทั้ง 4 เงื่อนไข มีแนวทางการทดลองที่ต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ผู้วิจัยมีแนวคิดในการใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยใช้หลอดไฟจำนวนเท่าเดิมและใช้โคมไฟชนิดเดิมสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED จากนั้นจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX เพื่อพิจารณาค่าความสว่าง จำนวนหลอดไฟกำลังไฟฟ้าและค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยกรณีที่ 1 สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

1. การติดตั้งหลอดไฟ LED สามารถติดตั้งได้ง่ายเนื่องจากเป็นหลอดไฟชนิดที่ออกแบบเพื่อสำหรับเปลี่ยนทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทันที

2. ระยะเวลาในการติดตั้งหลอดไฟ LED มีระยะเวลาสั้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องรื้อหรือเปลี่ยนโคมไฟชนิดเก่าออกจึงไม่เป็นการเสียเวลา

3. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการรื้อโคมไฟและค่าออกแบบใหม่ได้

4. สามารถกำหนดจำนวนหลอดไฟ LED ได้ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแบบเต็มจำนวนจึงสามารถอ้างอิงผลการสำรวจจากจำนวนหลอดไฟได้โดยตรง

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถกำหนดค่าความสว่างโดยเฉลี่ยของห้องได้ เนื่องจากโคมไฟที่ใช้ในการติดตั้งได้ถูกกำหนดระยะห่างตามการออกแบบความสว่างด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

2. คุณสมบัติของหลอดไฟ LED แบบทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์มีคุณสมบัติที่น้อยกว่าหลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จ

เงื่อนไขการทดสอบที่ 2 ผู้วิจัยมีแนวคิดในการใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยลดจำนวนหลอดไฟโคมไฟละ 1 หลอด จากนั้นจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX เพื่อพิจารณาค่าความสว่าง จำนวนหลอดไฟกำลังไฟฟ้าและค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยกรณีที่ 2 สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

1. การติดตั้งหลอดไฟ LED สามารถติดตั้งได้ง่ายเนื่องจากเป็นหลอดไฟชนิดที่ออกแบบเพื่อสำหรับเปลี่ยนทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทันที

2. ระยะเวลาในการติดตั้งหลอดไฟ LED มีระยะเวลาสั้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องรื้อหรือเปลี่ยนโคมไฟชนิดเก่าออกจึงไม่เป็นการเสียเวลา

3. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการรื้อโคมไฟและค่าออกแบบใหม่ได้

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถกำหนดค่าความสว่างโดยเฉลี่ยของห้องได้ เนื่องจากโคมไฟที่ใช้ในการติดตั้งได้ถูกกำหนดระยะห่างตามการออกแบบความสว่างด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

2. คุณสมบัติของหลอดไฟ LED แบบทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์มีคุณสมบัติที่น้อยกว่าหลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จ

3. การกำหนดจำนวนหลอดไฟ LED มีความยุ่งยากมากขึ้นเนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแบบไม่เต็มจำนวน จึงต้องนำผลการสำรวจจำนวนหลอดไฟมาคำนวณเพื่อหาหลอดไฟในแต่ละห้องเรียน

เงื่อนไขการทดลองที่ 3 ผู้วิจัยมีแนวคิดการวิจัยด้วยการใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพสูง โดยไม่จำกัดจำนวนการใช้หลอดไฟ LED แต่จะออกแบบให้แต่ละห้องเรียนมีค่าความสว่างตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน ดังนั้นเงื่อนไขการทดลองที่ 3 จึงสรุปข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

1. สามารถกำหนดค่าความสว่างตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงานได้

2. สามารถใช้งานหลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จทำให้สามารถติดตั้งได้ง่าย

3. สามารถใช้งานหลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จ ซึ่งมีประสิทธิภาพความสว่างสูงมากกว่าหลอดไฟ LED แบบ Replecement

ข้อเสีย

1. หลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จมีราคาแพงมากกว่าหลอดไฟ LED แบบทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

2. มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง เนื่องจากต้องมีรื้อโคมไฟแบบเก่าและติดตั้งแผ่นฝ้าใหม่

เงื่อนไขการทดลองที่ 4 ผู้วิจัยมีแนวคิดการวิจัยด้วยการใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพปกติ โดยไม่จำกัดจำนวนการใช้หลอดไฟ LED แต่จะออกแบบให้แต่ละห้องเรียนมีค่าความสว่างตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน ดังนั้นเงื่อนไขการทดลองที่ 4 จึงสรุปข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

1. สามารถกำหนดค่าความสว่างได้ตามมาตรฐานของกระทรวงแรงงานได้

2. สามารถใช้งานหลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จทำให้สามารถติดตั้งได้ง่าย

ข้อเสีย

1. หลอดไฟ LED แบบชุดสำเร็จมีราคาแพงมากกว่าหลอดไฟ LED แบบทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

2. มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง เนื่องจากต้องมีรื้อโคมไฟแบบเก่าและติดตั้งแผ่นฝ้าใหม่

จากรายละเอียดการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไขการกำหนดเงื่อนไขงานวิจัยทั้ง 3 กรณี และข้อดีข้อเสียของแต่ละเงื่อนไขได้แสดงในตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 สรุปข้อดีและข้อเสียของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

| เงื่อนไข | ข้อดี | | | | ข้อเสีย | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ไม่ต้องปรับปรุงอาคาร | ติดตั้งง่าย | กำหนดความสว่างได้ | ปรับปรุงอาคาร | กำหนดความสว่างไม่ได้ | หลอดไฟ LED มีราคาแพง |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 1 การใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตามจำนวนเดิมที่ติดตั้งภายในอาคาร | ✓ | ✓ | | | ✓ | |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 2 การใช้หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยลดจำนวนหลอดไฟ LED จำนวนโคมไฟละ 1 หลอด | ✓ | ✓ | | | ✓ | |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 3 การใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพสูงทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ออกแบบตามข้อกำหนดความสว่างของกระทรวงแรงงาน | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 4 การใช้หลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปและมีประสิทธิภาพปกติทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ออกแบบตามข้อกำหนดความสว่างของกระทรวงแรงงาน | | ✓ | ✓ | ✓ | | |

จากตารางที่ 3-10 พบว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 1 และเงื่อนไขการทดลองที่ 2 มีข้อดีร่วมกัน คือ สามารถดำเนินการติดตั้งได้ง่าย เนื่องจากเป็นหลอดไฟ LED ชนิดที่สามารถใช้ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทันที แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของ เงื่อนไขการทดลองที่ 1 และเงื่อนไขการทดลองที่ 2 คือ ไม่สามารถกำหนดค่าความสว่างได้

เงื่อนไขการทดลองที่ 3 และเงื่อนไขการทดลองที่ 4 มีข้อดีร่วมกัน คือ หลอดไฟ LED สามารถติดตั้งได้ง่ายเนื่องจากเป็นชุดหลอดไฟ LED แบบสำเร็จรูป อีกทั้งยังสามารถค่าความสว่างได้ตามมาตรฐานของกระทรวงแรงงาน แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียคือ จะต้องมีการปรับปรุงตัวอาคารก่อนจึงจะสามารถติดตั้งหลอดไฟ LED ได้

จากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไขนี้ ผู้ทำวิจัยกำหนดตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX โดยพิจารณาตามเงื่อนไขและขอบเขตงานวิจัยเพื่อศึกษาและตัวแปรที่จำเป็นต้องควบคุมในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-11 การกำหนดตัวแปรชนิดต่าง ๆ ในการออกแบบการทดลอง

| เงื่อนไข | ตัวแปรต้น | ตัวแปรตาม | ตัวแปรควบคุม |
|---|---|---|---|
| เงื่อนไขที่ 1<br>เงื่อนไขที่ 2 | จำนวนหลอดไฟที่ทำการติดตั้งทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ยของแต่ละห้องเรียน<br>การใช้กำลังไฟฟ้า<br>ค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | การกำหนดความสูงของการวัดโดยวัดค่าความสว่างสูงจากพื้น 0.85 เมตร<br>หลอดไฟ Philips รุ่น EcoFit LED Tube ขนาด 16 วัตต์<br>หลอดไฟ Philips รุ่น EcoFit LED Tube ขนาด 8 วัตต์<br>ขนาดของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช<br>ตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟ |

ตารางที่ 3-11 (ต่อ)

| เงื่อนไข | ตัวแปรต้น | ตัวแปรตาม | ตัวแปรควบคุม |
|---|---|---|---|
| เงื่อนไขที่ 3 | ค่าความสว่าง | จำนวนของหลอดไฟ | การกำหนดความสูงของการวัดโดยวัดค่าความสว่างสูงจากพื้น 0.85 เมตร |
| | | การใช้กำลังไฟฟ้า | หลอดไฟ Philips รุ่น Core range Batten G2 ขนาด 1,200 มม. |
| | | ค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | ขนาดของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช |
| เงื่อนไขที่ 4 | ค่าความสว่าง | จำนวนของหลอดไฟ | การกำหนดความสูงของการวัดโดยวัดค่าความสว่างสูงจากพื้น 0.85 เมตร |
| | | การใช้กำลังไฟฟ้า | หลอดไฟ Philips รุ่น Smart bright LED batten ขนาด 1,200 มม. |
| | | ค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | ขนาดของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช |

จากตารางที่ 3-11 เงื่อนไขการทดลองที่ 1 และเงื่อนไขการทดลองที่ 2 กำหนดตัวแปรต้น คือ จำนวนหลอดไฟ ตัวแปรตาม คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากจำนวนหลอดไฟ คือ ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย กำลังไฟฟ้าและค่าบริการใช้ไฟฟ้า ตัวแปรควบคุม คือ ระยะความสูงของการวัด ชนิดของและคุณสมบัติความสว่างหลอดไฟ ขนาดห้องเรียนและระยะห่างของโคมไฟ

เงื่อนไขการทดลองที่ 3 และเงื่อนไขการทดลองที่ 4 กำหนดตัวแปรต้น คือ ค่าความสว่าง ตัวแปรตาม คือ ค่าความสว่างตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน กำลังไฟฟ้าและค่าบริการใช้ไฟฟ้า และกำหนดตัวแปรควบคุม คือ ระยะความสูงของการวัด ชนิดและคุณสมบัติของหลอดไฟ LED และขนาดห้องเรียน

## การตั้งค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในโปรแกรม DIA LUX

ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรหรือปัจจัยต่าง ๆ และวิธีการการตั้งค่าภายในของโปรแกรม DIA LUX ซึ่งการกำหนดตัวแปรหรือปัจจัยจะช่วยให้ผู้วิจัยทราบถึงผลการวิจัยอย่างถูกต้อง โดยการกำหนดเงื่อนไขการทดลองและการตั้งค่าโปรแกรม DIA LUX มีดังต่อไปนี้

1. กำหนดสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนของกำแพง พื้น และเพดาน ภายในโปรแกรม DIA LUX ดังต่อไปนี้

1.1 กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของกำแพงเท่ากับ 70 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นเท่ากับ 50 และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของผนังเท่ากับ 20

1.2 กำหนดระยะการวัดค่าความสว่างที่ความสูง 0.85 เมตร (อ้างอิงความสูงของโต๊ะโดยเฉลี่ย)

1.3 กำหนดสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษา (Maintanence factor) เท่ากับ 0.85

2. กำหนดหลอดไฟ LED ที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไข

กำหนดหลอดไฟ LED ที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

2.1 เงื่อนไขที่ 1 และเงื่อนไขที่ 2 ใช้หลอดไฟ LED ของบริษัท Phillips รุ่น Ecofit LED Tube ขนาด 1,200 มม. และขนาด 600 มม.

2.2 กำหนดหลอดไฟ LED ที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไขที่ 3 โดยจะใช้หลอดไฟ LED ของบริษัท Philips รุ่น Core range Batten G2 ขนาด 1,200 มม.

2.3 กำหนดหลอดไฟ LED ที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไขที่ 4 โดยจะใช้หลอดไฟ LED ของบริษัท Philips รุ่น Smart bright LED batten ขนาด 1,200 มม.

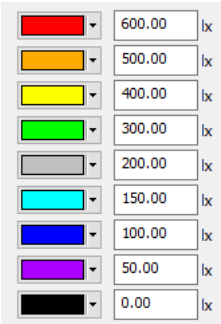
3. จำลองค่าความสว่างห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช จำนวนทั้งหมด 27 ห้อง จากทั้งหมด 33 ห้องเรียน เนื่องจากมีห้องเรียนจำนวน 6 ห้อง อยู่ระหว่างการปรับปรุง ได้แก่ ห้อง M414 ห้องM609 ห้องM610 ห้องM5001 ห้องM5002 และห้องM708 โดยอ้างอิงชั่วโมงการใช้ห้องเรียนอาคารเกษม จาติกวณิช ปีการศึกษา 2559

# บทที่ 4
# ผลการดำเนินงาน

จากรายละเอียดการสำรวจชนิด ปริมาณการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และขนาดของห้องเรียนภายในอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้วิจัยจึงจำลองความสว่างด้วยหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองทั้งหมด 4 เงื่อนไข ด้วยโปรแกรมจำลองความสว่าง DIA LUX ได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

## ผลการทดลองการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX

ผู้วิจัยจำลองความสว่างโดยใช้โปรแกรม DIA LUX โดยกำหนดให้แสดงผลการจำลองความสว่างด้วยภาพ 3 มิติ โดยกำหนดแถบสีที่แสดงในภาพ 3 มิติแทนค่าความสว่างในแต่ละช่วงเพื่อความสะดวกในการพิจารณาความสว่างที่เกิดจากการทดลองตามเงื่อนไขต่าง ๆ และพิจารณาค่าความสว่างโดยเฉลี่ยจากโปรแกรม DIA LUX เพื่อพิจารณาความสว่างที่เหมาะสม

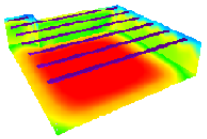
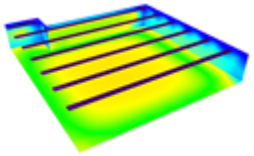
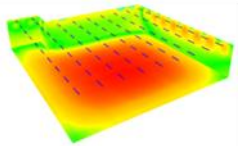
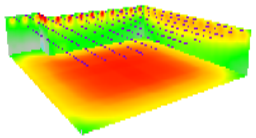



ภาพที่ 4-1 กำหนดแถบสีแทนค่าความสว่างของผลจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX

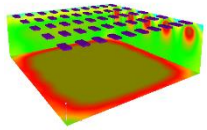
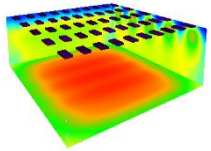
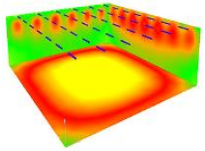
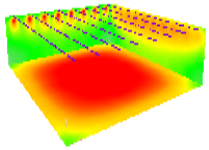
จากภาพที่ 4-1 แสดงแถบสีแทนค่าความสว่างของผลการจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX กำหนดให้ความสว่างตั้งแต่ 0 ถึง 49 ลักซ์ แทนด้วยสีดำ กำหนดความสว่างในตั้งแต่ 300 ถึง 400 ลักซ์ แทนด้วยสีเขียวและให้สีแดงแทนความสว่างตั้งแต่ 600 ลักซ์ ขึ้นไป

จากการพิจารณาและจำลองตามเงื่อนไขต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม DIA LUX สามารถสรุปผลการทดลองได้ดัง ตารางที่ 4-1

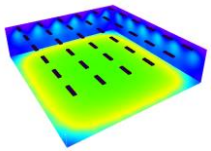
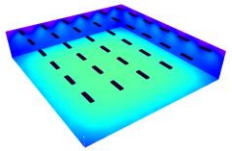
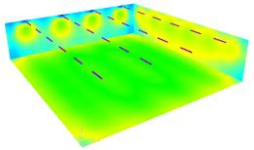
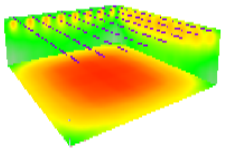
ตารางที่ 4-1 ผลการจำลองความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX ของห้องเรียนต่าง ๆ

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ห้องสมุด | 1 |  | 444 | - | 558.00 | 25,659.65 |
| | 2 |  | 296 | - | 372.00 | 17,106.43 |
| | 3 |  | 76 | - | 518.00 | 7,137.13 |
| | 4 |  | 150 | - | 530.00 | 12,743.14 |

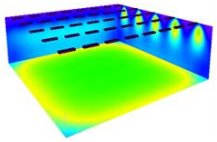
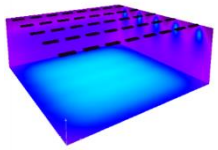
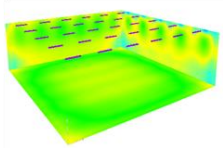
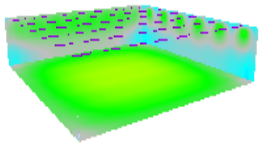
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M4001 | 1 |  | 156 | - | 630.00 | 264.58 |
| | 2 |  | 80 | - | 416.00 | 135.68 |
| | 3 |  | 42 | - | 556.00 | 115.75 |
| | 4 |  | 80 | - | 581.00 | 178.08 |

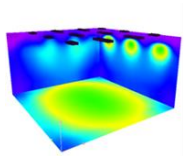
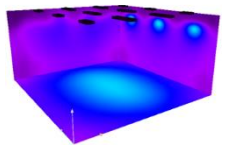
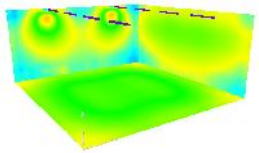
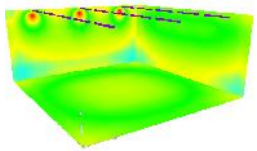
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M4002 | 1 |  | 72 | - | 251.00 | 1240.06 |
| | 2 |  | 36 | - | 125.00 | 620.03 |
| | 3 |  | 24 | - | 325.00 | 863.62 |
| | 4 |  | 72 | - | 529.00 | 2092.61 |

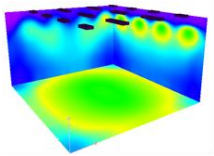
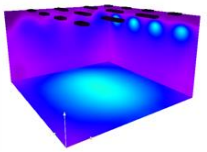
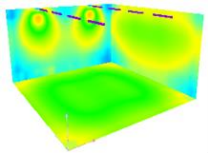
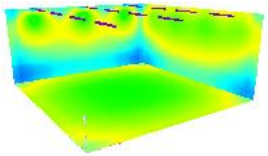
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M4003 | 1 |  | 80 | - | 264.00 | 672.00 |
| | 2 |  | 36 | - | 125.00 | 336.00 |
| | 3 |  | 30 | - | 347.00 | 409.50 |
| | 4 |  | 48 | - | 335.00 | 529.20 |

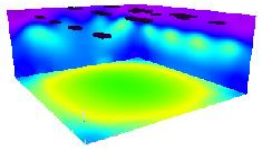
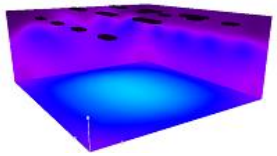
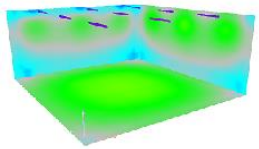
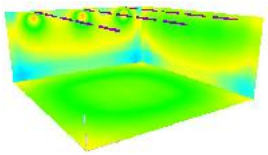
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M402 | 1 |  | 12 | 12 | 228.00 | 409.54 |
| | 2 |  | 8 | 8 | 177.00 | 204.77 |
| | 3 |  | 8 | - | 321.00 | 295.78 |
| | 4 |  | 15 | - | 357.00 | 447.93 |

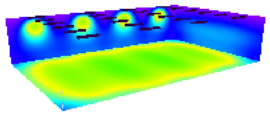
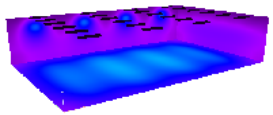
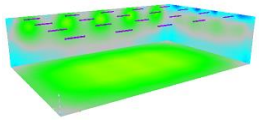
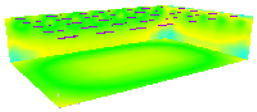
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M431 | 1 |  | 12 | 16 | 337.00 | 371.81 |
| | 2 |  | 6 | 8 | 131.00 | 185.90 |
| | 3 |  | 8 | - | 321.00 | 268.53 |
| | 4 |  | 12 | - | 286.00 | 325.33 |

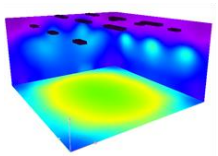
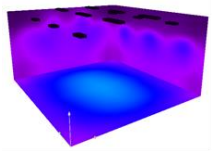
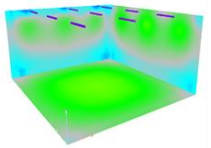
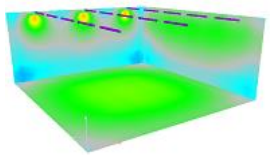
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M502 | 1 |  | 12 | 16 | 245.00 | 348.48 |
| | 2 |  | 6 | 8 | 122.00 | 174.24 |
| | 3 |  | 9 | - | 325.00 | 254.83 |
| | 4 |  | 15 | - | 325.00 | 343.04 |

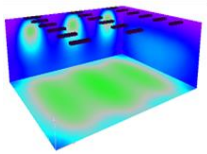
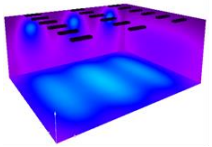
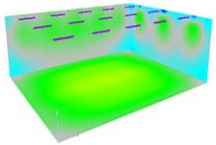
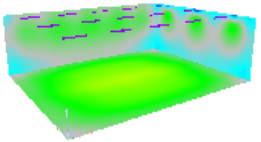
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M505 | 1 |  | 48 | - | 232.00 | 444.67 |
| | 2 |  | 24 | - | 116.00 | 222.33 |
| | 3 |  | 16 | - | 333.00 | 240.86 |
| | 4 |  | 35 | - | 350.00 | 425.57 |

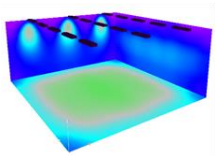
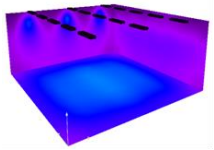
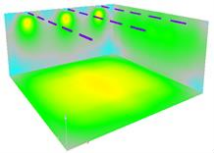
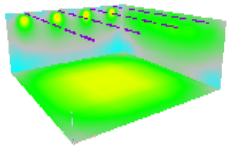
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M521 | 1 |  | 12 | 12 | 219.00 | 244.51 |
| | 2 |  | 6 | 6 | 89.00 | 122.26 |
| | 3 |  | 9 | - | 321.00 | 198.67 |
| | 4 |  | 15 | - | 324.00 | 267.44 |

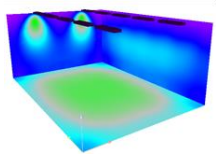
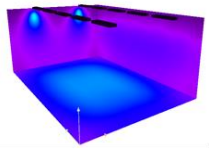
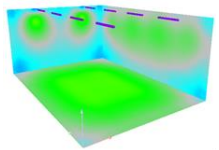
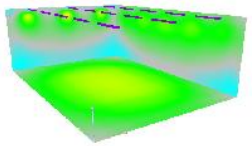
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M6001 | 1 |  | 36 | - | 273.00 | 744.77 |
| | 2 |  | 18 | - | 118.00 | 372.38 |
| | 3 |  | 15 | - | 339.00 | 504.27 |
| | 4 |  | 24 | - | 325.00 | 651.67 |

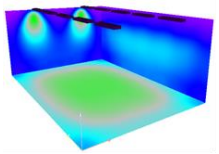
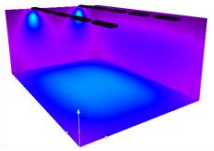
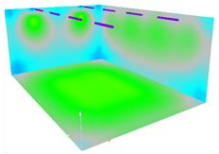
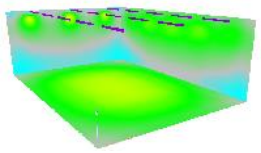
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M6002 | 1 |  | 30 | - | 223.00 | 497.28 |
| | 2 |  | 15 | - | 112.00 | 248.64 |
| | 3 |  | 15 | - | 328.00 | 404.04 |
| | 4 |  | 24 | - | 376.00 | 522.14 |

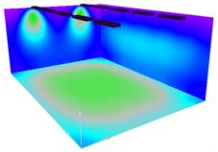
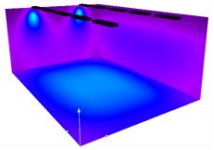
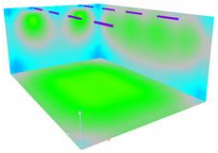
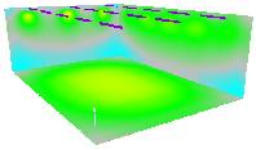
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M603 | 1 |  | 16 | - | 239.00 | 84.48 |
| | 2 |  | 8 | - | 116.00 | 42.24 |
| | 3 |  | 8 | - | 323.00 | 68.64 |
| | 4 |  | 15 | - | 359.00 | 103.95 |

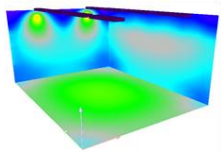
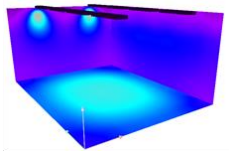
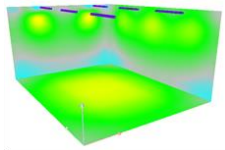
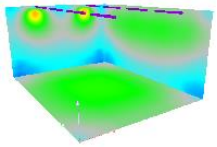
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M604 | 1 |  | 16 | - | 239.00 | 46.08 |
| | 2 |  | 8 | - | 116.00 | 23.04 |
| | 3 |  | 8 | - | 323.00 | 37.44 |
| | 4 |  | 15 | - | 359.00 | 56.70 |

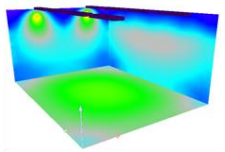
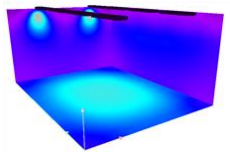
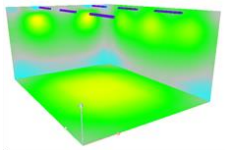
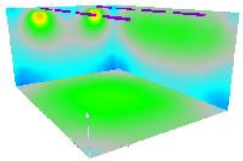
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M605 | 1 |  | 16 | - | 239.00 | 38.40 |
| | 2 |  | 8 | - | 116.00 | 19.20 |
| | 3 |  | 8 | - | 323.00 | 31.20 |
| | 4 |  | 15 | - | 359.00 | 47.25 |

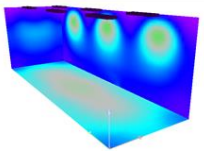
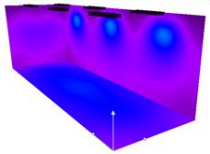
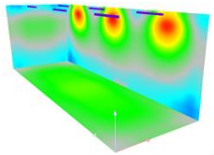
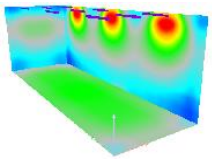
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M607 | 1 |  | 8 | - | 317.00 | 30.72 |
| | 2 |  | 4 | - | 159.00 | 15.36 |
| | 3 |  | 4 | - | 398.00 | 37.44 |
| | 4 |  | 8 | - | 319.00 | 40.32 |

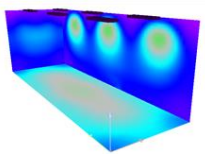
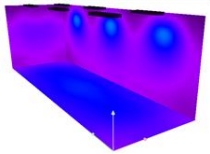
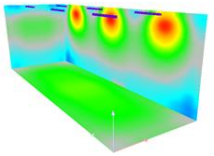
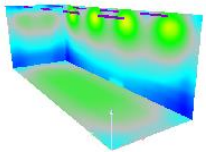
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M608 | 1 |  | 8 | - | 317.00 | 28.80 |
| | 2 |  | 4 | - | 159.00 | 14.40 |
| | 3 |  | 4 | - | 398.00 | 35.10 |
| | 4 |  | 8 | - | 319.00 | 37.80 |

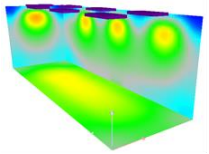
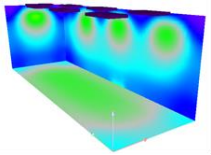
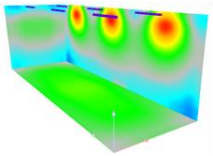
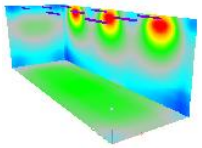
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M704 | 1 |  | 12 | - | 217.00 | 46.08 |
| | 2 |  | 6 | - | 88.00 | 23.04 |
| | 3 |  | 6 | - | 352.00 | 37.44 |
| | 4 |  | 9 | - | 317.00 | 45.36 |

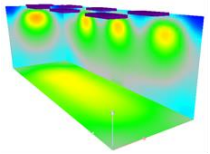
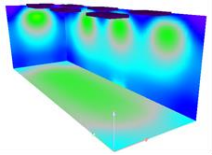
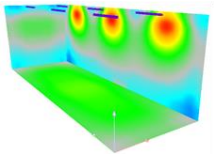
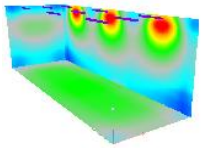
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M705 | 1 |  | 12 | - | 217.00 | 11.52 |
| | 2 |  | 6 | - | 88.00 | 5.76 |
| | 3 |  | 6 | - | 352.00 | 9.36 |
| | 4 |  | 8 | - | 282.00 | 10.08 |

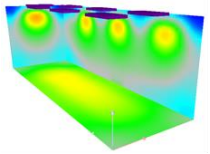
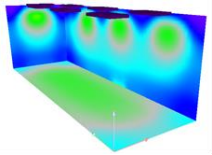
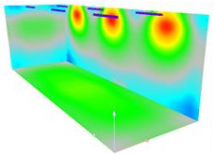
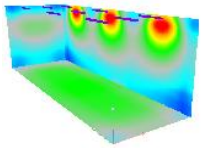
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M710 | 1 |  | 21 | - | 415.00 | 391.44 |
| | 2 |  | 14 | - | 276.00 | 260.96 |
| | 3 |  | 14 | - | 352.00 | 181.74 |
| | 4 |  | 6 | - | 317.00 | 146.79 |

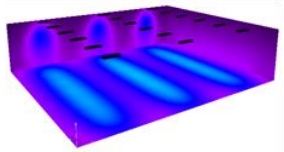
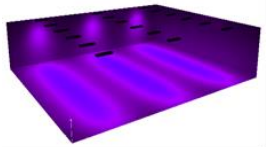
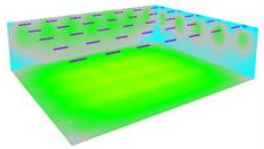
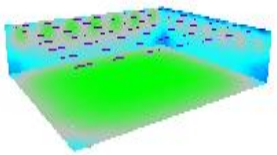
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M711 | 1 |  | 21 | - | 415.00 | 231.17 |
| | 2 |  | 14 | - | 276.00 | 154.11 |
| | 3 |  | 14 | - | 352.00 | 107.33 |
| | 4 |  | 6 | - | 317.00 | 86.69 |

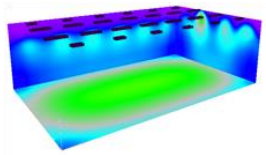
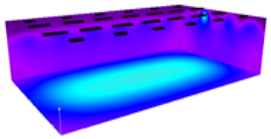
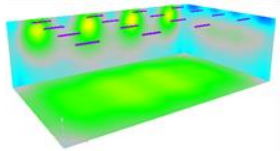
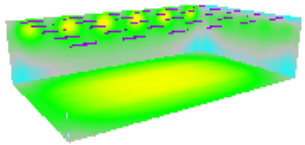
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M712 | 1 |  | 21 | - | 415.00 | 255.02 |
| | 2 |  | 14 | - | 276.00 | 170.01 |
| | 3 |  | 14 | - | 352.00 | 118.40 |
| | 4 |  | 6 | - | 317.00 | 95.63 |

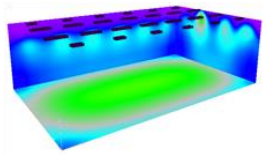
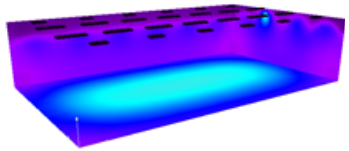
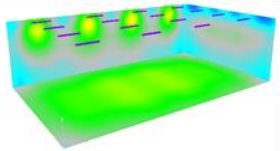
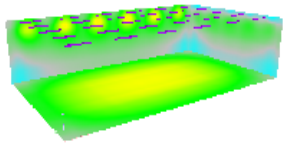
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M707 | 1 |  | 30 | - | 87.00 | 553.44 |
| | 2 |  | 15 | - | 50.00 | 276.72 |
| | 3 |  | 15 | - | 331.00 | 1,049.23 |
| | 4 |  | 49 | - | 280.00 | 1,186.44 |

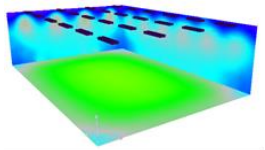
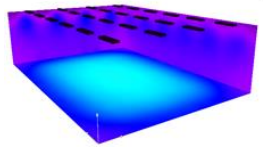
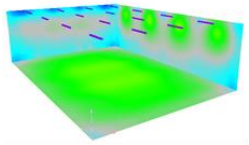
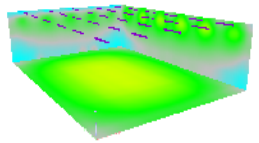
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M714 | 1 |  | 28 | 12 | 265.00 | 474.91 |
| | 2 |  | 14 | 6 | 133.00 | 237.45 |
| | 3 |  | 14 | | 332.00 | 363.18 |
| | 4 |  | 30 | | 372.00 | 549.99 |

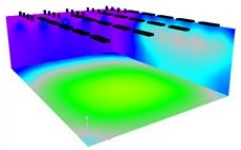
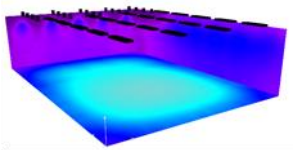
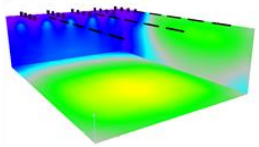
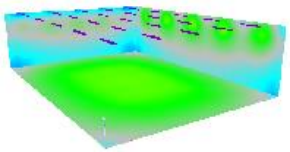
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M709 | 1 |  | 28 | 12 | 265.00 | 386.24 |
| | 2 |  | 15 | 6 | 133.00 | 204.48 |
| | 3 |  | 15 | - | 332.00 | 295.36 |
| | 4 |  | 30 | - | 372.00 | 447.30 |

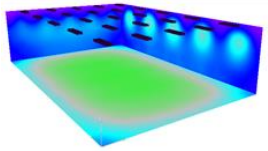
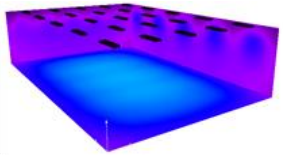
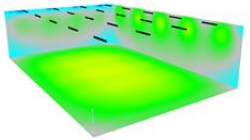
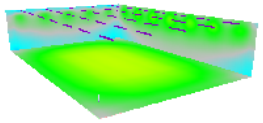
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M717 | 1 |  | 48 | - | 307.00 | 158.98 |
| | 2 |  | 24 | - | 137.00 | 79.49 |
| | 3 |  | 24 | - | 315.00 | 86.12 |
| | 4 |  | 30 | - | 354.00 | 130.41 |

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M800 | 1 |  | 40 | - | 271.00 | 855.40 |
| | 2 |  | 20 | - | 150.00 | 427.70 |
| | 3 |  | 20 | - | 317.00 | 549.90 |
| | 4 |  | 25 | - | 314.00 | 641.55 |

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| ห้องเรียน | เงื่อนไขการทดลองที่ | ผลการทดลอง | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 1,200 มม. (หลอด) | จำนวนหลอดไฟ LED ขนาด 600 มม. (หลอด) | ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์) | กำลังไฟฟ้า (หน่วย/ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M803 | 1 |  | 50 | - | 239.00 | 671.20 |
| | 2 |  | 25 | - | 120.00 | 335.60 |
| | 3 |  | 25 | - | 353.00 | 436.28 |
| | 4 |  | 35 | - | 348.00 | 616.65 |

จากตารางที่ 4-1 แสดงค่าความสว่างจากการใช้โปรแกรม DIA LUX จำลองความสว่างโดยใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึงเงื่อนไขการทดลองที่ 4 จำนวนห้องเรียนที่ใช้จำลอง 33 ห้อง สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ใช้หลอดไฟ LED รุ่น ECO Fit LED tube ขนาด 1,200 และ 600 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้จำนวนหลอดไฟ LED เท่ากับจำนวนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ พบว่าค่าความสว่างโดยเฉลี่ยของห้องเรียน 8 ห้อง มีค่าความสว่างมากกว่า 300 ลักซ์ คือ ห้องM4001, M431 M607 M608 M708 M711 M712 และ M717 และห้องเรียนจำนวน 19 ห้อง มีค่าความสว่างน้อยกว่า 300 ลักซ์ ซึ่งน้อยกว่าที่ข้อกำหนดของกระทรวงแรงงานได้กำหนดไว้ แต่เมื่อพิจารณาภาพจำลองความสว่างแล้ว พบว่า มีค่าความสว่างในบริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ของห้องเรียน แสดงผลการจำลองความเป็นด้วยสีเขียว ซึ่งหมายถึงว่า พื้นที่ส่วนนั้นมีค่าความสว่างที่ถูกต้องตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน

เงื่อนไขการทดลองที่ 2 เมื่อใช้หลอดไฟ LED รุ่น ECO Fit LED tube ขนาด 1,200 และ 800 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้หลอดไฟ LED น้อยกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ จำนวนหลอดไฟ 1 หลอดต่อ 1 โคมไฟ พบว่าค่าความสว่างโดยเฉลี่ยของห้องเรียนทุกห้องมีค่าความสว่างน้อยกว่า 300 ลักซ์ ซึ่งน้อยกว่าที่ข้อกำหนดของกระทรวงแรงงานกำหนด

เงื่อนไขการทดลองที่ 3 เมื่อใช้หลอดไฟ LED รุ่น Core range Batten G2 ขนาด 1,200 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นหลอดไฟ LED แบบสำเร็จรูปประสิทธิภาพสูง จำลองและกำหนดค่าความสว่างตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน พบว่าค่าความสว่างของทุกห้องเรียนถูกต้องตามข้อกำหนดและจำนวนการใช้หลอดไฟ LED ลดลงเหลือ 436 หลอด

เงื่อนไขการทดลองที่ 4 เมื่อใช้หลอดไฟ LED Smart bright LED Batten ขนาด 1,200 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นหลอดไฟ LED แบบสำเร็จรูปประสิทธิภาพ จำลองและกำหนดค่าความสว่างตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน พบว่าห้องเรียนทุกห้องเรียนมีค่าความสว่างเฉลี่ยตามเกณฑ์ค่าความสว่างและจำนวนการใช้หลอดไฟ LED ลดลงเหลือ 1,256 หลอด

## การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขต่าง ๆ

จากการคำนวณหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าตามหลักการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังสมการที่ 2-11 และอ้างอิงจำนวนหลอดไฟ LED จากตารางที่ 4-1 สามารถคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-2 หน่วยการใช้พลังงานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เทียบกับหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึง 4

| ชั้น | ห้องเรียน | พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (หน่วย/ปี) | การใช้พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟ LED (หน่วย/ปี) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | เงื่อนไขทดลองที่ 1 | เงื่อนไขทดลองที่ 2 | เงื่อนไขทดลองที่ 3 | เงื่อนไขทดลองที่ 4 |
| 2 | ห้องสมุด | 48,118.00 | 25,659.65 | 17,106.43 | 7,137.31 | 15,257.09 |
| 4 | M4001-1 | 760.66 | 264.58 | 135.68 | 1,15.752 | 213.70 |
| | M4002 | 9,931.58 | 1,240.06 | 620.03 | 863.62 | 1,550.08 |
| | M4003 | 1,197.00 | 672.00 | 336.00 | 409.50 | 604.80 |
| | M402 | 904.40 | 409.54 | 204.77 | 295.78 | 546.05 |
| | M431 | 821.08 | 371.81 | 185.90 | 268.53 | 495.74 |
| 5 | M502 | 692.60 | 348.48 | 174.24 | 254.87 | 418.18 |
| | M505 | 1,278.43 | 444.672 | 222.336 | 240.864 | 463.20 |
| | M521 | 539.96 | 244.512 | 122.256 | 198.666 | 326.02 |
| 6 | M6001 | 1,396.44 | 744.768 | 372.384 | 504.27 | 827.52 |
| | M6002 | 932.40 | 497.28 | 248.64 | 404.04 | 663.04 |
| | M603 | 151.80 | 84.48 | 42.24 | 68.64 | 126.72 |
| | M604 | 82.80 | 46.08 | 23.04 | 37.44 | 69.12 |
| | M605 | 69.00 | 38.40 | 19.20 | 31.20 | 57.60 |
| | M607 | 88.32 | 30.72 | 15.36 | 37.44 | 61.44 |
| | M608 | 82.80 | 28.80 | 14.40 | 35.10 | 57.60 |

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

| ชั้น | ห้องเรียน | พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (หน่วย/ปี) | การใช้พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟ LED (หน่วย/ปี) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | เงื่อนไขทดลองที่ 1 | เงื่อนไขทดลองที่ 2 | เงื่อนไขทดลองที่ 3 | เงื่อนไขทดลองที่ 4 |
| 7 | M704 | 132.48 | 46.08 | 23.04 | 37.44 | 61.44 |
| | M705 | 33.12 | 11.52 | 5.76 | 9.36 | 15.36 |
| | M708 | 733.95 | 391.44 | 260.96 | 181.74 | 1,771.01 |
| | M711 | 433.44 | 231.17 | 154.11 | 107.33 | 454.40 |
| | M712 | 478.17 | 255.02 | 170.01 | 118.40 | 298.24 |
| | M707 | 1,591.14 | 553.44 | 276.72 | 1049.23 | 176.13 |
| | M709 | 1,022.40 | 386.24 | 204.48 | 295.36 | 194.30 |
| | M714 | 1,658.70 | 474.91 | 264.44 | 363.17 | 558.72 |
| | M717 | 457.05 | 158.98 | 230.33 | 86.11 | 158.98 |
| 8 | M800 | 1,466.40 | 855.40 | 427.70 | 549.90 | 782.08 |
| | M803 | 1,929.70 | 671.20 | 335.60 | 436.28 | 671.20 |
| | ผลรวม | 76,415.91 | 35,161.22 | 22,018.24 | 14,137.29 | 26,879.74 |

จากตารางที่ 4-2 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ซึ่งจากการคำนวณพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED เงื่อนไขที่ 1 ใช้พลังงาน 35,161.22 หน่วย เงื่อนไขที่ 2 ใช้พลังงาน 22,018.24 หน่วย เงื่อนไขที่ 3 ใช้พลังงาน 14,137.29 หน่วย และเงื่อนไขที่ 4 ใช้พลังงาน 26,879.74 หน่วย ซึ่งสรุปได้ว่าการใช้หลอดไฟ LED ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการใช้ฟลูออเรสเซนต์

**การคำนวณค่าบริการการใช้พลังงาน**

จากหลักการการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยอ้างอิงวิธีการคำนวณจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตซึ่งมีการคิดค่าบริการตามหน่วยการใช้งาน ค่าบริการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติและภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 เปอร์เซ็นต์ โดยในปัจจุบันอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติจะเปลี่ยนแปลงตลอดทุก ๆ 4 เดือน ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติย้อนหลังจำนวน 24 ครั้ง คำนวณหาค่าเฉลี่ยและใช้กำหนดเป็นค่าบริการการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติตลอดระยะเวลาโครงการในงานนิพนธ์

ตารางที่ 4-3 สถิติการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติย้อนหลัง 24 ครั้งและค่าเฉลี่ย

| ระยะเวลา | ค่าปรับไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (หน่วยต่อสตางค์) | ระยะเวลา | ค่าปรับไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (หน่วยต่อสตางค์) |
|---|---|---|---|
| ก.ค. 54-ส.ค. 54 | -6.00 | พ.ค. 58-ส.ค. 58 | 49.61 |
| ก.ย. 54-ธ.ค. 54 | -6.00 | ก.ย. 58-ต.ค. 58 | 46.38 |
| ม.ค. 55-เม.ย. 55 | 0.00 | พ.ย. 58-ธ.ค. 58 | -3.23 |
| พ.ค. 55 | 0.00 | ม.ค. 59-เม.ย. 59 | -4.80 |
| มิ.ย. 55-ส.ค. 55 | 30.00 | พ.ค. 59-ส.ค. 59 | -33.29 |
| ก.ย. 55-ธ.ค. 55 | 48.00 | ก.ย. 59-ธ.ค. 59 | -33.29 |
| ม.ค. 56-เม.ย. 56 | 52.04 | ม.ค. 60-เม.ย. 60 | -37.29 |
| พ.ค. 56-ส.ค. 56 | 46.92 | พ.ค. 60-ส.ค. 60 | -24.77 |
| ก.ย. 56-ธ.ค. 56 | 54.00 | ก.ย. 60-ธ.ค. 60 | -15.90 |
| ม.ค. 57-เม.ย. 57 | 59.00 | ม.ค. 61-เม.ย. 61 | -15.90 |
| พ.ค. 57-ส.ค. 57 | 69.00 | พ.ค. 61-ส.ค. 61 | -15.90 |
| ก.ย. 57-ธ.ค. 57 | 69.00 | ค่าเฉลี่ย | 16.10 |
| ม.ค. 58-เม.ย. 58 | 58.96 | | |

จากตารางที่ 4-3 แสดงค่าสถิติการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติย้อนหลัง ซึ่งสถิติการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติมีทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่ลบ สาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงราคาของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ ดังนั้นผู้วิจัยนำค่าเฉลี่ยในการคำนวณการคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.10 สตางค์ต่อหน่วย

**1. การคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานโดยใช้ค่า Ft คงที่ตลอดระยะเวลาโครงการ**

การคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า จะวิธีการคำนวณจากตารางที่ 2-10 โดยอ้างอิงจำนวนหน่วยการใช้พลังงานจากตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3 จากข้อมูลทั้งหมดนี้สามารถคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1.1 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 สามารถคำนวนค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนี้

ตารางที่ 4-4 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการที่ 1 แบบค่า Ft คงที่

| ภาคเรียนที่ | การใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) | หลักการคำนวณหน่วยการใช้พลังงาน (หน่วย) | จำนวนเงิน (บาท) |
|---|---|---|---|
| 1 | 16,725.00 | ประเภทมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน | 40,299.98 |
| 2 | 12,634.00 | | 30,387.19 |
| 3 | 5,802.00 | | 13,837.51 |
| รวม | 35,161.00 | | 84,524.68 |

จากตาราง 4-4 พบว่า ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบแสงสว่างของอาคารเกษม จาติกวณิช ประจำปีการศึกษา 2559 ใช้จำนวนไฟฟ้าทั้งสิ้น 35,161 หน่วย ใช้หลักการคำนวณแบบประเภทการใช้งานเกิน 150 หน่วย ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 84,524.68 บาทต่อปี รวมกับการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติและภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่ 1 มีค่าเท่ากับ 96,680.30 บาท

1.2 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 สามารถการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-5 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 แบบค่า Ft คงที่

| ภาคเรียนที่ | การใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) | หลักการคำนวณหน่วยการใช้พลังงาน (หน่วย) | จำนวนเงิน (บาท) |
|---|---|---|---|
| 1 | 10,351.00 | ประเภทมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน | 24,857.39 |
| 2 | 7,870.00 | | 18,847.96 |
| 3 | 3,797.00 | | 18,847.96 |
| รวม | 22,018.24 | | 52,684.49 |

จากตาราง 4-5 พบว่า ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบแสงสว่างของอาคารเกษม จาติกวณิชประจำปีการศึกษา 2559 ใช้จำนวนไฟฟ้าทั้งสิ้น 22,018.24 หน่วย ใช้หลักการคำนวณแบบประเภทการใช้งานเกิน 150 หน่วย ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 52,684.49 บาทต่อปี รวมกับการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติและภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่ 2 มีค่าเท่ากับ 60,165.49 บาท

1.3 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 3 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 3 สามารถการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-6 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 3 แบบค่า Ft คงที่

| ภาคเรียนที่ | การใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) | หลักการคำนวณหน่วยการใช้พลังงาน (หน่วย) | จำนวนเงิน (บาท) |
|---|---|---|---|
| 1 | 6,993.00 | ประเภทมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน | 16,722.89 |
| 2 | 5,273.00 | | 12,554.55 |
| 3 | 1,871.00 | | 4,314.66 |
| รวม | 14,137.29 | | 33,592.04 |

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบแสงสว่างของอาคารเกษม จาติกวณิชประจำปีการศึกษา 2559 ใช้จำนวนไฟฟ้าทั้งสิ้น 14,137.29 หน่วย ใช้หลักการคำนวณแบบประเภทการใช้งานเกิน 150 หน่วยค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการคำนวณมีค่า

เท่ากับ 33,592.04 บาทต่อปี รวมกับการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติและภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่ 3 มีค่าเท่ากับ 38,451.88 บาท

1.4 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 4 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 4 คำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-7 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเงื่อนไขการทดลองที่ 4 แบบค่า Ft คงที่

| ภาคเรียนที่ | การใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) | หลักการคำนวณหน่วยการใช้พลังงาน (หน่วย) | จำนวนเงิน (บาท) |
|---|---|---|---|
| 1 | 13,148.00 | ประเภทมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน | 31,633.93 |
| 2 | 9,966.00 | | 23,925.83 |
| 3 | 3,838.00 | | 9,079.83 |
| รวม | 26,953.00 | | 64,639.59 |

จากตาราง 4-7 พบว่า ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบแสงสว่างของอาคารเกษม จาติกวณิชประจำปีการศึกษา 2559 ใช้จำนวนไฟฟ้าทั้งสิ้น 26,953.06 หน่วย ใช้หลักการคำนวณแบบประเภทการใช้งานเกิน 150 หน่วย ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 64,639.59 บาทต่อปี รวมกับการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติและภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่ 4 มีค่าเท่ากับ 73,807.56 บาท

**2. การคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานโดยใช้ค่า Ft แบบปรับตามสภาวะเงินเฟ้อ**

ผู้วิจัยมีแนวคิดว่าค่าสถิติการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเกิดจากการเปลี่ยนแปลงราคาของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ อยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นการต่อการคาดเดา ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติมีการปรับเพิ่มขึ้น 3 เปอร์เซ็นต์ ทุกปีตามสภาวะเงินเฟ้อที่ใช้ในการคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการ ซึ่งมีผลต่อค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-8 การคิดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ค่า Ft แบบปรับตามสภาวะเงินเฟ้อ

| ปีที่ | เงื่อนไขที่ 1 | เงื่อนไขที่ 2 | เงื่อนไขที่ 3 | เงื่อนไขที่ 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 96,680.30 | 68,283.91 | 38,451.88 | 73,946.85 |
| 2 | 96,867.47 | 68,401.11 | 38,527.14 | 74,090.33 |
| 3 | 97,060.25 | 68,521.83 | 38,604.65 | 74,238.10 |
| 4 | 97,258.82 | 68,646.18 | 38,684.48 | 74,390.32 |
| 5 | 97,463.34 | 68,774.25 | 38,766.71 | 74,547.09 |
| 6 | 97,674.00 | 68,906.16 | 38,851.41 | 74,708.58 |
| 7 | 97,890.98 | 69,042.04 | 38,938.65 | 74,874.90 |
| 8 | 98,114.46 | 69,181.98 | 39,028.51 | 75,046.22 |
| 9 | 98,344.66 | 69,326.13 | 39,121.06 | 75,222.68 |
| 10 | 98,581.75 | 69,474.60 | 39,216.39 | 75,404.42 |

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ค่า Ft ชนิดปรับตามสภาวะเงินเฟ้อ 3 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ ปี ซึ่งทำให้ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าบริการที่สูงมากขึ้นตามไปด้วย

## การประเมินรายรับและค่าใช้จ่ายของการใช้หลอดไฟ LED

ผู้วิจัยต้องการศึกษาความเป็นไปได้การใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษา เมื่อพิจารณาดูค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-4 ถึง 4-8 พบว่าเมื่อมีการใช้หลอดไฟ LED ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงเมื่อเทียบกับการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงวิเคราะห์รายละเอียดโครงการเพื่อประเมินรายรับและค่าใช้จ่ายของโครงการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษา ดังแนวทางต่อไปนี้

**1. การประเมินรายรับและรายจ่ายของโครงการ**

การประเมินรายรับและรายจ่ายของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษา กรณีศึกษาอาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึง เงื่อนไขการทดลองที่ 4 สามารถสรุปได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 การพิจารณาค่าความแตกต่างค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยมีแนวคิดว่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้ไฟฟ้าระหว่างการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เทียบกับหลอดไฟ LED คือรายได้ของโครงการ ดังแสดงในตารางที่ 4-9 และ 4-10

ตารางที่ 4-9 ความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไฟ LED จากการคำนวณแบบค่า Ft คงที่

| เงื่อนไขการทดลอง | ความแตกต่างของค่าบริการ (บาทต่อปี) | ทิศทางความแตกต่างของค่าบริการ |
|---|---|---|
| เงื่อนไขที่ 1 | 114,046.60 | ค่าบริการลดลง |
| เงื่อนไขที่ 2 | 150,379.74 | ค่าบริการลดลง |
| เงื่อนไขที่ 3 | 172,166.26 | ค่าบริการลดลง |
| เงื่อนไขที่ 4 | 136,737.67 | ค่าบริการลดลง |

จากตารางที่ 4-9 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เทียบกับหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองกรณีต่าง ๆ สามารถเรียงลำดับจากเงื่อนไขที่สามารถลดค่าบริการการใช้พลังงานมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ เงื่อนไขการทดลองที่ 3 เงื่อนไขการทดลองที่ 2 เงื่อนไขการทดลองที่ 4 และเงื่อนไขการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4-10 ความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไฟ LED จากการคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ

| เงื่อนไขการทดลอง | ความแตกต่างของค่าบริการโดยเฉลี่ย (บาทต่อปี) | ทิศทางความแตกต่างของค่าบริการ |
|---|---|---|
| เงื่อนไขที่ 1 | 115,330.00 | ค่าบริการลดลง |
| เงื่อนไขที่ 2 | 152,070.00 | ค่าบริการลดลง |
| เงื่อนไขที่ 3 | 174,100.00 | ค่าบริการลดลง |
| เงื่อนไขที่ 4 | 138,420.00 | ค่าบริการลดลง |

จากตารางที่ 4-10 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เทียบกับหลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองกรณีต่าง ๆ ผลการเรียงสามารถเรียงลำดับการลดค่าบริการการใช้พลังงานมากที่สุดไปน้อยที่สุดได้ผลดังเช่นตารางที่ 4-9 คือ เงื่อนไขการทดลองที่ 3 เงื่อนไขการทดลองที่ 2 เงื่อนไขการทดลองที่ 4 และเงื่อนไขการทดลองที่ 1

1.2 การพิจารณารายได้จากการลดค่าบำรุงรักษาหลอดไฟ จากสมการที่ 2-18 สามารถคำนวณค่าบำรุงรักษาที่ลดลงจากการใช้หลอดไฟ LED เมื่อกำหนดให้ หลอดไฟที่ต้องการเปลี่ยนมีมูลค่า 295 บาท ชี้แจงรายละเอียด ดังนี้ ราคาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 150 บาท ราคาบัลลาสส์ 85 บาท และราคาสตาร์ทเตอร์ 60 บาท (Catalog Phillip Indoor Luminaire 2016 - 2017, 2017) และราคาค่าแรงในการบำรุงมีค่าเท่ากับ 0 บาท เนื่องจากทางมหาวิทยาลัยมีการจัดจ้างเจ้าหน้าที่บำรุงรักษาอุปกรณ์โสตทัศนวัสดุในการดูแลพื้นที่อาคารอยู่แล้ว จึงสามารถคำนวณค่าประหยัดสำหรับการบำรุงรักษาหลอดไฟ ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณรายได้จากการลดค่าบำรุงรักษาหลอดไฟของเงื่อนไขที่ 1

อายุการใช้งานหลอดไฟ LED 15,000 ช.ม.

อายุการใช้งานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 10,000 ช.ม.

จำนวนติดตั้ง 1,529 หลอด

ค่าแรงในการบำรุง 0 บาท

ค่าหลอดไฟเดิม 295 บาท

ประหยัดค่าบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งาน 676,582 บาท

อายุโครงการ 10 ปี

ประหยัดค่าบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานต่อปี 67,658 บาทต่อปี

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} = \begin{bmatrix} 15{,}000 \text{ ช.ม.} \\ 10{,}000 \text{ ช.ม.} \end{bmatrix} * 1{,}529 \text{ ชิ้น} * (0 \text{ บาท} + 295 \text{ บาท})$$

ค่าบำรุงรักษา = 676,582 บาท

ค่าบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งาน 676,582 บาท

อายุโครงการ 10 ปี

ค่าบำรุงรักษาต่อปี 67,658 บาทต่อปี

รายได้จากการลดค่าบำรุงรักษาหลอดไฟของเงื่อนไขที่ 1 ประหยัดค่าบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานต่อปี 67,658 บาทต่อปี

จากตัวอย่างการคำนวณการลดค่าบำรุงรักษาหลอดไฟ เมื่อนำวิธีการคำนวณจากสมการที่ 2-17 มาคำนวณการลดค่าบำรุงรักษาหลอดไฟของทุกเงื่อนไข สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-11 การลดค่าบำรุงรักษาของหลอดไฟทั้ง 4 เงื่อนไข

| เงื่อนไขที่ | อายุหลอดไฟ LED (ปี) | อายุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (ปี) | จำนวนติดตั้ง (ชิ้น) | ค่าแรงในการบำรุง (บาท) | ราคาชุดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (บาท) | อายุโครงการ (ปี) | ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งาน (บาท) | ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานต่อปี (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15,000 | 10,000 | 1,529 | 0 | 295 | 10 | 676,582.00 | 67,658.00 |
| 2 | 15,000 | 10,000 | 765 | | | | 338,512.00 | 33,851.00 |
| 3 | 50,000 | 10,000 | 436 | | | | 643,100.00 | 64,310.00 |
| 4 | 15,000 | 10,000 | 1,256 | | | | 555,780.00 | 55,578.00 |

จากตารางที่ 4-11 แสดงข้อมูลความสามารถในการประหยัดค่าบำรุงรักษาเมื่อใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ พบว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ลดค่าบำรุงรักษาได้ 67,658 บาทต่อปี เงื่อนไขการทดลองที่ 2 ลดค่าบำรุงรักษาได้ 33,851 บาทต่อปี เงื่อนไขการทดลองที่ 3 ลดค่าบำรุงรักษาได้ 64,310 บาทต่อปี และเงื่อนไขการทดลองที่ 4 ลดค่าบำรุงรักษาได้ 55,579 บาทต่อปี

1.3 ราคาวัสดุอุปกรณ์พร้อมอัตราว่าจ้างในการติดตั้งหลอดไฟ LED และปรับปรุงฝ้าและเพดาน ราคาของวัสดุอุปกรณ์พร้อมอัตราว่าจ้างตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 4 ซึ่งมีหลอดไฟ LED จำนวน 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลอง คือ หลอดไฟ LED รุ่น Eco Fit LED tube ขนาด 1,200 มิลลิเมตร และ 600 มิลลิเมตร หลอดไฟ LED รุ่น Core range Batten G2 ขนาด 1,200 มิลลิเมตร และหลอดไฟ LED รุ่น LED Smart bright LED Batten ขนาด 1,200 มิลลิเมตร ซึ่งหลอดไฟ LED แต่ละชนิดมีราคาที่แตกต่าง โดยผู้วิจัยอ้างอิงราคาจาก หลอดไฟ Phillips Price list 2016-2017 (Catalog Phillip Indoor Luminaire 2016-2017, 2017) และราคาปรับปรุงโครงสร้าง

อาคารในหน่วยงานของอาคารเรียน (บัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ปีงบประมาณ 2561, 2561) แสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 4-12 ราคาวัสดุอุปกรณ์พร้อมอัตราว่าจ้างและค่าบริการปรับปรุงอาคาร

| เงื่อนไขที่ | หลอดไฟ LED รุ่น | ราคาของหลอดไฟ (บาท) | | ค่าบริการติดตั้ง (บาท) | ค่าปรับปรุงฝ้าและเพดาน (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1,200 มม. | 600 มม. | | |
| 1 | Eco Fit LED tube | 350 | 250 | 135 | 0.00 |
| 2 | Eco Fit LED tube | 350 | 250 | 135 | 0.00 |
| 3 | Core range Batten G2 | 3,000 | 0 | 0 | 1,068,261.76 |
| 4 | LED Smart bright LED Batten | 295 | 0 | 0 | 1,068,261.76 |

จากตารางที่ 4-12 แสดงค่าใช้จ่ายของวัสดุอุปกรณ์พร้อมราคาติดตั้งและค่าบริการปรับปรุงอาคาร เงื่อนไขการทดลองที่ 1 และ 2 ใช้หลอดไฟ LED ชนิดเดียวกัน ราคาของหลอดไฟจึงมีราคาเท่ากัน ไม่มีค่าบริการปรับปรุงฝ้าและเพดาน แต่จะต้องเสียค่าบริการติดตั้งหลอดไฟ LED 135 บาทต่อหลอด เงื่อนไขที่ 3 ใช้หลอดไฟ LED ประสิทธิภาพสูง จึงทำให้ราคาหลอดไฟ LED มีราคาสูงกว่าหลอดไฟของเงื่อนไขอื่น ๆ อีกทั้งมีค่าบริการปรับปรุงอาคาร 1,068,261.76 บาท และเงื่อนไขที่ 4 ราคาของหลอดไฟ LED ใกล้เคียงกับเงื่อนไขการทดลองที่ 1 และ 2 แต่มีค่าบริการปรับปรุงอาคาร 1,068,261.76 บาท เหมือนกับเงื่อนไขที่ 3

## การคำนวนงบดุลบัญชีและความเป็นไปได้ของโครงการ

ผู้วิจัยได้กำหนดการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าไว้ 2 วิธี ดังนั้นการสรุปงบดุลบัญชีเพื่อพิจารณากระแสเงินและความเป็นไปได้ของโครงการ สามารถได้ดังต่อไปนี้

**1. การพิจารณางบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้โดยการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานแบบค่า Ft คงที่ตลอดระยะเวลาโครงการ**

การพิจารณางบลดุลนี้ คำนวณค่าบริการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยกำหนดใช้ค่าบริการปรับอัตโนมัติ ซึ่งมีมูลค่า 16.10 สตางค์ต่อหน่วย โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1.1 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 1,369 หลอดไฟ เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-9 การลดค่าบำรุงรักษาในตารางที่ 4-11 และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสด จะได้ดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 แบบค่า Ft คงที่

| รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองที่ 1 | ราคา/ชิ้น | จำนวน | ปีที่ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการ | | | - | 114.05 | 114.05 | 114.05 | 114.05 | 114.05 | 114.05 | 114.05 | 114.05 | 114.05 | 114.05 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | - | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 |
| รวมรายรับโครงการ | | | - | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | N/A | N/A | 0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 0.35 | 1,273.00 | -445.55 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0.25 | 76.00 | -19.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0.089 | 20.00 | -1.78 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0.140 | 1,369.00 | -205.35 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | - | - | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | - | 76.41 | - | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 |
| บริการจากหลอดไฟ LED | - | 35.16 | - | 96.50 | 96.50 | 96.50 | 96.50 | 96.50 | 96.50 | 96.50 | 96.50 | 96.50 | 96.50 |
| กระแสเงินสด | | | -671.68 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 | 181.70 |
| ระยะคืนทุน | | | -671.68 | -489.98 | -308.27 | -126.57 | 55.13 | 236.84 | 418.54 | 600.25 | 781.95 | 963.65 | 1,145.36 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า Ft โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

จากตารางที่ 4-13 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 181,700.00 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-14 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 แบบค่า Ft คงที่

| หัวข้อการประเมินโครงการ | ผลการประเมิน | ความหมายของการประเมินโครงการ |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | 878.29 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 24% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 24 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 2.31 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | 3.68 | โครงการมีระยะคืนทุน 3.68 ปี |

จากการความเป็นไปได้ของโครงการ สรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้ในสถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 นั้น โครงการมีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะ มูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารกรณีศึกษา โครงการนี้ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อได้พิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากกว่ามูลค่าคิดลดที่ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ค่า NPV และ IRR ยังมีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการซึ่งมีค่ามากกว่า 1 โครงการนี้ระยะการคืนทุนที่สั้น คือ โครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 3.68 ปี

1.2 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 เงื่อนไขการทดลองที่ 2 ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 772 หลอด เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-9 การลดค่าบำรุงรักษา

ในตารางที่ 4-11 และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสด จะได้ดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2 แบบค่า Ft คงที่

| **รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองที่ 2** | **ราคา/ชิ้น** | **จำนวน** | **ปีที่** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | | | 0.00 | 150.38 | 150.38 | 150.38 | 150.38 | 150.38 | 150.38 | 150.38 | 150.38 | 150.38 | 150.38 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 |
| รวมรายรับโครงการ | | | 0.00 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | N/A | N/A | 0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 0.35 | 724.00 | -253.40 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0.25 | 38.00 | -9.50 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0.09 | 10.00 | -0.90 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0.14 | 772.00 | -104.22 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | | | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | | 76.41 | | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 |
| บริการจากหลอดไฟ LED | | 35.16 | | 60.16 | 60.16 | 60.16 | 60.16 | 60.16 | 60.16 | 60.16 | 60.16 | 60.16 | 60.16 |
| กระแสเงินสด | | | -379.59 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 | 184.24 |
| ระยะคืนทุน | | | -379.59 | -195.35 | -11.12 | 173.12 | 357.35 | 541.59 | 725.82 | 910.06 | 1,094.29 | 1,278.53 | 1,462.77 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า Ft โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 4-15 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 2 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 184,240.00 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-16 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 แบบค่า Ft คงที่

| **หัวข้อการประเมินโครงการ** | **ผลการประเมิน** | **ความหมายของการประเมินโครงการ** |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | 1,191.98 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 48% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 3.78 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | 2.06 | โครงการมีระยะคืนทุน 2.06 ปี |

จากการความเป็นไปได้ของโครงการ สรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้**ใน**สถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2 นั้น โครงการมีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะ มูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารกรณีศึกษา โครงการนี้ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อได้พิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากกว่ามูลค่าคิดลดที่ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ค่า NPV และ IRR ซึ่งมีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการ ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 โครงการนี้ระยะการคืนทุนที่สั้น คือโครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 2.06 ปี

1.3 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 3

เงื่อนไขการทดลองที่ 3 ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 436 หลอด เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-9 การลดค่าบำรุงรักษาในตารางที่ 4-11

และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสด จะได้ดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 3 แบบค่า Ft คงที่

| รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองที่ 3 | ราคา/ชิ้น | จำนวน | ปีที่ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | | | 0.00 | 172.17 | 172.17 | 172.17 | 172.17 | 172.17 | 172.17 | 172.17 | 172.17 | 172.17 | 172.17 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 |
| รวมรายรับโครงการ | | | 0.00 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | 1,045 | 1 | -1,068.60 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 3 | 436.00 | -1,308.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0 | 76.00 | -0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0 | 20.00 | -0.00 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0 | 0.00 | -0.00 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | - | - | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 | 16.10 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | - | 76.41 | - | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 |
| บริการจากหลอดไฟ LED | - | 35.16 | - | 38.38 | 38.38 | 38.38 | 38.38 | 38.38 | 38.38 | 38.38 | 38.38 | 38.38 | 38.38 |
| กระแสเงินสด | | | -2,376.26 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 | 236.48 |
| ระยะคืนทุน | | | -2,376.26 | -2,139.79 | -1,903.31 | -1,666.83 | -1,430.36 | -1,193.88 | -957.41 | -720.93 | -484.45 | -247.98 | -11.50 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า Ft โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 4-17 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 3 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 236,480.00 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-18 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 3 แบบค่า Ft คงที่

| **หัวข้อการประเมินโครงการ** | **ผลการประเมิน** | **ความหมายของการประเมินโครงการ** |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | -359.07 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นลบหรือน้อยกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 0% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 0.85 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่าน้อยกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | N/A | โครงการไม่สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 10 ปี |

จากการคำนวนความคุ้มค่าสรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้ในสถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 3 นั้น โครงการไม่มีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะ มูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายความว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารเรียนโครงการนี้ไม่ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อพิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอัตราน้อยกว่าอัตราส่วนลดที่ใช้ในการคำนวนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นค่าของ NPV และ IRR มีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งหมายถึงโครงการนี้ไม่สามารถทำกำไรและโครงการจะไม่สามารถคืนทุนได้ภายใน 10 ปี

1.4 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 4

เงื่อนไขการทดลองที่ 4 ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 1,256 หลอด เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-9 การลดค่าบำรุงรักษาในตารางที่

4-11 และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสดจะได้ดังตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-19 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4 แบบค่า Ft คงที่

| รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองที่ 4 | ราคา / ชิ้น | จำนวน | ปีที่ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | | | 0.00 | 136.74 | 136.74 | 136.74 | 136.74 | 136.74 | 136.74 | 136.74 | 136.74 | 136.74 | 136.74 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 |
| รวมรายรับโครงการ | | | 0.00 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | | | -1,068.26 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 0.29 | 1,256.00 | 357.96 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0.00 | 00.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | - | - | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 | 210.54 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | - | 76.41 | - | | | | | | | | | | |
| บริการจากหลอดไฟ LED | - | 35.16 | - | 73.81 | 73.81 | 73.81 | 73.81 | 73.81 | 73.81 | 73.81 | 73.81 | 73.81 | 73.81 |
| กระแสเงินสด | | | -1,426.22 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 | 192.32 |
| ระยะคืนทุน | | | -1,426.22 | -1,233.91 | -1,041.59 | -849.28 | -656.96 | -464.64 | -272.33 | -80.01 | 112.30 | 304.62 | 496.93 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า Ft โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 4-17 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 4 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 192,320 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-20 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขการทดลองที่ 4 แบบค่า Ft คงที่

| **หัวข้อการประเมินโครงการ** | **ผลการประเมิน** | **ความหมายของการประเมินโครงการ** |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | 214.27 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 6% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 1.15 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | 7.41 | โครงการมีระยะคืนทุน 7.41 ปี |

จากการความเป็นไปได้ของโครงการ สรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้ในสถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4 นั้น โครงการมีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะมูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารเรียน โครงการนี้ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อพิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดของโครงการที่ 3 เปอร์เซ็นต์ ค่า NPV และ IRR มีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการซึ่งมีค่ามากกว่า 1 รวมถึงโครงการนี้ระยะการคืนทุนที่สั้น คือ โครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 7.41 ปี

**2. การพิจารณางบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้โดยการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ**

การพิจารณางบดุลบัญชีในหัวข้อนี้ จะคำนวณโดยใช้ค่า Ft ชนิดปรับขึ้นตามสภาวะ

เงินเฟ้อปีละ 3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เมื่อมีความผันผวนการปรับเปลี่ยนค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยสามารถได้ ดังต่อไปนี้

2.1 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 โดยการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานแบบค่า Ft ปรับตามสภาวะเงินเฟ้อ เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 1,369 หลอดไฟ เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-10 การลดค่าบำรุงรักษาในตารางที่ 4-11 และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสด จะได้ดังตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 โดยคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ

| **รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองที่ 1** | **ราคา/ชิ้น** | **จำนวน** | **ปีที่** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการ | | | - | 114.26 | 114.48 | 114.70 | 114.94 | 115.18 | 115.42 | 115.68 | 115.94 | 116.21 | 116.49 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | - | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 | 67.66 |
| รวมรายรับโครงการ | | | - | 181.92 | 182.14 | 182.36 | 182.60 | 182.84 | 183.08 | 183.34 | 183.60 | 183.87 | 184.15 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | N/A | N/A | 0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 0.35 | 1,273.00 | -445.55 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0.25 | 76.00 | -19.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0.089 | 20.00 | -1.78 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0.14 | 1,369.00 | -205.35 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | - | - | 16.58 | 17.08 | 17.59 | 18.12 | 18.66 | 19.22 | 19.80 | 20.39 | 21.01 | 21.64 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | - | 76.41 | - | 210.94 | 211.35 | 211.76 | 212.20 | 212.64 | 213.10 | 213.57 | 214.06 | 214.56 | 215.07 |
| บริการจากหลอดไฟ LED | - | 35.16 | - | 96.68 | 96.87 | 97.06 | 97.26 | 97.46 | 97.67 | 97.89 | 98.11 | 98.34 | 98.58 |
| กระแสเงินสด | | | -671.68 | 181.92 | 182.14 | 182.36 | 182.60 | 182.84 | 183.08 | 183.34 | 183.60 | 183.87 | 184.15 |
| ระยะคืนทุน | | | -671.68 | -489.76 | -307.63 | -125.26 | 57.33 | 240.17 | 423.25 | 606.59 | 790.19 | 974.06 | 1,158.20 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า t โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

จากตารางที่ 4-21 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 181,917.82 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-22 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 1 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ

| **หัวข้อการประเมินโครงการ** | **ผลการประเมิน** | **ความหมายของการประเมินโครงการ** |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | 888.73 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 24% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 24 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 2.32 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | 3.68 | โครงการมีระยะคืนทุน 3.68 ปี |

จากการความเป็นไปได้ของโครงการ สรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้ในสถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 นั้น โครงการมีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะ มูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารกรณีศึกษา โครงการนี้ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อได้พิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากกว่ามูลค่าคิดลดที่ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ค่า NPV และ IRR ยังมีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการซึ่งมีค่ามากกว่า 1 โครงการนี้ระยะการคืนทุนที่สั้น คือ โครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 3.68 ปี

2.2 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 2 โดยการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ เงื่อนไขการทดลองที่ 2

ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 772 หลอดไฟ เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-10 การลดค่าบำรุงรักษาในตารางที่ 4-11 และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสด จะได้ดังตารางที่ 4-23

ตารางที่ 4-23 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2 โดยคำนวณค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ

| **รายละเอียดเงื่อนไข ในการทดลองที่ 2** | **ราคา / ชิ้น** | **จำนวน** | **ปีที่** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | | | 0.00 | 150.67 | 150.96 | 151.25 | 151.56 | 151.88 | 152.20 | 152.54 | 152.88 | 153.24 | 153.61 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 | 33.85 |
| รวมรายรับโครงการ | | | 0.00 | 184.52 | 184.81 | 185.10 | 185.41 | 185.73 | 186.05 | 186.39 | 186.74 | 187.09 | 187.46 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | N/A | N/A | 0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 0.35 | 724.00 | -253.40 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0.25 | 38.00 | -9.50 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0.09 | 10.00 | -0.90 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0.14 | 772.00 | -104.22 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | - | - | 16.58 | 17.08 | 17.59 | 18.12 | 18.66 | 19.22 | 19.80 | 20.39 | 21.01 | 21.64 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | | 76.41 | | 210.94 | 211.35 | 211.77 | 212.20 | 212.64 | 213.10 | 213.57 | 214.06 | 214.56 | 215.07 |
| บริการจากหลอดไฟ LED | | 35.16 | | 60.27 | 60.39 | 60.51 | 60.64 | 60.76 | 60.90 | 61.03 | 61.17 | 61.32 | 61.47 |
| กระแสเงินสด | | | -379.59 | 184.52 | 184.81 | 185.10 | 185.41 | 185.73 | 186.05 | 186.39 | 186.74 | 187.09 | 187.46 |
| ระยะคืนทุน | | | -379.59 | -195.07 | -10.27 | 174.84 | 360.25 | 545.98 | 732.03 | 918.42 | 1,105.16 | 1,292.25 | 1,479.71 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า Ft โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 4-23 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 2 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 184,520.00 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-24 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 2 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ

| **หัวข้อการประเมินโครงการ** | **ผลการประเมิน** | **ความหมายของการประเมินโครงการ** |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | 1,205.75 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 48% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 3.81 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | 2.05 | โครงการมีระยะคืนทุน 2.05 ปี |

จากการความเป็นไปได้ของโครงการ สรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้ในสถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2 นั้น โครงการมีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะ มูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารกรณีศึกษา โครงการนี้ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อได้พิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากกว่ามูลค่าคิดลดที่ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ค่า NPV และ IRR ยังมีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการซึ่งมีค่ามากกว่า 1 โครงการนี้ระยะการคืนทุนที่สั้น คือ โครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 2.05 ปี

2.3 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 3 โดยการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ เงื่อนไขการทดลองที่ 3

ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 436 หลอด เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-10 การลดค่าบำรุงรักษาในตารางที่ 4-11 และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสดจะได้ดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-25 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 3 โดยคำนวณค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ

| **รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองที่ 3** | **ราคา/ชิ้น** | **จำนวน** | **ปีที่** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | | | 0.00 | 172.49 | 172.82 | 173.16 | 173.51 | 173.87 | 174.25 | 174.63 | 175.03 | 175.44 | 175.86 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 | 64.31 |
| รวมรายรับโครงการ | | | 0.00 | 236.80 | 237.13 | 237.47 | 237.82 | 238.18 | 238.56 | 238.94 | 239.34 | 239.75 | 240.17 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | | | -1,068.26 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 0.29 | 1,256.00 | 357.96 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0.00 | 00.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | - | - | 0.1658 | 0.1708 | 0.1759 | 0.1812 | 0.1866 | 0.1922 | 0.1980 | 0.2039 | 0.2101 | 0.2164 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | - | 76.41 | - | 210.94 | 211.35 | 211.77 | 212.20 | 212.64 | 213.10 | 213.57 | 214.06 | 214.56 | 215.07 |
| บริการจากหลอดไฟ LED | - | 35.16 | - | 38.45 | 38.53 | 38.60 | 38.68 | 38.77 | 38.85 | 38.94 | 39.03 | 39.12 | 39.22 |
| กระแสเงินสด | | | -2,376.26 | 236.80 | 237.13 | 237.47 | 237.82 | 238.18 | 238.56 | 238.94 | 239.34 | 239.75 | 240.17 |
| ระยะคืนทุน | | | -2,376.26 | -2,139.46 | -1,902.33 | -1,664.86 | -1,427.04 | -1,188.86 | -950.30 | -711.36 | -472.02 | -232.27 | 7.89 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า Ft โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 4-25 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 3 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 236,797.00 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-26 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 3 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ

| **หัวข้อการประเมินโครงการ** | **ผลการประเมิน** | **ความหมายของการประเมินโครงการ** |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | -343.30 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นลบหรือน้อยกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 0% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 0.86 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่าน้อยกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | 9.96 | โครงการมีระยะคืนทุน 9.96 ปี |

จากการความเป็นไปได้ของโครงการ สรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้ในสถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 3 นั้น โครงการมีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะมูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นลบหรือน้อยกว่า 0 ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารเรียน โครงการนี้ไม่ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อพิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนลดที่ 3เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า NPV และIRR มีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการซึ่งมีค่ามากกว่า 1 ถึงแม้ว่าโครงการนี้จะสามารถคืนทุนได้ภายใน 9.96 ปี

2.4 งบดุลบัญชีและผลการประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการทดลองที่ 4 โดยการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานแบบค่า Ft ชนิดปรับตามสภาะเงินเฟ้อ เงื่อนไขการทดลองที่ 4 ใช้หลอดไฟ LED จำนวนทั้งหมด 1,256 หลอด เมื่อนำผลการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าบริการ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 4-10 การลดค่าบำรุงรักษาในตารางที่ 4-11 และเงินทุนของโครงการ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณตามแบบงบดุลบัญชีเพื่อหากระแสเงินสดจะได้ดังตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-27 การคำนวณกระแสเงินสดของโครงการการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4 โดยคำนวณค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ

| **รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองที่ 3** | **ราคา/ชิ้น** | **จำนวน** | **ปีที่** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| รายรับ | | | | | | | | | | | | | |
| ส่วนต่างค่าบริการการใช้ไฟฟ้า | | | 136.99 | 137.26 | 137.53 | 137.81 | 138.09 | 138.39 | 138.70 | 139.01 | 139.33 | 139.67 | 136.99 |
| ค่าบำรุงรักษาที่น้อยลง | | | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 | 55.58 |
| รวมรายรับโครงการ | | | 192.57 | 192.83 | 193.11 | 193.38 | 193.67 | 193.97 | 194.27 | 194.59 | 194.91 | 195.25 | 192.57 |
| รายจ่าย | | | | | | | | | | | | | |
| ปรับปรุงสภาพอาคาร | | | -1,068.26 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LEDTube 1,200 มม. | 0.29 | 1,256.00 | 357.96 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ LED Tube 600 มม. | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| หลอดไฟ Compact LED | 0.00 | 00.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| แรงสำหรับติดตั้งหลอดไฟ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| ค่า Ft โดยเฉลี่ย (สตางค์/หน่วย) | 16.10 | - | - | 0.1658 | 0.1708 | 0.1759 | 0.1812 | 0.1866 | 0.1922 | 0.1980 | 0.2039 | 0.2101 | 0.2164 |
| ค่าบริการจากหลอดไฟ FL | - | 76.41 | - | 210.94 | 211.35 | 211.77 | 212.20 | 212.64 | 213.10 | 213.57 | 214.06 | 214.56 | 215.07 |
| บริการจากหลอดไฟ LED | - | 35.16 | - | 73.95 | 74.09 | 74.24 | 74.39 | 74.55 | 74.71 | 74.87 | 75.05 | 75.22 | 75.40 |
| กระแสเงินสด | | | -1,426.22 | 192.57 | 192.83 | 193.11 | 193.38 | 193.67 | 193.97 | 194.27 | 194.59 | 194.91 | 195.25 |
| ระยะคืนทุน | | | -1,426.22 | -1,233.65 | -1,040.82 | -847.71 | -654.33 | -460.65 | -266.68 | -72.41 | 122.18 | 317.09 | 512.34 |

หมายเหตุ: หน่วยของค่าในตารางเท่ากับ 1,000 บาท ยกเว้นค่า Ft โดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นสตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 4-27 แสดงการคำนวณกระแสเงินสดและระยะคืนทุนของโครงการ สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ 4 ทำให้สามารถลดการค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับลดค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ทั้งหมด 192,320 บาท เมื่อนำกระแสเงินสดที่ได้ต่อปีมาคำนวณความเป็นไปได้ของโครงการแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-28 ผลการประเมินโครงการของเงื่อนไขที่ 4 โดยคำนวณปรับค่า Ft ตามสภาะเงินเฟ้อ

| **หัวข้อการประเมินโครงการ** | **ผลการประเมิน** | **ความหมายของการประเมินโครงการ** |
|---|---|---|
| มูลค่าสุทธิของโครงการ (NPV) | 226.79 | มูลค่าสุทธิโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 6% | อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ |
| อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | 1.16 | อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่า 1 |
| ระยะคืนทุน (PB) | 7.37 | โครงการมีระยะคืนทุน 7.37 ปี |

จากการความเป็นไปได้ของโครงการ สรุปได้ว่าโครงการนำหลอดไฟ LED ใช้ในสถานศึกษาตามเงื่อนไขการทดลองที่ 4 นั้น โครงการมีความคุ้มค่าในการดำเนินงานเพราะมูลค่าสุทธิ (NPV) ของโครงการมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า 0 ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อดำเนินโครงการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารเรียน โครงการนี้ให้ผลกำไรจากการดำเนินโครงการเมื่อพิจารณาตลอดอายุโครงการ อัตราดอกเบี้ยภายใน (IRR) โครงการมีอัตราผลตอบแทน 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดของโครงการ ค่า NPV และ IRR มีความสอดคล้องกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (BCR) ของโครงการที่มีค่ามากกว่า 1 รวมถึงโครงการนี้ระยะการคืนทุนที่สั้น คือ โครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 7.37 ปี

# บทที่ 5
# อภิปรายและสรุปผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง โดยการพิจารณาผลจากการจำลองความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX และศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษา กรณีศึกษา อาคารเกษม จาติกวณิช มหาวิทยาลัยบูรพา โดยกำหนดเงื่อนไขการใช้หลอดไฟ LED ทั้งหมด 4 เงื่อนไข จากผลการจำลองค่าความสว่างและการศึกษาความเป็นไปได้ สามารถสรุป ได้ดังต่อไปนี้

## การอภิปรายผลการจำลองค่าความสว่าง

จากผลการจำลองค่าความสว่างของเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึงเงื่อนไขการทดลองที่ 4 ผู้วิจัยใช้ข้อกำหนดความสว่างของกระทรวงแรงงานเป็นแนวทางการพิจารณา ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-1 การกำหนดค่าความสว่างให้กับห้องต่าง ๆ โดยอ้างอิงตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน

| ค่าความสว่างตามข้อหนด (ลักซ์) | พื้นที่ใช้งาน |
|---|---|
| 300 | ห้องเรียนทั่วไปและห้องประชุม |
| 500 | ห้องเขียนแบบและห้องสมุดหรือห้องเรียนที่ต้องใช้ลักษณะการใช้งานที่มีความละเอียดสูง |

เมื่อนำค่าความสว่างโดยเฉลี่ยจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึง 4 ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบกับค่าความสว่างจากการสำรวจในตารางที่ 5-1 ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-2 ค่าความสว่างจากการใช้หลอดไฟ LED เปรียบเทียบกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

| มาตรฐานความสว่าง (ลักซ์) | ห้องเรียน | ความสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (ลักซ์) | ความสว่างจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX ในเงื่อนไขการทดลอง | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 500 | ห้องสมุด | 368.00 | 558.00 | 372.00 | 518.00 | 530.00 |
| | M4001-1 | 539.00 | 630.00 | 416.00 | 536.00 | 581.00 |
| 300 | M4002 | 216.60 | 325.00 | 125.00 | 325.00 | 529.00 |
| | M4003 | 126.00 | 319.00 | 135.00 | 347.00 | 335.00 |
| | M402 | 280.00 | 228.00 | 187.00 | 311.00 | 325.00 |
| | M431 | 265.50 | 337.00 | 131.00 | 321.00 | 325.00 |
| | M502 | 311.11 | 245.00 | 122.00 | 325.00 | 286.00 |
| | M505 | 101.22 | 232.00 | 116.00 | 333.00 | 325.00 |
| | M521 | 354.40 | 219.00 | 89.00 | 325.00 | 350.00 |
| | M6001 | 362.22 | 237.00 | 118.00 | 339.00 | 268.00 |
| | M6002 | 272.22 | 233.00 | 112.00 | 382.00 | 376.00 |
| | M603 | 142.88 | 239.00 | 116.00 | 323.00 | 359.00 |
| | M604 | 125.55 | 239.00 | 116.00 | 323.00 | 359.00 |
| | M605 | 126.00 | 239.00 | 116.00 | 323.00 | 359.00 |
| | M607 | 83.30 | 317.00 | 159.00 | 398.00 | 319.00 |
| | M608 | 81.60 | 317.00 | 159.00 | 398.00 | 319.00 |
| | M704 | 223.33 | 217.00 | 88.00 | 352.00 | 317.00 |
| | M705 | 223.33 | 217.00 | 88.00 | 352.00 | 282.00 |
| | M708 | 234.43 | 415.00 | 276.00 | 352.00 | 280.00 |
| | M711 | 228.88 | 415.00 | 276.00 | 352.00 | 372.00 |
| | M712 | 223.33 | 415.00 | 276.00 | 352.00 | 317.00 |
| | M709 | 223.33 | 217.00 | 88.00 | 352.00 | 317.00 |
| | M714 | 264.44 | 265.00 | 133.00 | 332.00 | 372.00 |
| | M707 | 273.00 | 87.00 | 50.00 | 331.00 | 317.00 |
| | M717 | 230.33 | 307.00 | 137.00 | 315.00 | 354.00 |

ตารางที่ 5-2 (ต่อ)

| มาตรฐานความสว่าง (ลักซ์) | ห้องเรียน | ความสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์(ลักซ์) | ความสว่างจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIA LUX ในเงื่อนไขการทดลอง | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 300 | M800 | 449.00 | 271.00 | 150.00 | 317.00 | 314.00 |
| | M801 | 199.77 | 239.00 | 120.00 | 353.00 | 348.00 |

จากตารางที่ 5-2 แสดงค่าความสว่างโดยเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างข้อกำหนดของกระทรวงแรงงานกับค่าความสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และค่าความสว่างจากหลอดไฟ LED พบว่า ค่าความสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์มีค่าความสว่างน้อยกว่า 500 ลักซ์ สำหรับห้องเขียนแบบและห้องสมุด และน้อยกว่า 300 ลักซ์ สำหรับห้องเรียนทั่วไปและห้องประชุมซึ่งไม่ถูกต้องตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน เมื่อผู้วิจัยจำลองค่าความสว่างตามเงื่อนไขต่าง ๆ สามารถสรุป ได้ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 ผลการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX พบว่ามีห้องเรียน M402 M502 M505 M6001 M6002 M603 M604 M605 M704 M705 M707 M709 M714 M800 และ M801 รวมทั้งหมด 16 ห้องที่มีความสว่างโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 300 ลักซ์ ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดค่าความสว่างโดยเฉลี่ยของกระทรวงแรง ห้องสมุดและ M4001 มีค่าความสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และห้องเรียน M4001 M4002 M4003 M431 M607 M608 M708 M711 M712 ค่าความสว่างมากกว่า 300 ลักซ์ รวมทั้งหมด 11 ห้อง ซึ่งมีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยถูกต้องตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน ซึ่งห้องเรียนที่มีความสว่างโดยเฉลี่ยน้อยกว่าข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน ผู้วิจัยวิเคราะห์ว่าสาเหตุเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. การที่หลอดไฟ LED มีระยะการติดตั้งที่ไม่เหมาะสม เพราะระยะติดตั้งโคมไฟเดิมนั้นออกแบบสำหรับการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีมุมการกระจายแสงสว่างที่มากกว่าหลอดไฟ LED ดังนั้นการกำหนดระยะห่างโคมไฟและจำนวนของโคมไฟจึงไม่เหมาะสมเมื่อนำมาใช้กับหลอดไฟ LED

2. หลอดไฟ LED ไม่เหมาะสมกับโคมไฟ เพราะลักษณะการกระจายของหลอดไฟ LED มีลักษณะการกระจายเป็นเส้นตรงลงมายังพื้นเท่านั้น ไม่สามารถกระจายแสงขึ้นไปบนโคมไฟได้ ซึ่งโคมไฟเดิมนั้นเหมาะสมกับการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เพราะหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์สามารถกระจายแสงได้ 360 องศา โคมไฟจะสะท้อนแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ให้สามารถ

กระจายแสงได้ในมุมที่มากขึ้น แต่เมื่อพิจารณารูปภาพจากการจำลองความสว่างแบบ 3 มิติในตารางที่ 4-1 พบว่า พื้นที่บางส่วนในห้องมีความสว่างเป็นสีเขียว พื้นที่สีเขียวหมายถึงว่าพื้นที่นั้น ๆ มีความสว่างมากกว่า 300 ลักซ์ ซึ่งเป็นความสว่างที่ถูกต้องตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าพื้นที่ส่วนนั้นเป็นพื้นที่ที่อยู่บริเวณตรงกลางห้องเรียนซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ในการมอง อ่านหนังสือหรือจดบันทึกต่าง ๆ

เงื่อนไขที่ 2 ผลการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX พบว่าทุกห้องเรียนมีความสว่างโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 300 ลักซ์ ห้องเรียนที่มีความสว่างโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ห้อง M707 มีความสว่างเพียง 50 ลักซ์ ซึ่งข้อกำหนดของกระทรวงแรงงานได้กำหนดค่าความสว่างโดยเฉลี่ยต้องไม่น้อย 500 ลักซ์ สำหรับที่ใช้ทำงานความละเอียดสูง และ 300 ลักซ์ สำหรับห้องทั่วไป ผู้วิจัยวิเคราะห์ได้ว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความสว่างไม่เพียงพอ สาเหตุเกิดจากสาเหตุ 3 ประการ คือ

1. การที่หลอดไฟ LED มีระยะการติดตั้งที่ไม่เหมาะสม ซึ่งระยะติดตั้งโคมไฟเดิมนั้นออกแบบสำหรับการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีมุมการกระจายแสงสว่างที่มากกว่าหลอดไฟ LED ดังนั้นการกำหนดระยะระหว่างโคมไฟและจำนวนของโคมไฟไม่มีความเหมาะสมเมื่อนำมาใช้กับหลอดไฟ LED

2. หลอดไฟ LED ไม่เหมาะสมกับโคมไฟ เนื่องจากลักษณะการกระจายของหลอดไฟ LED มีลักษณะการกระจายเป็นเส้นตรงลงมายังพื้นเท่านั้น ไม่สามารถกระจายแสงขึ้นไปบนโคมไฟได้ ซึ่งโคมไฟเดิมนั้นเหมาะสมกับการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เพราะหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์สามารถกระจายแสงได้ 360 องศา ซึ่งโคมไฟจะสะท้อนแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ให้สามารถกระจายแสงได้ในมุมที่มากขึ้น

3. การลดจำนวนการติดตั้งหลอดไฟ LED โคมไฟละ 1 หลอด เพราะเงื่อนไขที่ 2 ติดตั้งหลอดไฟ LED ในลักษณะเดียวกับเงื่อนไขที่ 1 แต่ลดการติดตั้งหลอดไฟ LED โคมไฟละ 1 หลอด จึงทำให้หลอดไฟ LED ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ส่งผลให้ความสว่างจึงน้อยกว่าข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน

จากสาเหตุดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่ 2 ไม่เหมาะสมกับการใช้ภายในอาคารเรียนกรณีศึกษา

เงื่อนไขที่ 3 ผลการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX พบว่าห้องสมุดและห้อง M4001 มีค่าความสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และห้อง M4001 M4002 M4003 M402 M431 M502 M505 M521 M6001 M6002 M603 M604 M605 M606 M608 M704 M705 M708 M711 M712 M707 M709 M714 M717 M800 และ M803 มีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยมากกว่า 300 ลักซ์

ซึ่งรวมห้องเรียนที่ถูกต้องตามข้อกำหนดทั้งหมด 27 ห้อง ผู้วิจัยวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1. การเลือกใช้หลอดไฟ LED แบบสำเร็จและประสิทธิภาพสูง หลอดไฟ LED ชนิดนี้สามารถให้ความสว่างได้มากถึง 3,200 ลูเมนต่อหลอด ซึ่งค่าความสว่างมากกว่าหลอดไฟ LED แบบ Eco fit LED tube ถึง 2 เท่า

2. ตำแหน่งการติดตั้งและจำนวนของหลอดไฟมีความเหมาะสมกับปริมาตรของห้อง เนื่องจากเงื่อนไขที่ 3 นี้ สามารถออกแบบระยะการติดตั้งและจำนวนหลอดไฟ LED ให้เหมาะสมกับมุมการกระจายแสงของหลอดไฟ LED ได้ จึงทำให้ค่าสว่างสามารถกระจายได้สม่ำเสมอทั่วห้อง

เงื่อนไขที่ 4 ผลการจำลองค่าความสว่างด้วยโปรแกรม DIA LUX พบว่าห้องสมุดและห้อง M4001 มีค่าความสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ และห้อง M4001 M4002 M4003 M402 M431 M502 M505 M521 M6001 M6002 M603 M604 M605 M606 M608 M704 M705 M708 M711 M712 M707 M709 M714 M717 M800 และ M803 มีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยมากกว่า 300 ลักซ์ ซึ่งรวมห้องเรียนที่ถูกต้องตามข้อกำหนดทั้งหมด 27 ห้อง ผู้วิจัยวิเคราะห์เกิดจากตำแหน่งการติดตั้งและจำนวนของหลอดไฟมีความเหมาะสมกับปริมาตรของห้อง เนื่องจากเงื่อนไขที่ 4 นี้ สามารถออกแบบระยะการติดตั้งและจำนวนหลอดไฟ LED ให้เหมาะสมกับมุมการกระจายแสงของหลอดไฟ LED ได้ จึงทำให้ค่าสว่างสามารถกระจายได้สม่ำเสมอทั่วห้อง

## การอภิปรายการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ในตารางที่ 4-2 และการใช้พลังงานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในตารางที่ 3-2 ผู้วิจัยนำหน่วยการใช้พลังงานของทั้ง 2 ตาราง มาเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาความแตกต่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5-3 การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้หลอดไฟ LED เปรียบเทียบกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

| **การใช้หลอดไฟ** | **เงื่อนไขการทดลองที่** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** |
| การใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ | 76,415.91 | | | |

ตารางที่ 5-3 (ต่อ)

| การใช้หลอดไฟ | เงื่อนไขการทดลองที่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| การใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED | 35,161.22 | 22,018.24 | 14,137.29 | 26,879.74 |
| ความแตกต่างของหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า (%) | 54.03 | 71.18 | 81.42 | 64.82 |

จากตารางที่ 5-3 แสดงความแตกต่างของระหว่างการใช้พลังงานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไฟ LED ในเงื่อนไขการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไข พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟ LED ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 4 เงื่อนไข เงื่อนไขที่มีความแตกต่างมากที่สุดคือ เงื่อนไขการทดลองที่ 3 ที่มีการใช้พลังงานเพียง 14,137.29 หน่วย หรือคิดเป็น 81.42 เปอร์เซ็นต์ หรือเงื่อนไขที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด คือเงื่อนไขที่ 1 มีการใช้พลังงานเพียง 35,161.22หน่วย หรือคิดเป็น 54.03 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่าการใช้หลอดไฟ LED สามารถลดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 54.03 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 81.42 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและเงื่อนไขการเลือกใช้หลอดไฟ LED เช่นกัน

## การอภิปรายค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากตารางที่ 4-7 แสดงค่าความแตกต่างของค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดไฟ LED และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ สรุปได้ว่าค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าของการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 ถึง เงื่อนไขการทดลองที่ 4 สามารถลดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 5-4 ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้หลอดไฟ LED เปรียบเทียบกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

| ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า | เงื่อนไขการทดลอง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบค่า Ft คงที่ตลอดระยะเวลาโครงการ | | | | |
| หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ | 210,545.23 | | | |

ตารางที่ 5-4 (ต่อ)

| ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า | เงื่อนไขการทดลอง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** |
| หลอดไฟ LED | 96,498.63 | 60,165.49 | 38,378.98 | 73,807.56 |
| ความแตกต่างของค่าบริการ (%) | 54.17 | 71.42 | 81.77 | 64.94 |
| ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบค่า Ft ปรับตามสภาะเงินเฟ้อ | | | | |
| หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ | 212,924.76 | | | |
| หลอดไฟ LED | 97,593.60 | 68,555.82 | 38,819.09 | 74,646.95 |
| ความแตกต่างของค่าบริการ (%) | 54.17 | 71.42 | 81.77 | 64.94 |

จากตารางที่ 5-4 แสดงความแตกต่างของระหว่างค่าบริการการใช้พลังงานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไฟ LED ทั้งการคำนวณแบบค่า Ft คงที่และแบบปรับตามสภาวะเงินเฟ้อจากเงื่อนไขการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไข พบว่าค่าบริการพลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟ LED น้อยกว่าการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ทุกเงื่อนไข ทั้ง 2 กรณี ซึ่งผลของความแตกต่างของค่าบริการมีความสอดคล้องกันกับตารางที่ 5-3 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางสามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่ลดค่าบริการได้มากที่สุด คือ เงื่อนไขการทดลองที่ 3 สามารถลดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 81.77 เปอร์เซ็นต์ หรือเงื่อนไขที่ลดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้น้อยที่สุด คือ เงื่อนไขที่ 1 สามารถลดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 54.17 เปอร์เซ็นต์ ผลจากตางรางที่ 5-4 มีความสอดคล้องกับการลดใช้พลังงานไฟฟ้าในจากตารางที่ 5-3 จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้หลอดไฟ LED อย่างเหมาะสมจะสามารถลดค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าจะมีการปรับวิธีการคำนวณค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าก็ตาม โดยค่าความแตกต่างของการลดการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับชนิดและเงื่อนไขการเลือกใช้หลอดไฟ LED

## การอภิปรายการเลือกโครงการ

จากผลการพิจารณาค่าความสว่างของตารางที่ 5-1 ถึง ตารางที่ 5-4 ผู้วิจัยพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง ค่าความสว่างตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน การใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเรียนกรณีศึกษา ผู้วิจัยสรุปได้ว่า เงื่อนไขการทดลองที่ควรไปนำไปปรับปรุงอาคารเรียนกรณีศึกษา คือ เงื่อนไข

การทดลองที่ 1 เงื่อนไขการทดลองที่ 3 และเงื่อนไขการทดลองที่ 4 โดยที่ผู้วิจัยสรุปสาเหตุดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-5 ผลสรุปการทดลองตามเงื่อนไขต่าง ๆ

| เงื่อนไขการทดลอง | ผลจากการพิจารณา | | |
|---|---|---|---|
| | ค่าความสว่างตามมาตรฐาน | การใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) | ค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้า (บาท) |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 1 | ผ่าน | ลดลง | ลดลง |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 2 | ไม่ผ่าน | ลดลง | ลดลง |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 3 | ผ่าน | ลดลง | ลดลง |
| เงื่อนไขการทดลองที่ 4 | ผ่าน | ลดลง | ลดลง |

จากตารางที่ 5-5 สรุปได้ว่าเงื่อนไขการทดลองที่ 1 เงื่อนไขการทดลองที่ 3 และเงื่อนไขการทดลองที่ 4 โดยทั้ง 3 เงื่อนไขสามารถให้ค่าความสว่างได้ตามข้อกำหนดของกระทรวงแรงงาน ลดการใช้พลังงานได้และลดค่าบริการการใช้พลังงานลงได้ จึงควรไปนำศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ต่อไปและเงื่อนไขการทดลองที่ 2 ไม่ควรไปนำไปศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED เนื่องจากค่าความสว่างโดยเฉลี่ยและภาพแสดงผลการจำลองความสว่างแบบ 3 มิติ ทำให้ทราบว่าทุกห้องเรียนมีค่าความสว่างน้อยกว่าข้อกำหนดทั้งสิ้น จึงไม่ควรนำไปใช้งานในพื้นที่จริง เพราะปัญหาแสงสว่างที่ไม่เพียงพอ ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความเมื่อยล้าของดวงตา ความเครียด และผลกระทบต่อสภาพจิตใจทำให้เบื่อการทำงานหรือกิจกรรมต่าง ๆ ถึงแม้ว่าจะลดการใช้พลังงานและค่าบริการการใช้พลังงานไฟฟ้าก็ตาม

## การอภิปรายความเป็นไปได้ของโครงการใช้หลอดไฟ LED

การประเมินโครงการ ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางการประเมินโครงการโดยการพิจารณาจะพิจารณามูลค่าสุทธิ (Net present value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate return, IRR) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit cost ratio, B/C) และระยะคืนทุน (Payback period, PB) โดยผู้วิจัยได้กำหนดอายุโครงการ 10 ปี โดยอ้างอิงตามอายุการใช้งานของหลอดไฟ LED ผู้วิจัยได้คำนวณ ได้ดังนี้

ตารางที่ 5-6 ความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 เงื่อนไขการทดลองที่ 3 และเงื่อนไขการทดลองที่ 4

| เงื่อนไขการทดลองที่ | มูลค่าสุทธิ (NPV) | | อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) | | อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | | ระยะเวลาคืนทุน (PB) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วิธีที่ 1 | วิธีที่ 2 | วิธีที่ 1 | วิธีที่ 2 | วิธีที่ 1 | วิธีที่ 2 | วิธีที่ 1 | วิธีที่ 2 |
| 1 | 878.29 | 888.73 | 2.31 | 2.32 | 24 % | 24 % | 3.68 | 3.68 |
| 3 | -359.07 | -343.30 | 0.85 | 0.86 | 0 % | 0 % | N/A | 9.96 |
| 4 | 214.27 | 226.79 | 1.15 | 1.16 | 6 % | 6 % | 7.41 | 7.37 |

หมายเหตุ: วิธีที่ 1 คือ การคำนวณแบบค่า Ft คงที่และวิธีที่ 2 คือ การคำนวณแบบค่า Ft ปรับตามสภาวะเงินเฟ้อ

จากตารางที่ 5-6 แสดงผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเงื่อนไขการใช้หลอดไฟ LED ในอาคารเรียนกรณีศึกษาทั้ง 2 วิธีการคำนวณ เมื่อพิจารณาค่าที่แสดงในตารางแล้ว จะเห็นถึงความสอดคล้องของผลจากการศึกษาความเป็นไปได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมกับการดำเนินโครงการมากที่สุด คือ เงื่อนไขการทดลองที่ 1 เนื่องจากเงื่อนไขการทดลองที่ 1 มีผลการประเมินที่ดีกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ ทั้งผลการคำนวณมูลค่าสุทธิของโครงการ อัตราผลตอบแทนของโครงการ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนที่ใช้เวลาเพียง 3.68 ปี และเงื่อนไขที่ไม่สมควรลงทุนดำเนินโครงการคือ เงื่อนไขการทดลองที่ 3 เนื่องจากผลการประเมินโครงการมีทิศทางเชิงลบทั้งสิ้น ทั้งผลการคำนวณมูลค่าสุทธิของโครงการ อัตราผลตอบแทนของโครงการและอัตราผลตอบแทนภายใน ซึ่งดัชนีเหล่านี้ต่างชี้ไปทิศทางที่ไม่ควรลงทุนดำเนินโครงการ

## สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED เมื่อพิจารณาผลการทดลองด้านการให้ค่าความสว่างตามข้อกำหนด การใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าบริการการใช้พลังงานและการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ผู้วิจัยสรุปได้ว่า เมื่ออาคารเกษม จาติกวณิช ต้องการใช้หลอดไฟ LED ภายในอาคาร สามารถใช้หลอดไฟ LED ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 กำหนด

แนวทางการปรับปรุงได้ คือ การใช้หลอดไฟ LED ทดแทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบทดแทนตามจำนวนหลอดไฟเดิม ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำหลอดไฟ LED มาใช้ได้ทันที ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงฝ้าและเพดานของอาคาร ถึงแม้ว่าค่าความสว่างโดยเฉลี่ยจะน้อยกว่าข้อกำหนดของกระทรวงแรงงานแต่พื้นที่ใช้งานมีค่าความสว่างถูกต้องตามข้อกำหนด แต่หากต้องการใช้อาคารเกษม จาติกวณิช มีการปรับปรุงโครงสร้างหรือทางมหาวิทยาลัยต้องการให้มีความเรียบร้อยสวยงามและลดจำนวนหลอดไฟที่จะใช้งานในอาคาร ควรพิจารณาเงื่อนไขการทดลองที่ 4 เป็นแนวทางการปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพในเรื่องของความสว่างมากขึ้นรวมถึงสามารถขยายระยะเวลาในการบำรุงรักษาได้ เพราะหลอดไฟ LED ชนิดสำเร็จรูปมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไฟ LED ชนิด Replacement รวมถึงความง่ายในการบำรุงรักษา เพราะหลอดไฟ LED แบบสำเร็จรูป เมื่อเกิดความเสียหาย ก็สามารถถอดเปลี่ยนได้ทั้งชุดเลย ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์เป็นชิ้นเหมือนกับ หลอดไฟ LED ชนิด Replacement ที่ต้องใช้อุปกรณ์แปลงคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นแล้วถึงแม้ว่าหลอดไฟ LED แบบสำเร็จรูปจะมีราคาแพงและมีความจำเป็นต้องปรับปรุงอาคารก็ตาม

# บรรณานุกรม


กองพัฒนาระบบไฟฟ้าฝ่ายวิจัยและพัฒนาระบบไฟฟ้าและสำนักงานบริหารจัดการเพื่อการประหยัดพลังงาน. (ม.ป.ป.). *โครงการนำร่องติดตั้งหลอดไฟประหยัดพลังงานแบบ LED ภายในอาคาร 4 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่*. เข้าถึงได้จาก http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/filesLED/version203D20news.pdf.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. (2556). *ข้อมูลเบื้องต้นงานส่งเสริมการใช้หลอด LED*. เข้าถึงได้จาก https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานนโยบายพลังงานและแผนพลังงาน (สนพ.). (2555). *โครงการอุตสาหกรรมประหยัดไฟ ช่วยไทยลดใช้พลังงาน*. เข้าถึงได้จาก http://ensol.co.th/th/esco/57-pea-1-save-1-baht-for-factories-th.html.

กิตติเป้าอัน พงษ์กูล และจรรยาพร จุลตามระ. (2558). การประเมินคุณภาพระบบแสงสว่างภายนอกอาคารแบบปรับตามการใช้งาน: การวิจัยเชิงทดลอง. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ "สถาปัตย์กระบวนทัศน์"*, 2558, pp. 319 – 332.

ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล และเฉลิมชาติ มานพ. (2551). *การศึกษาสมรรถนะการออกแบบส่องสว่างโดยใช้แอลอีดีกำลังสูง*. เข้าถึงได้จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/node/301.

ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. (2545). *เทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี

ชำนาญ ห่อเกียรติ. (2540). *เทคนิคการส่องสว่าง*. ครั้งที่พิมพ์ 1. กรุงเทพ:สำนักพิมพ์ มก.

ชิดชนก ประสพสุข และปุณณมี สัจจกมล. (2555). การอนุรักษ์พลังงานและการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วย LED กรณีศึกษาบริษัทต้าชิงคอตตอนไทย. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555*, 2555, pp. 1091-1095.

ธวัชชัย ประดู่. (2558). ประสิทธิภาพการใช้หลอด LED ในการเพิ่มแสงสว่างและลดการใช้พลังงานภายใน ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา. *PULINET Journal*, *2*(3), pp.50-56.

นริศรา คุ้มรักษา. (2558). การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้หลอดไฟ LED ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. ระดับการค้นคว้าอิสระ, ภาควิชาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ปีงบประมาณ 2561. (2561). *บัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ปีงบประมาณ 2561*. เข้าถึงได้จาก http://plan.loei1.go.th/news/baychirakhawasdukxsranglaeakharaengnganpingbpraman2561.

บริษัท เลคิเซ่ ไลท์ติ้ง จำกัด. (2560). *การคำนวณจุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนมาใช้หลอด LED ลดโลกร้อน*. เข้าถึงได้จาก http://www.lekise.co.th/payback.php

ประภาศิลป์ เอนกสุวรรณมณี. (2555). *การศึกษาความคุ้มค่าของโครงการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน กองคุริยางค์ทหารบก*. ระดับงานนิพนธ์, สาขาวิชาการจัดการเพื่อความมั่นคง, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.

ประสิทธิ พิทยพัฒน์. 2543. การออกแบบระบบไฟฟ้า. ครั้งที่พิมพ์ 4. กรุงเทพ:ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยะพล บวรอุดมวงศ์ และสาธิต พุทธชัยยงค์. (2558). *การศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานทอผ้าด้วยเครื่องทอระบบส่งเส้นด้ายพุ่งด้วยน้ำ*. เข้าถึงได้จาก http://dspace.rmutk.ac.th/handle/123456789/156.

พิบูลย์ ดิษฐอุดม. (2535). *การออกแบบระบบแสงสว่าง*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยูเคชั่น

มนตรี เงาเดช. (2560). *การออกแบบระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง*. เข้าถึงได้จาก http://montri.rmutl.ac.th/การออกแบบระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง.html

ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์. (2560). *LED เทคโนโลยีแสงสว่างแห่งอนาคต*. เข้าถึงได้จาก http://www.boi.go.th/thai/download/publication_economy_extra/158/eco_27aug07.pdf

ลีลาวดี กำวงษ์และหทัยพร พ่วงยิ่ง. (2551). *การควบคุมการผสมสีของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง*. ระดับปริญญานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุทธิศักดิ์ เต็มเกษมสุข. (2555). การศึกษาความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ด้วยแอลอีดีในโคมไฟป้องกันการระเบิด. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555,* 2555, pp. 666-673.

สุนทรี เหล่าจันพัด และจตุพร ตังคธัช. (2554). *การตัดสินใจลงทุนโครงการ*. เข้าถึงได้จาก http://msSrc.ku.ac.th/eLearning/Download/DataSheet/2011/Aug/762313/762313%20Chapter8%20Mult%20Cap%20Budgeting.pdf

สุริยปกร งามสรรพศิร. (2551) . *คู่มือการออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยโปรแกรม DIA LUX* . ระดับปริญญานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

หทัยชนก หมื่นกล้า. (2556). พลังหลอด LED. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, *5*, pp. 36-40.

อัคราวุฒิ ครองยุติ, พัฒนะ รักความสุข และกูสกานา กูบาฮา. (2557.). *การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน ในอาคารสาธารณะ*. ในวารสารวิชาการวิจัย มทร.พระนครฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, pp. 81-90.

อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์. (2559). การตัดสินใจเพื่อการลงทุน. เข้าถึงได้จาก http://home.kku.ac.th//anuton/3526301/Doc_04.pdf

อุมาพร สุภาวงศ์ และอภิชิต เทิดโยธิน. (2559). *ศักยภาพของการลดการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากการส่งเสริมการใช้หลอดไฟแอลอีดีของบ้านอยู่อาศัยในเขตความรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง*. ระดับวิทยานิพนธ์, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Catalog Phillip Indoor Luminaire. (2017). *Brochures / Catalogs*. Retrieved from http://www.lighting.philips.co.th/support/support/downloads.

# ภาคผนวก

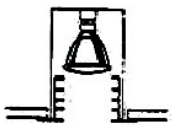
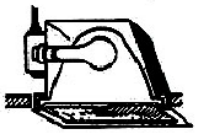
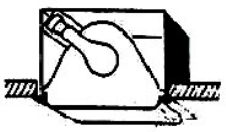
**ภาคผนวก ก**

ภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่าง ๆ เมื่อคำนวณด้วยวิธีอัตราส่วนโพรง (Zonal cavity method) วิธีอัตราส่วนห้อง (Room ratio) และตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไป

| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความสั้นแสงและอัตราส่วนผลของหลอดไฟ | | $\rho_{cc}$→ | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\rho_w$→ | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม | SC* | RCR ↓ | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์มีค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{fc}$ = 20) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | V | 1.5 | 0 | .87 | .87 | .87 | .81 | .81 | .81 | .70 | .70 | .70 | .59 | .59 | .59 | .49 | .49 | .49 | .45 |
| โคมแขวนทรงกลม | | | 1 | .71 | .67 | .63 | .66 | .62 | .59 | .56 | .53 | .50 | .47 | .45 | .42 | .38 | .37 | .35 | .31 |
| สำหรับหลอดไส้ | $35\frac{1}{2}$% | | 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 |
| | 45% | | 4 | .46 | .39 | .33 | .42 | .36 | .30 | .36 | .31 | .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 | .22 | .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 | II | NA | 0 | .82 | .80 | .80 | .72 | .72 | .72 | .50 | .50 | .50 | .36 | .36 | .36 | .12 | .12 | .12 | .03 |
| โคมแขวนแบบวงแหวนหลายวง | | | 1 | .72 | .69 | .66 | .62 | .60 | .57 | .43 | .42 | .40 | .26 | .25 | .25 | .10 | .10 | .10 | .03 |
| สำหรับหลอดไส้ชนิดเคลือบฝ้น | 83% | | 2 | .63 | .58 | .54 | .54 | .50 | .47 | .38 | .36 | .33 | .23 | .22 | .21 | .09 | .09 | .08 | .02 |
| | | | 3 | .56 | .49 | .45 | .48 | .43 | .39 | .33 | .30 | .28 | .20 | .19 | .17 | .08 | .08 | .07 | .02 |
| | $3\frac{1}{2}$% | | 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 | .05 | .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 | .26 | .20 | .16 | .22 | .17 | .14 | .16 | .12 | .10 | .10 | .08 | .06 | .04 | .03 | .03 | .01 |
| 3 | IV | 1.3 | 0 | .99 | .99 | .99 | .97 | .97 | .97 | .93 | .93 | .93 | .89 | .89 | .89 | .85 | .85 | .85 | .83 |
| โคมแขวนกระเบื้องเคลือบ | | | 1 | .88 | .85 | .82 | .86 | .83 | .81 | .83 | .80 | .78 | .79 | .78 | .76 | .77 | .75 | .73 | .72 |
| สำหรับหลอดไส้ | 0% | | 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 |
| | $83\frac{1}{3}$% | | 4 | .61 | .54 | .49 | .59 | .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 | .42 | | | |
| | | | 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 | .35 | .30 | .26 | .35 | .30 | .26 | .24 |
| | | | 9 | .35 | .28 | .23 | .34 | .27 | .23 | .33 | .27 | .23 | .32 | .27 | .23 | .31 | .25 | .22 | .21 |
| | | | 10 | .31 | .25 | .20 | .31 | .24 | .20 | .30 | .24 | .20 | .29 | .24 | .20 | .28 | .23 | .20 | .19 |
| 4 | V | 1.3 | 0 | .89 | .89 | .89 | .85 | .85 | .85 | .77 | .77 | .77 | .70 | .70 | .70 | .63 | .63 | .63 | .60 |
| โคมสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีการกระจายแสง | $18\frac{1}{2}$% | | 1 | .79 | .76 | .72 | .74 | .72 | .69 | .68 | .66 | .64 | .62 | .60 | .58 | .56 | .55 | .54 | .51 |
| แบบเกล็ดแก้ว | | | 2 | .69 | .65 | .61 | .68 | .62 | .58 | .61 | .57 | .54 | .58 | .53 | .50 | .51 | .49 | .47 | .44 |
| | $60\frac{1}{2}$% | | 3 | .63 | .57 | .53 | .60 | .55 | .50 | .55 | .51 | .47 | .53 | .47 | .44 | .46 | .43 | .41 | .39 |
| | | | 4 | .56 | .50 | .46 | .54 | .49 | .44 | .50 | .45 | .42 | .48 | .42 | .39 | .42 | .39 | .37 | .35 |
| | | | 5 | .51 | .45 | .40 | .49 | .43 | .39 | .46 | .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 | IV | 0.8 | 0 | 1.19 | 1.19 | 1.19 | 1.18 | 1.18 | 1.18 | 1.11 | 1.11 | 1.11 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.00 |
| โคมฝังชนิดไม่มีตัวกันแสง | 0% | | 1 | 1.09 | 1.07 | 1.04 | 1.07 | 1.06 | 1.02 | 1.06 | 1.01 | .99 | .98 | .96 | .96 | .96 | .95 | .99 | .92 |
| ใช้กับหลอด R-40 | | | 2 | 1.01 | .97 | .93 | .99 | .95 | .92 | .96 | .93 | .90 | .93 | .90 | .88 | .90 | .88 | .86 | .84 |
| | 100% | | 3 | .92 | .88 | .84 | .90 | .87 | .83 | .89 | .86 | .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 | .69 | | | |
| | | | 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 | .59 | .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 | IV | 0.7 | 0 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | .99 | .99 | .99 | .94 | .94 | .94 | .90 | .90 | .90 | .87 | .87 | .87 | .85 |
| โคมฝังชนิดมีตัวสะท้อนแสง 45° | 0% | | 1 | .96 | .94 | .93 | .94 | .92 | .91 | .93 | .92 | .90 | .87 | .86 | .85 | .84 | .84 | .83 | .83 |
| แบบติดลอกใช้กับหลอด R-40 | | | 2 | .91 | .88 | .86 | .90 | .87 | .85 | .87 | .85 | .83 | .84 | .83 | .82 | .82 | .81 | .80 | .79 |
| | 85% | | 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 | .73 | .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 | .66 | .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 |

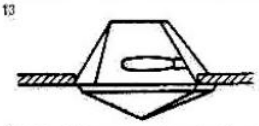
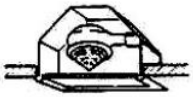
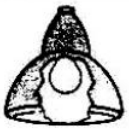
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ภาพภาคผนวก ก-1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่าง ๆ เมื่อคำนวณด้วยวิธี Zonal cavity method

| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความสว่างและอัตราส่วนลูเมนของหลอดไฟ | $\rho_{cc}$* | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\rho_w$* | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม | SC* | RCR | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{cc}$ = 20) | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 โคมฝังแบบมีช่องเปิดให้แสงออก 51 มม. | IV | 0.7 | 0 | .52 | .52 | .52 | .51 | .51 | .51 | .48 | .48 | .48 | .46 | .46 | .46 | .45 | .45 | .45 | .44 |
| | 0% | | 1 | .49 | .48 | .48 | .48 | .48 | .47 | .47 | .46 | .46 | .45 | .45 | .44 | .44 | .43 | .43 | .42 |
| | $43\frac{1}{2}$% | | 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 | .39 | .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 | .36 | .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 โคมฝังแบบกระจายแสงปานกลางผ่านแลนส์ใช้กับหลอดเดลือบสาร | V | 1.0 | 0 | .55 | .55 | .55 | .53 | .53 | .53 | .50 | .50 | .50 | .58 | .58 | .58 | .55 | .55 | .55 | .54 |
| | 0% | | 1 | .50 | .58 | .57 | .58 | .57 | .56 | .56 | .55 | .54 | .54 | .53 | .52 | .52 | .52 | .51 | .50 |
| | $54\frac{1}{2}$% | | 2 | .55 | .53 | .51 | .54 | .52 | .50 | .52 | .50 | .49 | .51 | .49 | .48 | .49 | .48 | .47 | .46 |
| | | | 3 | .51 | .49 | .46 | .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 | .32 | .29 | .28 |
| | | | 9 | .33 | .29 | .27 | .32 | .29 | .27 | .32 | .29 | .26 | .31 | .28 | .26 | .31 | .28 | .26 | .25 |
| | | | 10 | .30 | .27 | .25 | .30 | .27 | .24 | .30 | .27 | .24 | .29 | .26 | .24 | .29 | .26 | .24 | .23 |
| 9  โคมฝังชนิดส่องแสงด้านล่างแบบเปิดช่องขนาด 140 มม. ใช้กับหลอด 150 PAR/FL | IV | 0.5 | 0 | .82 | .82 | .82 | .80 | .80 | .80 | .78 | .78 | .78 | .73 | .73 | .73 | .70 | .70 | .70 | .69 |
| | 0% | | 1 | .78 | .77 | .76 | .77 | .76 | .75 | .74 | .74 | .73 | .72 | .71 | .71 | .69 | .69 | .69 | .68 |
| | $68\frac{1}{2}$% | | 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 | .66 | .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 | 0.5 | 0 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | .99 | .99 | .99 | .96 | .96 | .96 | .91 | .91 | .91 | .87 | .87 | .87 | .85 |
| | 0% | | 1 | .97 | .96 | .94 | .96 | .94 | .92 | .92 | .91 | .90 | .88 | .88 | .87 | .86 | .86 | .84 | .83 |
| | 85% | | 2 | .93 | .91 | .89 | .91 | .89 | .88 | .89 | .87 | .86 | .86 | .85 | .84 | .84 | .83 | .82 | .81 |
| | | | 3 | .90 | .87 | .86 | .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 | .78 | .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  โคมฝังชนิดกระจายแสงกว้างผ่านแลนส์ใช้กับหลอดเคลือบสาร | V | 1.4 | 0 | .63 | .63 | .63 | .62 | .62 | .62 | .59 | .59 | .59 | .57 | .57 | .57 | .54 | .54 | .54 | .53 |
| | 0% | | 1 | .58 | .56 | .54 | .57 | .55 | .54 | .54 | .53 | .52 | .52 | .51 | .50 | .50 | .50 | .49 | .48 |
| | $53\frac{1}{2}$% | | 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 | .29 | .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 | .22 | .21 | .27 | .23 | .21 | .026 | .23 | .21 | .26 | .23 | .20 | .25 | .23 | .20 | .19 |
| | | | 10 | .25 | .21 | .18 | .25 | .21 | .18 | .24 | .21 | .18 | .24 | .20 | .18 | .23 | .20 | .28 | .17 |
| 12  โคมฝังชนิดมีกระจกแก้วกระจายแสงทึบ | V | 1.3 | 0 | .62 | .62 | .62 | .60 | .60 | .60 | .57 | .57 | .57 | .54 | .54 | .54 | .52 | .52 | .52 | .51 |
| | $1\frac{1}{3}$% | | 1 | .53 | .51 | .48 | .52 | .49 | .47 | .49 | .47 | .46 | .47 | .45 | .44 | .46 | .43 | .42 | .41 |
| | $50\frac{1}{2}$% | | 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 | .28 | .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 | .16 | .13 | .19 | .15 | .12 | .18 | .14 | .12 | .18 | .14 | .12 | .17 | .14 | .12 | .11 |

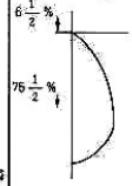
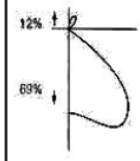
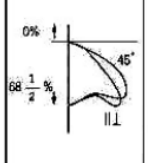
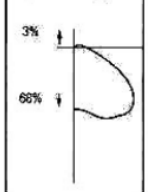
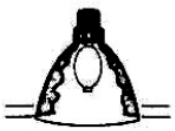
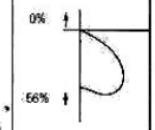
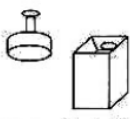
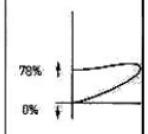
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอุณหภูมิของหลอดไฟ | | $\rho_{cc}$→ | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\rho_w$→ | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม | SC* | RCR ↓ | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{fc}$ = 20) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13  โคมฝังชนิดกระจายแสงออก 2 ข้างแบบมีปีกค้างคาวผ่านเลนส์แบบเกล็ดแก้วใช้กับหลอด HID ชนิดใส | V | N.A | 0 | .87 | .87 | .87 | .85 | .85 | .85 | .80 | .80 | .80 | .76 | .76 | .76 | .73 | .73 | .73 | .71 |
| | | | 1 | .76 | .73 | .70 | .74 | .71 | .69 | .71 | .68 | .66 | .67 | .65 | .64 | .64 | .63 | .61 | .60 |
| | | | 2 | .67 | .62 | .58 | .66 | .61 | .57 | .63 | .59 | .56 | .60 | .57 | .54 | .57 | .55 | .53 | .51 |
| | | | 3 | .59 | .54 | .49 | .58 | .53 | .48 | .56 | .51 | .47 | .53 | .49 | .46 | .51 | .48 | .45 | .43 |
| | | | 4 | .53 | .47 | .42 | .52 | .46 | .42 | .50 | .45 | .41 | .48 | .44 | .40 | .46 | .42 | .39 | .38 |
| | | | 5 | .47 | .41 | .36 | .46 | .40 | .36 | .44 | .39 | .35 | .43 | .38 | .35 | .41 | .37 | .34 | .32 |
| | | | 6 | .42 | .36 | .31 | .41 | .35 | .31 | .40 | .34 | .30 | .38 | .33 | .30 | .37 | .33 | .29 | .28 |
| | | | 7 | .37 | .31 | .26 | .37 | .31 | .26 | .35 | .30 | .26 | .34 | .29 | .25 | .33 | .28 | .25 | .24 |
| | | | 8 | .34 | .27 | .23 | .33 | .27 | .23 | .36 | .26 | .22 | .34 | .26 | .22 | .30 | .25 | .22 | .20 |
| | | | 9 | .30 | .24 | .20 | .29 | .24 | .20 | .28 | .23 | .19 | .27 | .23 | .19 | .27 | .22 | .19 | .17 |
| | | | 10 | .27 | .21 | .17 | .27 | .21 | .17 | .26 | .20 | .17 | .25 | .20 | .17 | .24 | .19 | .16 | .15 |
| 14  โคมฝังแบบสะท้อนแสงด้วยแก้วผ่านเลนส์พลาสติกใช้กับหลอด HID ชนิดใส | V | 1.3 | 0 | .78 | .78 | .78 | .77 | .77 | .77 | .73 | .73 | .73 | .70 | .70 | .70 | .67 | .67 | .67 | .66 |
| | | | 1 | .71 | .69 | .67 | .70 | .68 | .66 | .67 | .66 | .64 | .65 | .64 | .62 | .62 | .61 | .61 | .59 |
| | | | 2 | .65 | .62 | .59 | .64 | .62 | .59 | .62 | .59 | .57 | .60 | .58 | .56 | .58 | .56 | .55 | .54 |
| | | | 3 | .59 | .55 | .52 | .58 | .55 | .52 | .57 | .53 | .51 | .55 | .52 | .50 | .53 | .51 | .49 | .48 |
| | | | 4 | .54 | .50 | .47 | .54 | .49 | .46 | .52 | .49 | .46 | .51 | .48 | .45 | .49 | .47 | .45 | .43 |
| | | | 5 | .50 | .45 | .42 | .49 | .45 | .41 | .48 | .44 | .41 | .47 | .43 | .41 | .46 | .43 | .40 | .39 |
| | | | 6 | .46 | .41 | .37 | .45 | .40 | .37 | .44 | .40 | .37 | .43 | .39 | .37 | .42 | .39 | .36 | .35 |
| | | | 7 | .41 | .37 | .33 | .41 | .36 | .33 | .40 | .36 | .33 | .39 | .35 | .33 | .38 | .35 | .32 | .31 |
| | | | 8 | .38 | .33 | .30 | .38 | .33 | .30 | .37 | .33 | .30 | .36 | .32 | .29 | .35 | .32 | .29 | .28 |
| | | | 9 | .35 | .30 | .27 | .34 | .30 | .27 | .34 | .29 | .26 | .33 | .29 | .26 | .32 | .29 | .26 | .25 |
| | | | 10 | .32 | .27 | .24 | .31 | .27 | .24 | .31 | .27 | .24 | .30 | .26 | .24 | .30 | .26 | .23 | .22 |
| 15  โคมแขวนชนิดมีตัวสะท้อนแสงรอบด้านใช้กับหลอดไส้ | V | 1.4 | 0 | .85 | .85 | .85 | .83 | .83 | .83 | .80 | .80 | .80 | .76 | .76 | .76 | .73 | .73 | .73 | .72 |
| | | | 1 | .78 | .76 | .74 | .76 | .74 | .73 | .73 | .72 | .70 | .71 | .69 | .68 | .68 | .67 | .66 | .65 |
| | | | 2 | .71 | .68 | .65 | .70 | .67 | .64 | .68 | .65 | .63 | .65 | .63 | .61 | .63 | .62 | .60 | .59 |
| | | | 3 | .65 | .61 | .57 | .64 | .60 | .57 | .62 | .59 | .56 | .60 | .57 | .55 | .59 | .56 | .54 | .53 |
| | | | 4 | .60 | .55 | .41 | .59 | .54 | .51 | .57 | .53 | .50 | .55 | .52 | .50 | .54 | .51 | .49 | .48 |
| | | | 5 | .54 | .49 | .45 | .54 | .49 | .45 | .52 | .48 | .45 | .51 | .47 | .44 | .50 | .49 | .44 | .43 |
| | | | 6 | .49 | .44 | .40 | .49 | .44 | .40 | .48 | .43 | .40 | .46 | .42 | .40 | .45 | .42 | .39 | .38 |
| | | | 7 | .44 | .39 | .35 | .44 | .39 | .35 | .43 | .38 | .35 | .42 | .38 | .35 | .41 | .37 | .35 | .33 |
| | | | 8 | .40 | .35 | .31 | .40 | .35 | .31 | .39 | .35 | .31 | .38 | .34 | .31 | .38 | .34 | .31 | .30 |
| | | | 9 | .37 | .31 | .28 | .36 | .31 | .28 | .36 | .31 | .28 | .35 | .31 | .28 | .34 | .30 | .27 | .26 |
| | | | 10 | .33 | .28 | .25 | .33 | .28 | .25 | .32 | .28 | .25 | 2 | .28 | .25 | .31 | 7 | .25 | .23 |
| 16 โคมแขวนชนิดไฮเบย์แบบกระจายแสงแคบใช้กับหลอด HID ชนิดใส | III | 0.7 | 0 | .93 | .93 | .93 | .90 | .90 | .90 | .86 | .86 | .86 | .82 | .82 | .82 | .78 | .78 | .78 | .77 |
| | | | 1 | .87 | .85 | .83 | .85 | .83 | .82 | .81 | .80 | .79 | .78 | .77 | .76 | .75 | .75 | .74 | .72 |
| | | | 2 | .81 | .79 | .76 | .80 | .77 | .75 | .77 | .75 | .73 | .75 | .73 | .72 | .72 | .71 | .70 | .69 |
| | | | 3 | .77 | .73 | .71 | .76 | .72 | .70 | .73 | .71 | .69 | .71 | .69 | .67 | .70 | .68 | .66 | .65 |
| | | | 4 | .73 | .69 | .66 | .72 | .68 | .65 | .70 | .67 | .64 | .68 | .66 | .64 | .67 | .65 | .63 | .62 |
| | | | 5 | .69 | .65 | .62 | .68 | .64 | .61 | .66 | .63 | .61 | .65 | .62 | .60 | .64 | .61 | .59 | .58 |
| | | | 6 | .65 | .61 | .58 | .64 | .61 | .58 | .63 | .60 | .57 | .62 | .59 | .57 | .61 | .58 | .56 | .55 |
| | | | 7 | .62 | .57 | .54 | .61 | .57 | .54 | .60 | .56 | .54 | .59 | .56 | .53 | .58 | .55 | .53 | .52 |
| | | | 8 | .58 | .54 | .51 | .58 | .54 | .51 | .57 | .53 | .51 | .56 | .53 | .55 | .55 | .52 | .50 | .49 |
| | | | 9 | .55 | .51 | .48 | .55 | .51 | .48 | .54 | .50 | .48 | .53 | .50 | .48 | .53 | .50 | .48 | .47 |
| | | | 10 | .53 | .49 | .46 | .52 | .48 | .46 | .52 | .48 | .46 | .51 | .48 | .45 | .50 | .47 | .45 | .44 |
| 17 โคมแขวนชนิดไฮเบย์แบบกระจายแสงปานกลางใช้กับหลอด HID ชนิดใส | III | 1.0 | 0 | .91 | .91 | .91 | .89 | .89 | .89 | .85 | .85 | .85 | .81 | .81 | .81 | .78 | .78 | .78 | .76 |
| | | | 1 | .84 | .82 | .80 | .82 | .80 | .78 | .79 | .77 | .76 | .76 | .74 | .73 | .73 | .72 | .71 | .69 |
| | | | 2 | .77 | .73 | .70 | .76 | .72 | .70 | .73 | .70 | .68 | .70 | .68 | .66 | .68 | .66 | .65 | .63 |
| | | | 3 | .71 | .66 | .63 | .69 | .65 | .62 | .67 | .64 | .61 | .65 | .62 | .60 | .63 | .61 | .59 | .57 |
| | | | 4 | .65 | .60 | .56 | .64 | .59 | .56 | .62 | .58 | .55 | .60 | .57 | .54 | .59 | .56 | .54 | .52 |
| | | | 5 | .59 | .54 | .50 | .59 | .54 | .50 | .57 | .53 | .50 | .56 | .52 | .49 | .54 | .51 | .48 | .47 |
| | | | 6 | .54 | .49 | .45 | .54 | .49 | .45 | .52 | .48 | .45 | .51 | .47 | .44 | .50 | .47 | .44 | .42 |
| | | | 7 | .50 | .44 | .40 | .49 | .44 | .40 | .48 | .43 | .40 | .47 | .43 | .39 | .46 | .42 | .39 | .38 |
| | | | 8 | .45 | .40 | .36 | .45 | .40 | .36 | .44 | .39 | .36 | .43 | .39 | .35 | .42 | .38 | .35 | .34 |
| | | | 9 | .41 | .63 | .32 | .41 | .36 | .32 | .40 | .35 | .32 | .39 | .35 | .32 | .38 | .35 | .32 | .30 |
| | | | 10 | .38 | .33 | .29 | .37 | .32 | .29 | .37 | .32 | .29 | .36 | .32 | .29 | .35 | .31 | .28 | .27 |
| 18 โคมแขวนชนิดไฮเบย์แบบกระจายแสงกว้างใช้กับหลอด HID ชนิดใส | III | 1.5 | 0 | .93 | .93 | .93 | .91 | .91 | .91 | .87 | .87 | .87 | .83 | .83 | .83 | .79 | .79 | .79 | .78 |
| | | | 1 | .85 | .82 | .80 | .83 | .81 | .79 | .79 | .78 | .76 | .76 | .75 | .74 | .74 | .72 | .71 | .70 |
| | | | 2 | .77 | .73 | .70 | .76 | .72 | .69 | .73 | .70 | .67 | .70 | .68 | .66 | .68 | .66 | .64 | .63 |
| | | | 3 | .70 | .65 | .61 | .68 | .64 | .60 | .66 | .62 | .59 | .64 | .61 | .58 | .62 | .59 | .57 | .56 |
| | | | 4 | .63 | .58 | .53 | .62 | .57 | .53 | .60 | .56 | .52 | .58 | .55 | .52 | .57 | .54 | .51 | .49 |
| | | | 5 | .57 | .51 | .47 | .56 | .51 | .47 | .55 | .50 | .46 | .53 | .49 | .46 | .52 | .48 | .45 | .44 |
| | | | 6 | .51 | .45 | .41 | .51 | .45 | .41 | .49 | .44 | .40 | .48 | .43 | .40 | .47 | .43 | .40 | .38 |
| | | | 7 | .46 | .40 | .35 | .45 | .39 | .35 | .44 | .39 | .35 | .43 | .38 | .35 | .42 | .38 | .34 | .33 |
| | | | 8 | .41 | .35 | .31 | .41 | .35 | .31 | .40 | .34 | .31 | .39 | .34 | .30 | .38 | .33 | .30 | .29 |
| | | | 9 | .37 | .31 | .27 | .37 | .31 | .27 | .36 | .30 | .27 | .35 | .30 | .27 | .34 | .30 | .26 | .25 |
| | | | 10 | .33 | .28 | .24 | .33 | .27 | .23 | .32 | .27 | .23 | .31 | .27 | .23 | .31 | .26 | .23 | .22 |

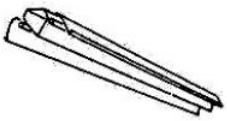
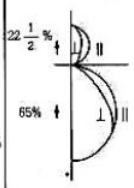
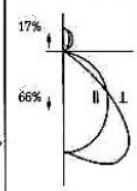
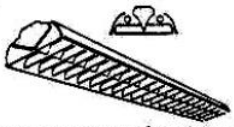
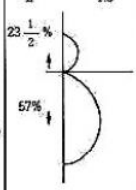
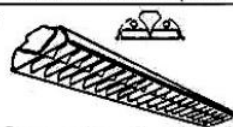
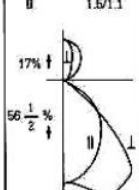
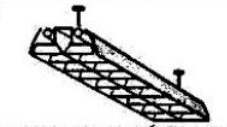
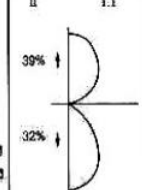
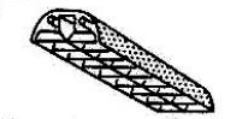
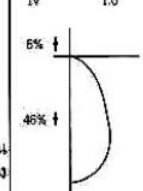
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอุณหภูมิของหลอดไฟ | $\rho_{cc}$→ | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\rho_w$→ | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม / SC* | RCR ↓ | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{fc}$ = 20) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19<br> <br>โคมแขวนชนิดไฮเบย์มีกระจายแสงปานกลางใช้กับหลอด HID ชนิดเคลือบสาร | III 1.0<br>  <br> | 0 | .98 | .96 | .96 | .93 | .93 | .93 | .88 | .88 | .88 | .83 | .83 | .83 | .78 | .78 | .78 | .76 |
| | | 1 | .89 | .87 | .84 | .86 | .84 | .83 | .82 | .80 | .79 | .78 | .76 | .75 | .74 | .73 | .72 | .70 |
| | | 2 | .82 | .79 | .76 | .80 | .77 | .74 | .76 | .74 | .72 | .73 | .71 | .69 | .70 | .68 | .67 | .65 |
| | | 3 | .76 | .72 | .68 | .74 | .70 | .67 | .71 | .68 | .65 | .68 | .66 | .63 | .66 | .63 | .62 | .60 |
| | | 4 | .70 | .66 | .62 | .69 | .65 | .61 | .66 | .63 | .60 | .64 | .61 | .58 | .62 | .59 | .57 | .55 |
| | | 5 | .65 | .60 | .56 | .64 | .59 | .56 | .62 | .58 | .54 | .60 | .56 | .53 | .58 | .55 | .52 | .51 |
| | | 6 | .60 | .55 | .51 | .59 | .55 | .51 | .57 | .53 | .50 | .56 | .52 | .49 | .54 | .51 | .48 | .47 |
| | | 7 | .56 | .50 | .47 | .55 | .50 | .46 | .53 | .49 | .46 | .52 | .48 | .45 | .50 | .47 | .44 | .43 |
| | | 8 | .52 | .47 | .43 | .51 | .46 | .43 | .50 | .45 | .42 | .48 | .44 | .41 | .47 | .43 | .41 | .40 |
| | | 9 | .48 | .43 | .39 | .47 | .42 | .39 | .46 | .42 | .39 | .45 | .41 | .38 | .44 | .40 | .38 | .36 |
| | | 10 | .45 | .40 | .36 | .44 | .39 | .36 | .43 | .39 | .36 | .42 | .38 | .35 | .41 | .37 | .35 | .34 |
| 20<br> <br>โคมแขวนชนิดไฮเบย์มีกระจายแสงกว้างใช้กับหลอด HID ชนิดเคลือบสาร | III 1.5<br>  <br> | 0 | .93 | .93 | .93 | .90 | .90 | .90 | .83 | .83 | .83 | .77 | .77 | .77 | .72 | .72 | .72 | .69 |
| | | 1 | .85 | .83 | .81 | .82 | .80 | .78 | .77 | .75 | .74 | .72 | .71 | .69 | .67 | .66 | .65 | .63 |
| | | 2 | .78 | .74 | .71 | .76 | .72 | .69 | .71 | .68 | .66 | .67 | .65 | .63 | .63 | .61 | .60 | .58 |
| | | 3 | .71 | .67 | .63 | .69 | .65 | .62 | .65 | .62 | .59 | .62 | .59 | .57 | .58 | .56 | .54 | .53 |
| | | 4 | .65 | .60 | .56 | .64 | .59 | .55 | .60 | .56 | .53 | .57 | .54 | .51 | .54 | .52 | .50 | .48 |
| | | 5 | .60 | .54 | .50 | .58 | .53 | .49 | .55 | .51 | .48 | .53 | .49 | .46 | .50 | .47 | .45 | .43 |
| | | 6 | .54 | .49 | .45 | .53 | .48 | .44 | .51 | .46 | .43 | .48 | .45 | .42 | .46 | .43 | .40 | .39 |
| | | 7 | .49 | .44 | .40 | .48 | .43 | .39 | .46 | .41 | .38 | .44 | .40 | .37 | .42 | .39 | .36 | .34 |
| | | 8 | .45 | .39 | .35 | .44 | .38 | .35 | .42 | .37 | .34 | .40 | .36 | .33 | .38 | .35 | .32 | .31 |
| | | 9 | .41 | .35 | .31 | .40 | .34 | .31 | .38 | .33 | .30 | .36 | .32 | .29 | .35 | .31 | .28 | .27 |
| | | 10 | .37 | .31 | .27 | .36 | .31 | .27 | .34 | .30 | .26 | .33 | .29 | .26 | .32 | .28 | .25 | .24 |
| 21<br> <br>โคมแขวนชนิดโลเบย์รูปสี่เหลี่ยมมีเลนส์สะท้อนแสงปิดด้านหน้าใช้กับหลอด HID ชนิดใส | V 1.8<br>  <br> | 0 | .82 | .82 | .82 | .80 | .80 | .80 | .76 | .76 | .76 | .73 | .73 | .73 | .70 | .70 | .70 | .68 |
| | | 1 | .73 | .71 | .69 | .72 | .69 | .67 | .69 | .67 | .66 | .66 | .65 | .63 | .64 | .63 | .61 | .60 |
| | | 2 | .66 | .62 | .58 | .64 | .61 | .58 | .62 | .59 | .56 | .60 | .57 | .55 | .58 | .56 | .54 | .53 |
| | | 3 | .58 | .54 | .50 | .57 | .53 | .49 | .55 | .52 | .48 | .54 | .50 | .48 | .52 | .49 | .47 | .45 |
| | | 4 | .52 | .47 | .43 | .51 | .46 | .43 | .50 | .45 | .42 | .48 | .45 | .42 | .47 | .44 | .41 | .40 |
| | | 5 | .47 | .41 | .37 | .46 | .41 | .37 | .45 | .40 | .36 | .43 | .39 | .36 | .42 | .38 | .36 | .34 |
| | | 6 | .42 | .36 | .32 | .41 | .36 | .32 | .40 | .35 | .31 | .39 | .34 | .31 | .38 | .34 | .31 | .29 |
| | | 7 | .37 | .31 | .27 | .36 | .31 | .27 | .35 | .30 | .27 | .34 | .30 | .26 | .33 | .29 | .26 | .25 |
| | | 8 | .33 | .27 | .23 | .32 | .27 | .23 | .31 | .26 | .23 | .31 | .26 | .23 | .30 | .26 | .23 | .21 |
| | | 9 | .29 | .24 | .20 | .29 | .23 | .20 | .28 | .23 | .20 | .27 | .23 | .19 | .27 | .22 | .19 | .18 |
| | | 10 | .26 | .20 | .13 | .26 | .20 | .17 | .25 | .20 | .17 | .24 | .20 | .17 | .24 | .20 | .17 | .15 |
| 22<br> <br>โคมแขวนชนิดโลเบย์มีเลนส์สะท้อนแสงปิดด้านหน้าใช้กับไส้หลอด (HID) | V 1.9<br>  <br> | 0 | .83 | .83 | .83 | .81 | .81 | .81 | .77 | .77 | .77 | .73 | .73 | .73 | .70 | .70 | .70 | .68 |
| | | 1 | .73 | .70 | .67 | .71 | .68 | .66 | .67 | .65 | .63 | .64 | .62 | .61 | .61 | .60 | .58 | .57 |
| | | 2 | .64 | .59 | .55 | .62 | .58 | .54 | .59 | .56 | .52 | .57 | .54 | .51 | .54 | .52 | .49 | .48 |
| | | 3 | .56 | .50 | .45 | .54 | .49 | .45 | .52 | .47 | .44 | .50 | .46 | .43 | .47 | .44 | .42 | .40 |
| | | 4 | .49 | .43 | .38 | .48 | .42 | .38 | .46 | .41 | .37 | .44 | .40 | .36 | .42 | .39 | .36 | .34 |
| | | 5 | .43 | .37 | .32 | .42 | .36 | .32 | .41 | .35 | .31 | .39 | .34 | .31 | .37 | .33 | .30 | .29 |
| | | 6 | .38 | .32 | .27 | .37 | .31 | .27 | .36 | .30 | .26 | .34 | .30 | .26 | .33 | .29 | .25 | .24 |
| | | 7 | .34 | .27 | .23 | .33 | .27 | .22 | .31 | .26 | .22 | .30 | .25 | .22 | .29 | .25 | .21 | .20 |
| | | 8 | .30 | .24 | .19 | .29 | .23 | .19 | .28 | .23 | .19 | .27 | .22 | .19 | .26 | .22 | .18 | .17 |
| | | 9 | .27 | .21 | .16 | .26 | .20 | .16 | .25 | .20 | .16 | .24 | .19 | .16 | .23 | .19 | .16 | .14 |
| | | 10 | .24 | .18 | .14 | .24 | .18 | .14 | .23 | .17 | .14 | .22 | .17 | .14 | .21 | .17 | .13 | .12 |
| 23<br>  <br>โคมฝังชนิดหน้ากว้างมีช่องสะท้อนแสงเล็ก ๆ เปิดด้านหน้าใช้กับหลอด HID วัตต์ต่ำ | IV 1.7<br>  <br> | 0 | .67 | .67 | .67 | .65 | .65 | .65 | .62 | .62 | .62 | .60 | .60 | .60 | .57 | .57 | .57 | .56 |
| | | 1 | .60 | .58 | .57 | .59 | .57 | .56 | .57 | .55 | .54 | .54 | .53 | .52 | .52 | .52 | .51 | .50 |
| | | 2 | .54 | .51 | .48 | .53 | .50 | .48 | .51 | .49 | .47 | .49 | .47 | .46 | .48 | .46 | .45 | .44 |
| | | 3 | .48 | .44 | .41 | .47 | .44 | .41 | .46 | .43 | .40 | .44 | .42 | .40 | .43 | .41 | .39 | .38 |
| | | 4 | .43 | .39 | .36 | .42 | .38 | .35 | .41 | .38 | .35 | .40 | .37 | .34 | .39 | .36 | .34 | .33 |
| | | 5 | .38 | .34 | .30 | .38 | .34 | .30 | .37 | .33 | .30 | .36 | .32 | .30 | .35 | .32 | .29 | .28 |
| | | 6 | .34 | .30 | .26 | .34 | .29 | .26 | .33 | .29 | .26 | .32 | .28 | .26 | .31 | .28 | .25 | .24 |
| | | 7 | .30 | .26 | .22 | .30 | .25 | .22 | .29 | .25 | .22 | .28 | .25 | .22 | .27 | .24 | .22 | .21 |
| | | 8 | .27 | .23 | .19 | .27 | .22 | .19 | .26 | .22 | .19 | .25 | .22 | .19 | .25 | .21 | .19 | .18 |
| | | 9 | .24 | .20 | .17 | .24 | .20 | .17 | .23 | .19 | .17 | .23 | .19 | .16 | .22 | .19 | .16 | .15 |
| | | 10 | .22 | .17 | .14 | .22 | .17 | .14 | .21 | .17 | .14 | .21 | .17 | .14 | .20 | .17 | .14 | .13 |
| 24<br>  <br>โคมแขวนแบบชนิดเปิดด้านบน (กระจายแสงขึ้น) ใช้กับหลอด HID | VI N.A.<br>  <br> | 0 | .74 | .74 | .74 | .63 | .63 | .63 | .43 | .43 | .43 | .25 | .25 | .25 | .08 | .08 | .08 | .00 |
| | | 1 | .64 | .62 | .59 | .55 | .53 | .51 | .38 | .36 | .35 | .22 | .21 | .20 | .07 | .07 | .07 | .00 |
| | | 2 | .56 | .52 | .48 | .48 | .45 | .42 | .33 | .31 | .29 | .19 | .18 | .17 | .06 | .06 | .06 | .00 |
| | | 3 | .49 | .44 | .40 | .42 | .38 | .35 | .29 | .26 | .24 | .17 | .15 | .14 | .05 | .05 | .05 | .00 |
| | | 4 | .43 | .38 | .33 | .37 | .33 | .29 | .26 | .23 | .20 | .15 | .13 | .12 | .05 | .04 | .04 | .00 |
| | | 5 | .38 | .33 | .28 | .33 | .28 | .25 | .23 | .20 | .17 | .13 | .12 | .10 | .04 | .04 | .03 | .00 |
| | | 6 | .34 | .28 | .24 | .29 | .25 | .21 | .20 | .17 | .15 | .12 | .10 | .09 | .04 | .03 | .03 | .00 |
| | | 7 | .31 | .25 | .21 | .26 | .22 | .18 | .18 | .15 | .13 | .11 | .09 | .08 | .03 | .03 | .03 | .00 |
| | | 8 | .28 | .22 | .18 | .24 | .19 | .16 | .16 | .13 | .11 | .10 | .08 | .07 | .03 | .03 | .03 | .00 |
| | | 9 | .25 | .20 | .16 | .21 | .17 | .14 | .15 | .12 | .10 | .09 | .07 | .06 | .03 | .02 | .02 | .00 |
| | | 10 | .23 | .18 | .14 | .20 | .15 | .12 | .14 | .11 | .09 | .08 | .06 | .05 | .03 | .02 | .02 | .00 |

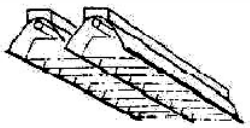
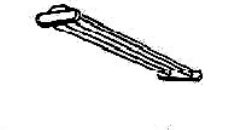
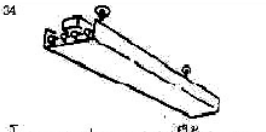
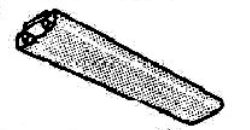
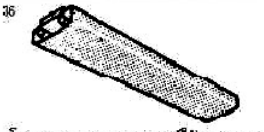
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอุณหภูมิของหลอดไฟ | $\rho_{cc}$→ | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\rho_w$→ | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม / SC* | RCR ↓ | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{fc}$ = 20) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบเคลือบสารมีมุมกันแสง 35° | 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 | .56 | .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 |
| | | 10 | .33 | .27 | .22 | .32 | .26 | .22 | .29 | .24 | .20 | .27 | .23 | .19 | .25 | .21 | .18 | .17 |
| 26 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบอะลูมิเนียมมุมกันแสง 35° | 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 |
| | | 10 | .33 | .26 | .22 | .32 | .26 | .22 | .30 | .25 | .21 | .28 | .23 | .20 | .26 | .22 | .19 | .18 |
| 27  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบเคลือบสารมีมุมกันแสง 35° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 35° | 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 |
| | | 10 | .32 | .26 | .22 | .30 | .25 | .21 | .28 | .23 | .20 | .26 | .22 | .19 | .24 | .20 | .18 | .16 |
| 28  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงเป็นอะลูมิเนียมมีมุมกันแสง 35° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 35° | II 1.5/1.1  | 0 | .83 | .83 | .83 | .78 | .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 | .56 | .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 |
| | | 10 | .30 | .24 | .21 | .29 | .24 | .20 | .27 | .2 | 2.19 | .25 | .21 | .19 | .23 | .20 | .18 | .16 |
| 29  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแขวนแบบมีสารกระจายแสงขึ้นลงจากตัวกระจายแสงโลหะมีมุมกันแสง 45° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 45° | 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 | .56 | .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 | .28 | .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 |
| | | 10 | .26 | .21 | .18 | .25 | .20 | .17 | .21 | .18 | .15 | .18 | .15 | .14 | .15 | .13 | .12 | .10 |
| 30  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบมีสารกระจายแสงลงด้านล่าง ตัวกระจายแสงเป็นโลหะมีมุมกันแสง 45° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 45° | 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 |
| | | 10 | .23 | .19 | .16 | .22 | .19 | .16 | .21 | .18 | .16 | .20 | .18 | .16 | .20 | .17 | .15 | .14 |

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

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนผลผลิตของหลอดไฟ | | $\rho_{cc}$ → | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\rho_w$ → | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม | SC* | RCR ↓ | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{fg}$ = 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 |
| | 0% ↓ | | 1 | .63 | .61 | .59 | .62 | .60 | .59 | .58 | .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 | .48 | .44 | .48 | .45 | .43 | .48 | .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 |
| | 58% ↓ | | 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 | .28 | .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. | 1 | 1.0 | 0 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | .99 | .99 | .99 | .92 | .92 | .92 | .86 | .86 | .86 | .81 | .81 | .81 | .78 |
| | 0 $\frac{1}{2}$ % ↓ | | 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 | .46 | .39 | .48 | .43 | .38 | .46 | .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 |
| | 78% ↓ | | 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 | .60 | .60 | .60 | .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 |
| | 66% ↓ | | 5 | .40 | .34 | .30 | .35 | .30 | .27 | .26 | .23 | .20 | .18 | .16 | .14 | .10 | .09 | .08 | .05 |
| | | | 6 | .36 | .30 | .25 | .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 | .05 | .03 |
| | | | 9 | .26 | .20 | .17 | .22 | .18 | .15 | .17 | .14 | .12 | .12 | .10 | .08 | .07 | .06 | .05 | .03 |
| | 12% ↓ | | 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 | .68 | .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 | .36 | .35 | .34 | .32 | .29 |
| | 33% ↓ | | 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 |
| | 50% ↓ | | 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 |
| | 11 $\frac{1}{2}$ % ↓ | | 1 | .71 | .69 | .66 | .69 | .68 | .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 | .25 | .22 | .29 | .25 | .22 | .27 | .24 | .21 | .19 |
| | 58 $\frac{1}{2}$ % ↓ | | 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 |
| | 24% ↓ | | 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 |
| | 50% ↓ | | 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 |

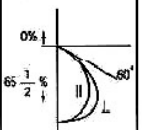
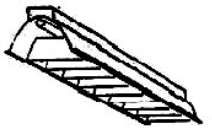
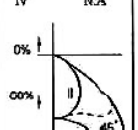
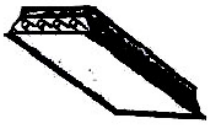
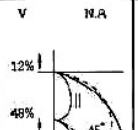
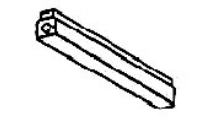
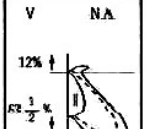
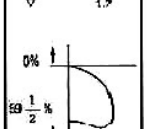
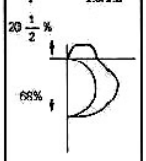
$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความสว่างและอัตราส่วนผลผลิตของหลอดไฟ | $\rho_{cc}$ → | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\rho_w$ → | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม / SC* | RCR ↓ | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{fg}$ = 20) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงรอบด้านยาวเปิดด้านข้าง | V 1.3 | 0 | .52 | .52 | .52 | .50 | .50 | .50 | .48 | .48 | .48 | .43 | .43 | .43 | .39 | .39 | .39 | .38 |
| | 8% | 1 | .45 | .43 | .41 | .43 | .41 | .39 | .40 | .38 | .37 | .38 | .35 | .34 | .34 | .33 | .32 | .30 |
| | 37 1/2 % | 2 | .39 | .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 | .09 |
| | | 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 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงพลาสติกกั้น 45° | IV 1.0 | 0 | .60 | .60 | .60 | .58 | .58 | .58 | .56 | .56 | .56 | .53 | .53 | .53 | .51 | .51 | .51 | .50 |
| | 0% | 1 | .54 | .52 | .50 | .52 | .51 | .49 | .50 | .49 | .48 | .48 | .47 | .46 | .47 | .46 | .45 | .44 |
| | 50% | 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 | .26 | .22 | .28 | .25 | .22 | .27 | .24 | .22 | .27 | .24 | .22 | .21 |
| | | 8 | .26 | .22 | .20 | .26 | .2 | 2.20 | .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 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงโลหะสีขาวกั้น 45° | IV 0.9 | 0 | .55 | .55 | .55 | .54 | .54 | .54 | .51 | .51 | .51 | .49 | .49 | .49 | .47 | .47 | .47 | .46 |
| | 0% | 1 | .50 | .48 | .47 | .49 | .47 | .46 | .47 | .46 | .45 | .45 | .44 | .43 | .43 | .43 | .42 | .41 |
| | 48% | 2 | .45 | .43 | .41 | .44 | .42 | .40 | .43 | .41 | .39 | .41 | .40 | .38 | .40 | .39 | .37 | .37 |
| | | 3 | .41 | .38 | .36 | .40 | .38 | .36 | .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 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสีขาวขุ่น | V 1.2 | 0 | .73 | .73 | .73 | .71 | .71 | .71 | .68 | .68 | .68 | .65 | .65 | .65 | .62 | .62 | .62 | .60 |
| | 1% | 1 | .64 | .61 | .59 | .62 | .60 | .58 | .60 | .58 | .56 | .57 | .56 | .54 | .55 | .54 | .52 | .51 |
| | 60 1/2 % | 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 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเรียบ | V 1.2 | 0 | .69 | .69 | .69 | .67 | .67 | .67 | .64 | .64 | .64 | .61 | .61 | .61 | .59 | .59 | .59 | .58 |
| | 0% | 1 | .61 | .58 | .56 | .59 | .57 | .56 | .57 | .55 | .54 | .55 | .53 | .52 | .53 | .52 | .51 | .49 |
| | 57 1/2 % | 2 | .53 | .50 | .47 | .52 | .49 | .46 | .50 | .48 | .45 | .48 | .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 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบ | V 1.4/1.2 | 0 | .75 | .75 | .75 | .73 | .73 | .73 | .70 | .70 | .70 | .67 | .67 | .67 | .64 | .64 | .64 | .63 |
| | 0% | 1 | .67 | .65 | .63 | .66 | .64 | .62 | .63 | .62 | .60 | .61 | .60 | .58 | .59 | .58 | .57 | .55 |
| | 63% 60° | 2 | .60 | .57 | .54 | .59 | .56 | .53 | .57 | .54 | .52 | .55 | .52 | .51 | .52 | .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 |

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

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

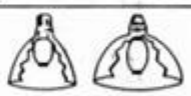
| ลักษณะของดวงโคม | ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอุปกรณ์หลอดไฟ | $\rho_{cc}$→ | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\rho_w$→ | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0 |
| | ประเภทของดวงโคม / SC* | RCR ↓ | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโครงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ($\rho_{fc}$ = 20) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบความสว่างต่ำ | 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 | .58 | .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 | .27 | .23 | .20 | .27 | .23 | .20 | .26 | .23 | .20 | .19 |
| 44  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์มีการกระจายแสงเป็นแบบปีกค้างคาว | 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 | .56 | .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 | .26 | .33 | .28 | .26 | .33 | .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 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบกระจายแสงแบบปีกค้างคาว | 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 | .46 | .44 | .43 | .44 | .43 | .42 | .41 |
| | | 2 | .44 | .41 | .39 | .43 | .40 | .39 | .41 | .39 | .37 | .40 | .38 | .36 | .39 | .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 | .30 | .26 | .32 | .29 | .26 | .31 | .28 | .26 | .30 | .27 | .25 | .24 |
| | | 5 | .30 | .26 | .22 | .29 | .25 | .22 | .28 | .24 | .22 | .27 | .24 | .21 | .26 | .23 | .21 | .20 |
| | | 6 | .26 | .22 | .19 | .26 | .21 | .18 | .25 | .21 | .18 | .24 | .21 | .18 | .22 | .20 | .18 | .17 |
| | | 7 | .23 | .19 | .16 | .23 | .18 | .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  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วหุ้มรอบด้านเปิดหัว-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 | .49 | .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 | .39 | .34 | .41 | .36 | .32 | .39 | .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 | .28 | .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 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบ | 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 หลอดแบบไม่มีตัวกั้นแสง 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 | .68 | .61 | .69 | .63 | .58 | .63 | .58 | .54 | .57 | .53 | .50 | .51 | .48 | .45 | .42 |
| | | 3 | .63 | .58 | .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 | .36 | .32 | .29 |
| | | 5 | .49 | .40 | .34 | .46 | .39 | .33 | .42 | .36 | .31 | .38 | .33 | .28 | .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 |

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

ภาพภาคผนวก ก-2 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่าง ๆ เมื่อคำนวณด้วยวิธี Room Ratio

| ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด* | % เพดาน (ρC) | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | 0 | ชนิดของดวงโคมและค่าการบำรุงรักษา(MF) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % ผนัง (ρW) | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 30 | 10 | 0 | |
| | ดัชนีห้อง (Kr) | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF) | | | | | | | | | | | | |
| 1<br>0%<br>60%<br>S/MH = 1.1<br>สูงสุด | 0.6 | .30 | .26 | .25 | .29 | .26 | .23 | .29 | .26 | .23 | .25 | .23 | .22 | <br>โคมหลอดเดี่ยวตะแกรงอะลูมิเนียม<br>MF { ดี .75 ปานกลาง .70 ต่ำ .65 |
| | 0.8 | .36 | .32 | .29 | .35 | .32 | .29 | .35 | .31 | .29 | .31 | .29 | .27 | |
| | 1.0 | .43 | .40 | .37 | .43 | .40 | .37 | .42 | .39 | .37 | .39 | .37 | .36 | |
| | 1.25 | .47 | .44 | .42 | .47 | .44 | .41 | .46 | .43 | .41 | .43 | .41 | .40 | |
| | 1.5 | .50 | .47 | .44 | .50 | .47 | .44 | .49 | .46 | .44 | .46 | .44 | .43 | |
| | 2.0 | .53 | .50 | .49 | .53 | .50 | .48 | .51 | .50 | .48 | .49 | .47 | .46 | |
| | 2.5 | .55 | .53 | .51 | .55 | .53 | .51 | .54 | .52 | .50 | .51 | .50 | .49 | |
| | 3.0 | .57 | .54 | .53 | .56 | .54 | .52 | .55 | .53 | .51 | .52 | .51 | .50 | |
| | 4.0 | .59 | .57 | .55 | .58 | .56 | .55 | .56 | .55 | .54 | .54 | .53 | .52 | |
| | 5.0 | .60 | .58 | .57 | .59 | .57 | .56 | .57 | .56 | .56 | .56 | .54 | .53 | |
| 2<br>0%<br>50%<br>S/MH = 1.1<br>สูงสุด | 0.6 | .27 | .24 | .21 | .27 | .23 | .21 | .27 | .23 | .21 | .23 | .21 | .20 | <br>โคมหลอดคู่ตะแกรงอะลูมิเนียม<br>MF { ดี .75 ปานกลาง .70 ต่ำ .65 |
| | 0.8 | .33 | .29 | .26 | .32 | .29 | .26 | .32 | .28 | .26 | .28 | .26 | .25 | |
| | 1.0 | .36 | .33 | .30 | .36 | .33 | .30 | .35 | .32 | .30 | .32 | .30 | .29 | |
| | 1.25 | .40 | .36 | .34 | .39 | .36 | .34 | .38 | .36 | .34 | .36 | .34 | .33 | |
| | 1.5 | .42 | .39 | .37 | .42 | .39 | .37 | .41 | .38 | .36 | .38 | .36 | .35 | |
| | 2.0 | .45 | .42 | .40 | .44 | .42 | .40 | .44 | .42 | .40 | .41 | .40 | .39 | |
| | 2.5 | .47 | .44 | .43 | .46 | .44 | .42 | .45 | .44 | .42 | .43 | .42 | .41 | |
| | 3.0 | .48 | .46 | .44 | .47 | .46 | .44 | .47 | .45 | .44 | .44 | .43 | .42 | |
| | 4.0 | .50 | .48 | .46 | .49 | .48 | .46 | .48 | .47 | .46 | .46 | .45 | .44 | |
| | 5.0 | .50 | .49 | .48 | .50 | .49 | .48 | .49 | .48 | .47 | .47 | .46 | .45 | |
| 3<br>0%<br>55%<br>S/MH = 1.2<br>สูงสุด | 0.6 | .26 | .23 | .20 | .26 | .22 | .20 | .25 | .22 | .20 | .22 | .20 | .19 | <br>โคมหลอดคู่ฝาครอบกว้าง 30 cm<br>แก้ว พลาสติกหรือบานเกล็ด 30°<br>บานเกล็ด ปิดแน่น<br>MF { ดี .75 .70 ปานกลาง .70 .65 ต่ำ .65 .55 |
| | 0.8 | .32 | .29 | .26 | .32 | .29 | .26 | .31 | .29 | .26 | .28 | .26 | .25 | |
| | 1.0 | .37 | .34 | .31 | .37 | .33 | .30 | .36 | .32 | .30 | .32 | .30 | .29 | |
| | 1.25 | .41 | .37 | .35 | .41 | .37 | .35 | .40 | .37 | .34 | .36 | .34 | .33 | |
| | 1.5 | .44 | .40 | .37 | .43 | .40 | .37 | .42 | .40 | .37 | .39 | .37 | .36 | |
| | 2.0 | .47 | .44 | .42 | .47 | .44 | .41 | .46 | .43 | .41 | .42 | .41 | .40 | |
| | 2.5 | .50 | .47 | .45 | .49 | .47 | .45 | .48 | .46 | .44 | .45 | .43 | .42 | |
| | 3.0 | .51 | .49 | .47 | .51 | .48 | .46 | .50 | .47 | .46 | .47 | .45 | .44 | |
| | 4.0 | .53 | .51 | .49 | .53 | .51 | .49 | .51 | .50 | .48 | .49 | .47 | .46 | |
| | 5.0 | .55 | .53 | .52 | .54 | .53 | .51 | .53 | .52 | .51 | .51 | .50 | .48 | |
| 4<br>0%<br>45%<br>S/MH = 0.9<br>สูงสุด | 0.6 | .24 | .21 | .19 | .24 | .21 | .19 | .23 | .21 | .19 | .20 | .19 | .18 | <br>โคมหลอดคู่ฝาครอบกว้าง 30 cm<br>บานเกล็ดโลหะ 45°<br>MF { ดี .75 ปานกลาง .70 ต่ำ .65 |
| | 0.8 | .29 | .26 | .24 | .29 | .26 | .24 | .28 | .26 | .24 | .26 | .24 | .23 | |
| | 1.0 | .32 | .29 | .27 | .32 | .29 | .27 | .32 | .29 | .27 | .29 | .27 | .26 | |
| | 1.25 | .36 | .32 | .31 | .35 | .32 | .31 | .34 | .32 | .30 | .32 | .30 | .29 | |
| | 1.5 | .38 | .35 | .33 | .38 | .35 | .33 | .37 | .34 | .32 | .34 | .32 | .32 | |
| | 2.0 | .41 | .38 | .37 | .40 | .38 | .36 | .39 | .38 | .36 | .37 | .36 | .35 | |
| | 2.5 | .43 | .40 | .38 | .42 | .40 | .38 | .41 | .39 | .38 | .39 | .38 | .37 | |
| | 3.0 | .44 | .42 | .40 | .43 | .42 | .40 | .42 | .41 | .39 | .40 | .39 | .38 | |
| | 4.0 | .45 | .44 | .42 | .45 | .43 | .42 | .44 | .43 | .42 | .42 | .41 | .40 | |
| | 5.0 | .47 | .45 | .44 | .46 | .45 | .44 | .45 | .44 | .43 | .43 | .42 | .41 | |
| 5<br>0%<br>65%<br>S/MH = 1.2<br>สูงสุด | 0.6 | .31 | .27 | .24 | .31 | .27 | .24 | .30 | .27 | .24 | .27 | .24 | .23 | <br>โคมหลอดคู่ฝาครอบกว้าง 60 cm<br>ด้วยเลนส์พริสเมติก<br>MF { ดี .70 ปานกลาง .65 ต่ำ .55 |
| | 0.8 | .39 | .34 | .31 | .38 | .34 | .31 | .38 | .34 | .31 | .34 | .31 | .30 | |
| | 1.0 | .44 | .40 | .37 | .44 | .40 | .36 | .43 | .39 | .36 | .39 | .36 | .35 | |
| | 1.25 | .49 | .45 | .41 | .49 | .44 | .41 | .47 | .43 | .41 | .43 | .41 | .39 | |
| | 1.5 | .52 | .49 | .45 | .52 | .48 | .45 | .51 | .47 | .45 | .47 | .45 | .43 | |
| | 2.0 | .56 | .53 | .51 | .56 | .52 | .50 | .54 | .52 | .50 | .51 | .49 | .48 | |
| | 2.5 | .59 | .56 | .53 | .58 | .56 | .53 | .57 | .54 | .52 | .54 | .52 | .51 | |
| | 3.0 | .61 | .58 | .56 | .60 | .58 | .55 | .58 | .56 | .54 | .56 | .54 | .53 | |
| | 4.0 | .63 | .61 | .58 | .62 | .60 | .58 | .61 | .59 | .58 | .58 | .56 | .55 | |
| | 5.0 | .65 | .63 | .61 | .63 | .62 | .60 | .62 | .61 | .60 | .60 | .58 | .57 | |

ภาพภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด* | %เพดาน (ρC) | 80 | | | 70 | | | 50 | | | 30 | | Q | ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา(MF) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % ผนัง (ρW) | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 30 | 10 | 0 | |
| | ดัชนีห้อง (Kr) | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF) | | | | | | | | | | | | |
| 16<br>10%<br>80%<br>S/MH = 1.3<br>สูงสุด | 0.6 | .30 | .24 | .19 | .29 | .24 | .19 | .29 | .23 | .19 | .22 | .18 | .17 | <br>หลอดโคมเปลือย<br>MF { ดี .80 ; ปานกลาง .75 ; ต่ำ .70 |
| | 0.8 | .39 | .32 | .27 | .38 | .31 | .26 | .37 | .31 | .25 | .29 | .25 | .23 | |
| | 1.0 | .46 | .38 | .34 | .46 | .38 | .33 | .42 | .37 | .33 | .35 | .31 | .28 | |
| | 1.25 | .53 | .46 | .40 | .52 | .45 | .39 | .49 | .43 | .38 | .41 | .36 | .34 | |
| | 1.5 | .58 | .51 | .46 | .56 | .50 | .44 | .53 | .48 | .44 | .45 | .41 | .38 | |
| | 2.0 | .65 | .57 | .53 | .63 | .57 | .52 | .60 | .54 | .50 | .52 | .47 | .45 | |
| | 2.5 | .69 | .63 | .58 | .67 | .62 | .57 | .64 | .59 | .55 | .56 | .53 | .49 | |
| | 3.0 | .73 | .67 | .62 | .71 | .65 | .61 | .67 | .62 | .58 | .60 | .57 | .52 | |
| | 4.0 | .77 | .72 | .67 | .75 | .70 | .66 | .71 | .67 | .64 | .64 | .62 | .57 | |
| | 5.0 | .81 | .76 | .73 | .78 | .74 | .71 | .74 | .71 | .68 | .68 | .66 | .61 | |
| 17<br>10%<br>85%<br>S/MH = 1.3<br>สูงสุด | 0.6 | .34 | .30 | .26 | .33 | .30 | .26 | .33 | .29 | .25 | .29 | .25 | .23 | <br>โคมสารเคลือบกระเบื้อง ใช้หลอดไส้ ไม่ติด / ติดแนวตั้ง / แนวตั้ง<br>MF { ดี .80 .75 ; ปานกลาง .75 .65 ; ต่ำ .65 .55 |
| | 0.8 | .42 | .38 | .34 | .42 | .37 | .34 | .42 | .37 | .34 | .37 | .34 | .31 | |
| | 1.0 | .50 | .44 | .40 | .49 | .44 | .40 | .48 | .44 | .40 | .43 | .40 | .36 | |
| | 1.25 | .56 | .51 | .48 | .56 | .51 | .47 | .55 | .50 | .47 | .50 | .47 | .42 | |
| | 1.5 | .61 | .56 | .53 | .61 | .56 | .52 | .60 | .55 | .52 | .55 | .52 | .47 | |
| | 2.0 | .69 | .63 | .60 | .68 | .63 | .60 | .67 | .63 | .59 | .62 | .59 | .54 | |
| | 2.5 | .72 | .68 | .64 | .72 | .68 | .64 | .70 | .67 | .64 | .66 | .63 | .59 | |
| | 3.0 | .75 | .71 | .68 | .75 | .71 | .68 | .73 | .70 | .67 | .69 | .67 | .63 | |
| | 4.0 | .79 | .75 | .73 | .79 | .75 | .73 | .77 | .74 | .72 | .73 | .71 | .68 | |
| | 5.0 | .80 | .78 | .77 | .80 | .78 | .76 | .79 | .77 | .75 | .75 | .74 | .70 | |
| 18<br>0%<br>70%<br>S/MH = 1.3<br>สูงสุด | 0.6 | .39 | .35 | .32 | .38 | .34 | .32 | .38 | .34 | .32 | .34 | .32 | .31 | <br>โคมสะท้อนแสงใช้หลอดไส้<br>MF { ดี .80 ; ปานกลาง .75 ; ต่ำ .70 |
| | 0.8 | .48 | .43 | .40 | .47 | .43 | .40 | .46 | .43 | .40 | .42 | .40 | .39 | |
| | 1.0 | .53 | .49 | .46 | .52 | .48 | .46 | .52 | .48 | .45 | .48 | .45 | .44 | |
| | 1.25 | .58 | .54 | .51 | .57 | .53 | .50 | .56 | .53 | .50 | .52 | .50 | .49 | |
| | 1.5 | .61 | .57 | .54 | .60 | .56 | .54 | .59 | .56 | .54 | .56 | .53 | .52 | |
| | 2.0 | .65 | .62 | .59 | .64 | .61 | .59 | .63 | .61 | .59 | .60 | .58 | .57 | |
| | 2.5 | .68 | .65 | .62 | .67 | .64 | .62 | .66 | .63 | .61 | .63 | .61 | .59 | |
| | 3.0 | .69 | .67 | .65 | .68 | .66 | .64 | .67 | .65 | .64 | .61 | .63 | .61 | |
| | 4.0 | .72 | .69 | .68 | .71 | .68 | .67 | .69 | .68 | .66 | .67 | .66 | .64 | |
| | 5.0 | .73 | .71 | .69 | .72 | .70 | .69 | .70 | .69 | .68 | .68 | .67 | .65 | |
| 19<br>0%<br>70%<br>S/MH = 1.2<br>สูงสุด | 0.6 | .35 | .32 | .30 | .35 | .32 | .30 | .35 | .32 | .30 | .32 | .30 | .29 |  <br>โคมไฮเบย์อะลูมิเนียม<br>ใช้แสงปานกลางขนาด 400 W<br>แสงจันทร์ / โซเดียม<br>MF { ดี .65 0.70 ; ปานกลาง .60 0.65 ; ต่ำ .55 0.60 |
| | 0.8 | .43 | .39 | .37 | .43 | .39 | .37 | .42 | .39 | .37 | .39 | .37 | .36 | |
| | 1.0 | .48 | .45 | .42 | .48 | .44 | .42 | .47 | .44 | .42 | .43 | .41 | .41 | |
| | 1.25 | .53 | .50 | .47 | .52 | .50 | .47 | .52 | .49 | .47 | .48 | .46 | .46 | |
| | 1.5 | .57 | .53 | .50 | .56 | .53 | .50 | .55 | .52 | .50 | .52 | .50 | .49 | |
| | 2.0 | .61 | .57 | .55 | .60 | .57 | .55 | .59 | .57 | .54 | .56 | .54 | .53 | |
| | 2.5 | .64 | .61 | .59 | .63 | .60 | .58 | .62 | .60 | .58 | .59 | .57 | .56 | |
| | 3.0 | .66 | .63 | .61 | .65 | .62 | .60 | .63 | .61 | .60 | .61 | .59 | .58 | |
| | 4.0 | .68 | .66 | .63 | .67 | .65 | .63 | .66 | .64 | .63 | .63 | .62 | .61 | |
| | 5.0 | .09 | .67 | .66 | .68 | .67 | .65 | .67 | .66 | .64 | .65 | .63 | .62 | |
| 20<br>0%<br>75%<br>S/MH = 1.3<br>สูงสุด | 0.6 | .36 | .32 | .29 | .35 | .32 | .29 | .35 | .31 | .29 | .31 | .29 | .28 | <br>โคมไฮเบย์อะลูมิเนียม<br>ใช้แสงกว้างขนาด 400 W<br>แสงจันทร์ / โซเดียม<br>MF { ดี 0.65 0.70 ; ปานกลาง 0.60 0.65 ; ต่ำ 0.55 0.60 |
| | 0.8 | .43 | .39 | .36 | .43 | .39 | .37 | .43 | .39 | .37 | .39 | .37 | .35 | |
| | 1.0 | .50 | .46 | .43 | .49 | .45 | .42 | .49 | .45 | .42 | .45 | .42 | .41 | |
| | 1.25 | .55 | .51 | .47 | .55 | .51 | .47 | .54 | .50 | .47 | .50 | .47 | .46 | |
| | 1.5 | .59 | .55 | .53 | .59 | .55 | .52 | .58 | .54 | .52 | .54 | .51 | .50 | |
| | 2.0 | .64 | .61 | .58 | .64 | .60 | .58 | .63 | .60 | .57 | .59 | .57 | .55 | |
| | 2.5 | .67 | .64 | .62 | .67 | .64 | .61 | .66 | .63 | .61 | .62 | .60 | .58 | |
| | 3.0 | .70 | .67 | .64 | .69 | .66 | .64 | .68 | .66 | .63 | .65 | .63 | .61 | |
| | 4.0 | .74 | .70 | .68 | .73 | .70 | .68 | .71 | .69 | .67 | .68 | .67 | .64 | |
| | 5.0 | .75 | .72 | .71 | .74 | .72 | .70 | .73 | .71 | .69 | .70 | .68 | .66 | |

ภาพภาคผนวก ก-3 ตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20%

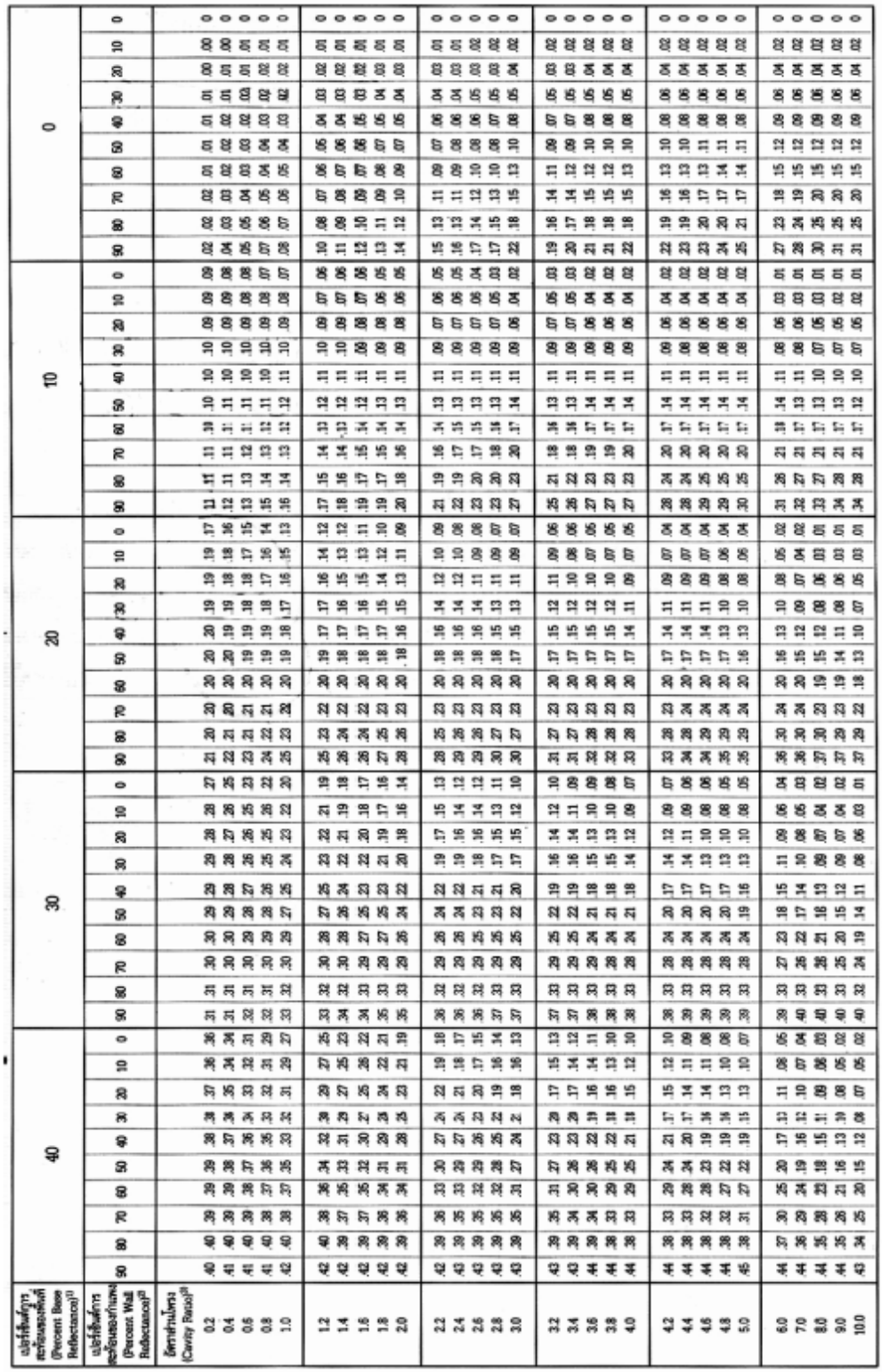
| % ความสะท้อนประสิทธิผลของโพรงเพดาน $\rho_{cc}$ | 80 | | | | 70 | | | | 50 | | | 30 | | | 10 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % การสะท้อนแสงของผนัง $\rho_w$ | 70 | 50 | 30 | 10 | 70 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 |
| สำหรับค่าประสิทธิผลของการสะท้อนของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ (เมื่อค่า 20%=1) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| อัตราส่วนโพรงห้อง (RCR) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.092 | 1.082 | 1.075 | 1.068 | 1.077 | 1.070 | 1.064 | 1.059 | 1.049 | 1.044 | 1.040 | 1.028 | 1.026 | 1.023 | 1.012 | 1.010 | 1.008 |
| 2 | 1.079 | 1.066 | 1.055 | 1.047 | 1.068 | 1.057 | 1.048 | 1.039 | 1.041 | 1.033 | 1.027 | 1.026 | 1.021 | 1.017 | 1.013 | 1.010 | 1.006 |
| 3 | 1.070 | 1.054 | 1.042 | 1.033 | 1.061 | 1.048 | 1.037 | 1.028 | 1.034 | 1.027 | 1.020 | 1.024 | 1.017 | 1.012 | 1.014 | 1.009 | 1.005 |
| 4 | 1.062 | 1.045 | 1.033 | 1.024 | 1.055 | 1.040 | 1.029 | 1.021 | 1.030 | 1.022 | 1.015 | 1.022 | 1.015 | 1.010 | 1.014 | 1.009 | 1.004 |
| 5 | 1.056 | 1.038 | 1.026 | 1.018 | 1.050 | 1.034 | 1.024 | 1.015 | 1.027 | 1.018 | 1.012 | 1.020 | 1.013 | 1.008 | 1.014 | 1.009 | 1.004 |
| 6 | 1.052 | 1.033 | 1.021 | 1.014 | 1.047 | 1.030 | 1.020 | 1.012 | 1.024 | 1.015 | 1.009 | 1.019 | 1.012 | 1.006 | 1.014 | 1.008 | 1.003 |
| 7 | 1.047 | 1.029 | 1.018 | 1.011 | 1.043 | 1.026 | 1.017 | 1.009 | 1.022 | 1.013 | 1.007 | 1.018 | 1.010 | 1.005 | 1.014 | 1.008 | 1.003 |
| 8 | 1.044 | 1.026 | 1.015 | 1.009 | 1.040 | 1.024 | 1.015 | 1.007 | 1.020 | 1.012 | 1.006 | 1.017 | 1.009 | 1.004 | 1.013 | 1.007 | 1.003 |
| 9 | 1.040 | 1.024 | 1.014 | 1.007 | 1.037 | 1.022 | 1.014 | 1.006 | 1.019 | 1.011 | 1.005 | 1.016 | 1.009 | 1.004 | 1.013 | 1.007 | 1.002 |
| 10 | 1.037 | 1.022 | 1.012 | 1.006 | 1.034 | 1.020 | 1.012 | 1.005 | 1.017 | 1.010 | 1.004 | 1.015 | 1.009 | 1.003 | 1.013 | 1.007 | 1.002 |
| สำหรับค่าประสิทธิผลของการสะท้อนรองโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 10% (เมื่อค่า 20% =1) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| อัตราส่วนโพรงห้อง (RCR) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | .923 | .929 | .935 | .940 | .933 | .939 | .943 | .948 | .956 | .960 | .963 | .973 | .976 | .979 | .989 | .991 | .993 |
| 2 | .931 | .942 | .950 | .958 | .940 | .949 | .957 | .963 | .962 | .968 | .974 | .976 | .980 | .985 | .988 | .991 | .995 |
| 3 | .939 | .951 | .961 | .969 | .945 | .957 | .966 | .973 | .967 | .975 | .981 | .978 | .983 | .988 | .988 | .992 | .996 |
| 4 | .944 | .958 | .969 | .978 | .950 | .963 | .973 | .980 | .972 | .980 | .986 | .980 | .986 | .991 | .987 | .992 | .996 |
| 5 | .949 | .964 | .976 | .983 | .954 | .968 | .978 | .985 | .975 | .983 | .989 | .981 | .988 | .993 | .987 | .992 | .997 |
| 6 | .953 | .969 | .980 | .986 | .958 | .972 | .982 | .989 | .977 | .985 | .992 | .982 | .989 | .995 | .987 | .993 | .997 |
| 7 | .957 | .973 | .983 | .991 | .961 | .975 | .985 | .991 | .979 | .987 | .994 | .983 | .990 | .996 | .987 | .993 | .998 |
| 8 | .960 | .976 | .986 | .993 | .963 | .977 | .987 | .993 | .981 | .988 | .995 | .984 | .991 | .997 | .987 | .994 | .998 |
| 9 | .963 | .978 | .987 | .994 | .965 | .979 | .989 | .994 | .983 | .990 | .996 | .985 | .992 | .998 | .988 | .994 | .999 |
| 10 | .965 | .980 | .989 | .995 | .967 | .981 | .990 | .995 | .984 | .991 | .997 | .986 | .993 | .998 | .988 | .994 | .999 |
| สำหรับค่าประสิทธิผลของการสะท้อนของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 0% (เมื่อค่า 20% =1) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| อัตราส่วนโพรงห้อง (RCR) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | .859 | .870 | .879 | .886 | .873 | .884 | .893 | .901 | .916 | .923 | .929 | .948 | .954 | .960 | .979 | .983 | .987 |
| 2 | .871 | .887 | .903 | .919 | .886 | .902 | .916 | /28 | .926 | .938 | .949 | .954 | .963 | .971 | .978 | .983 | .991 |
| 3 | .882 | .904 | .915 | .942 | .898 | .918 | .934 | .947 | .936 | .950 | .964 | .958 | .969 | .979 | .976 | .984 | .993 |
| 4 | .893 | .919 | .941 | .958 | .908 | .930 | .948 | .961 | .945 | .961 | .974 | .961 | .974 | .984 | .975 | .985 | .994 |
| 5 | .903 | .931 | .953 | .9/69 | .914 | .939 | .958 | .970 | .951 | .967 | .980 | .964 | .977 | .988 | .975 | .985 | .995 |
| 6 | .911 | .940 | .961 | .976 | .920 | .945 | .965 | .977 | .955 | .972 | .985 | .966 | .979 | .991 | .975 | .986 | .996 |
| 7 | .917 | .947 | .967 | .981 | .924 | .950 | .970 | .982 | .959 | .975 | .988 | .968 | .981 | .993 | .975 | .987 | .997 |
| 8 | .922 | .953 | .971 | .985 | .929 | .955 | .975 | .986 | .963 | .978 | .991 | .970 | .983 | .995 | .976 | .988 | .998 |
| 9 | .928 | .958 | .975 | .988 | .933 | .959 | .980 | .989 | .966 | .980 | .993 | .971 | .985 | .996 | .976 | .988 | .998 |
| 10 | .933 | .962 | .979 | .991 | .937 | .963 | .983 | .992 | .969 | .982 | .995 | .973 | .987 | .977 | .977 | .989 | .999 |

ภาพภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

**ภาคผนวก ข**

ภาพแสดงค่าประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงเพดานและโพรงพื้น

ภาพภาคผนวก ข-1 ค่าประสิทธิผลการสะท้อนของโพรงเพดานและโพรงพื้น



ภาพภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

# ภาคผนวก ค

## ภาพแสดงคุณสมบัติทางกายภาพและสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของหลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ภาพภาคผนวก ค-1 ตัวอย่างคุณสมบัติทางกายภาพและสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคมที่แนบมาจาก บริษัท EVE รุ่น Performax ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์

# Fluorescent Lamps

EVE Lighting

18 WATT 36 WATT

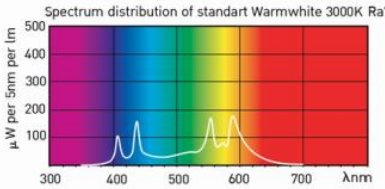
## Standard

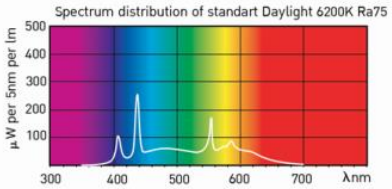
- หลอดฟลูออเรสเซนต์ รุ่นมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร เป็นหลอดไฟที่ใช้ประโยชน์ได้ทั่วไป ให้คุณภาพแสงที่ดี ให้ความสว่างมากถึง 72 ลูเมน/วัตต์
- ให้ค่าความถูกต้องของสีสูงถึง 75 (Ra=75) และอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 15,000 ชั่วโมง
- ประหยัดไฟ 10% เมื่อเทียบกับหลอดนีออนรุ่นเก่า (T12)
- Lumen Maintenance ต่ำกว่า 30% ตลอดอายุการใช้งาน
- ไส้หลอดแบบTriple Coiled ทำให้สามารถเก็บสาร Emitter ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้หลอดไฟมีอายุการใช้งานคงที่และยาวนานยิ่งขึ้น
- หลอดฟลูออเรสเซนต์อีฟทุกรุ่น มีวงแหวนป้องกันขั้วหลอดดำ ซึ่งจะทำให้ได้ความสว่างเต็มทั่วทั้งหลอด แสงสดใสเจิดจ้าตลอดอายุการใช้งาน

## Material

- แก้วผลิตจาก Soft Glass ที่มีสูตรเฉพาะช่วยให้แสงออกมาอย่างเต็มประสิทธิภาพ
- ขบวนการเคลือบ Phosphor แบบ Water Base ซึ่งช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม
- ปริมาณปรอท 12 มิลลิกรัม

มอก.956-2533 ELECTRONICS RoHS Compliant SaveEarth Portfolio Natural Color Technology WARRANTY No End Blackening




| รหัสสินค้า Code | ชื่อสินค้า Product Name | กระแส Current (A) | โวลท์ Voltage (V) | สี Color | ความสว่าง Lumen (Lm) | อุณหภูมิสี Color temperature (k) | ขั้ว Lamp Type | Ra | อายุการใช้งาน(ช.ม.) Life time | ราคา (บาท) Price |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 501096 | **Standard 18w D** | 0.36 | 59 | Daylight | 1,150*/1,300** | 6,200 | G13 | 75 | 15,000 | 37 |
| 501119 | **Standard 36w D** | 0.44 | 103 | Daylight | 2,600*/2,800** | 6,200 | G13 | 75 | 15,000 | 42 |
| 503090 | **Standard 18w D** | 0.36 | 59 | Warmwhite | 1,250*/1,400** | 3,000 | G13 | 75 | 15,000 | 40 |
| 503106 | **Standard 36w W** | 0.44 | 103 | Warmwhite | 2,700*/2,950** | 3,000 | G13 | 75 | 15,000 | 50 |

* Measured at 25 Degree **Measured at 35 Degree

## Dimension

| Dimension(mm.) | A | B |
|---|---|---|
| Standard 18w | 26 | 600 |
| Standard 36w | 26 | 1200 |

ภาพภาคผนวก ค-2 คุณสมบัติหลอดไฟ EVE รุ่น Standard ชนิด T8 ขนาด 36 วัตต์

# TL-D LIFEMAX Super 80

## TL-D 18W/865 1SL/25

The TL-D LIFEMAX Super 80 lamp offers more lumens per watt and better color rendering than TL-D standard colors. Furthermore, it has a lower mercury content. The lamp can be operated in existing TL-D luminaires.

### Product data

| General Information | |
|---|---|
| Cap base | G13 [ Medium Bi-Pin Fluorescent] |
| Life to 10% failures (nom.) | 10000 h |
| Life to 50% failures (nom.) | 13000 h |
| Life to 50% failures preheat (nom.) | 20000 h |

| Light Technical | |
|---|---|
| Colour Code | 865 [ CCT of 6500K] |
| Lamp Luminous Flux (Nom) | 1275 lm |
| Colour Designation | Cool Daylight |
| Lumen maintenance 2,000 hours (nom.) | 96 % |
| Lumen maintenance 5,000 hours (nom.) | 94 % |
| Chromaticity coordinate X (nom.) | 313 |
| Chromaticity coordinate Y (nom.) | 338 |
| Colour Temperature, horizontal (Nom) | 6500 K |
| Lamp Luminous Efficacy EM (Nom) | 71 lm/W |
| Colour Rendering Index,horiz (Nom) | 80 |

| Operating and Electrical | |
|---|---|
| Power (Rated) (Nom) | 18 W |
| Lamp current (nom.) | 0.360 A |
| Voltage (Nom) | 59 V |

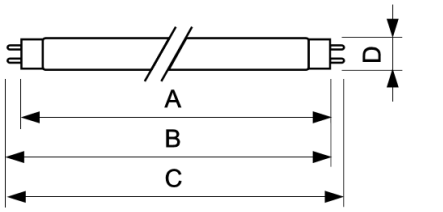
| Controls and Dimming | |
|---|---|
| Dimmable | yes |

| Mechanical and Housing | |
|---|---|
| Cap base information | Green [ Green Cap] |

| Approval and Application | |
|---|---|
| Energy efficiency label (EEL) | A |
| Mercury (Hg) content (nom.) | 2.0 mg |

| Product Data | |
|---|---|
| Full product code | 871150028562100 |
| Order product name | TL-D 18W/865 1SL/25 |
| EAN/UPC – product | 8711500285621 |
| Order code | 927980286536 |
| Numerator – quantity per pack | 1 |
| Numerator – packs per outer box | 25 |
| Material no. (12NC) | 927980286536 |
| Net weight (piece) | 0.070 kg |

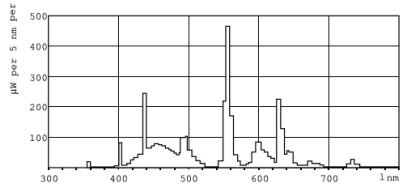
### Dimensional drawing

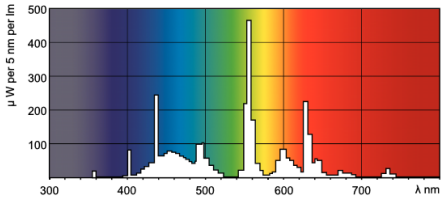



TL-D 18W/865/GC

| Product | D (max) | A (max) | B (max) | B (min) | C (max) |
|---|---|---|---|---|---|
| TL-D 18W/865 1SL/25 | 28 mm | 589.8 mm | 596.9 mm | 594.5 mm | 604 mm |

### Photometric data




ภาพภาคผนวก ค-2 (ต่อ)