



บทที่ 3

การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ความสำคัญของเนื้อหาวิชา (Overview)

หลักการที่สำคัญในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คือ การใช้แสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด หรือใช้แสงสว่างในบริเวณอย่างเพียงพอทั้งปริมาณ และคุณภาพ ซึ่งทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการผลิต ดังนั้น การปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จึงเป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่มีบทบาทต่อการประหยัดพลังงาน

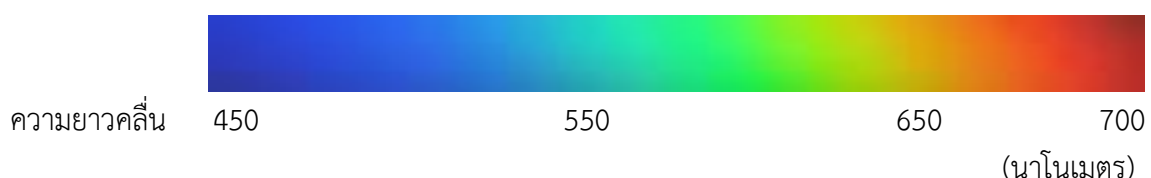
วัตถุประสงค์ (Objective)

1. บอกทฤษฎีของแสง และการมองเห็นวัตถุได้
2. บอกอุปกรณ์และหลักการทำงานของอุปกรณ์ด้านไฟฟ้าแสงสว่างได้
3. บอกวิธีประเมินและตรวจวัดประสิทธิภาพพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้
4. บอกแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้

3.1 บทนำ

"แสงสว่าง" เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ระบบแสงสว่างที่ดี นอกจากจะทำให้การประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานน้อยด้วย

แสงเป็นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ ช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกจัดเป็นแสงนั้นมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380–780 นาโนเมตร ตามนุษย์สามารถแยกแยะแสงออกเป็นสีต่าง ๆ ตามความยาวคลื่นที่มนุษย์มองเห็นได้ตั้งแต่ สีแดงซึ่งมีความยาวคลื่นยาวสุด (ความถี่ต่ำสุด) สีส้ม, สีเหลือง, สีเขียว, สีน้ำเงิน, สีม่วง จนกระทั่งถึงสีม่วง ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นสุด (ความถี่สูงสุด) ดังรูปที่ 3-1

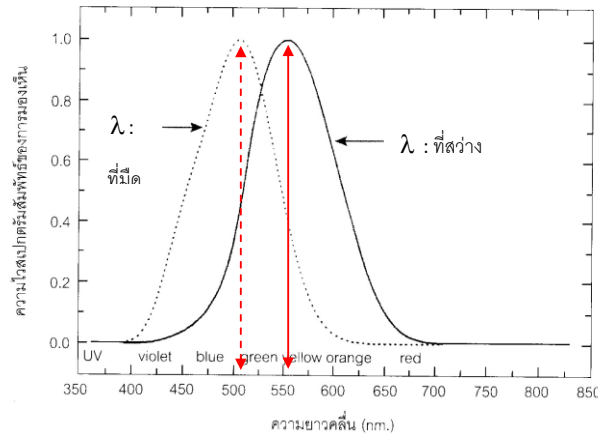


รูปที่ 3-1 สีต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้

การมองเห็นของมนุษย์นั้นเกิดจากการที่แสงจากวัตถุเดินทางผ่านดวงตา ไปกระตุ้นเซลล์ที่จอตา (retina) ให้ทำการสร้างคลื่นไฟฟ้าบนเส้นประสาท และส่งผ่านเส้นประสาทตาไปยังสมอง ทำให้เกิดการรับรู้มองเห็น เซลล์บนจอตาประกอบด้วยเซลล์สองกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ เซลล์รูปกรวยในจอตา (cone cell) ซึ่งทำหน้าที่ได้ดีในช่วงเวลากลางวันหรือในยามที่มีปริมาณแสงมาก มีหน้าที่สำคัญในการรับรู้สีทางด้านสี และ

ตอนที่ 2 บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ช่วยแยกแยะรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ส่วนเซลล์อีกกลุ่มหนึ่งเป็น เซลล์รูปแท่งในจอตา (rod cell) ทำหน้าที่ได้ดีในตอนกลางคืนหรือในเวลามืดสลัว ช่วยให้สามารถเห็นภาพต่าง ๆ ได้อย่างหยاب ๆ เซลล์กลุ่มนี้ไม่มีความสามารถในการตอบสนองทางด้านสีเลย ด้วยความสามารถในการทำงานและตอบสนองได้ต่างกันของเซลล์รูปกรวย และเซลล์รูปแท่ง ทำให้ตามนุษย์ไม่สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 การตอบสนองของดวงตาต่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ในเวลากลางวัน และกลางคืน

3.2 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

3.2.1 แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ ได้แก่ แสงอาทิตย์ แสงจากดวงดาว และแสงจากสัตว์ เช่น หิ่งห้อย เป็นต้นดวงอาทิตย์จัดเป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่มนุษย์คุ้นเคย และใช้ประโยชน์มายาวนาน จากการศึกษาลักษณะสเปกตรัม (Spectrum) ของรังสีอาทิตย์ จะพบว่า พลังงานของรังสีอาทิตย์ในช่วงที่เป็นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้นั้นคิดเป็นสัดส่วนประมาณเกือบร้อยละ 50

3.2.2 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ได้แก่ เทียนไข น้ำมัน และหลอดไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ แสงประดิษฐ์เหล่านี้ เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน เช่น แสงจากเทียนไขเกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานแสง หรือ กรณีแสงจากหลอดแสงฟลูออเรสเซนต์ เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในสารฟลูออเรสเซนต์ที่เคลือบอยู่บนผิวหลอดด้านในแล้วปลดปล่อยพลังงานอยู่ในรูปพลังงานแสงที่ตามองเห็น

3.3 นิยามศัพท์ที่สำคัญเกี่ยวกับปริมาณแสง

1) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity : I) หรือกำลังส่องสว่าง (Candle power) เป็นค่าแสดงระดับกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยวัดเป็น แคนเดลา (Candela) การกำหนดมาตรฐานของปริมาณความเข้มการส่องสว่างมีการพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1948 โดยคณะกรรมการระหว่างประเทศในเรื่องการส่องสว่าง (International Commission on Illumination, CIE) ปัจจุบัน ได้มีการกำหนดให้ปริมาณ 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับ ความเข้มการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนดของ แหล่งกำเนิดที่แผ่รังสีชนิดสีเดียวที่มีความถี่เป็น 540×10^3 เฮิรตซ์ และมีความเข้มการแผ่รังสีในทิศทาง $1/683$ วัตต์ต่อสเตอเรเดียน

2) **ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux : Φ)** เป็นปริมาณแสงทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen : lm) ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่ 1 ตารางหน่วยที่ห่างจากจุดกำเนิดแสง 1 แคนเดลาเป็นระยะทาง 1 หน่วย

3) **ความสว่าง (Illuminance : E)** เป็นปริมาณแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร โดยทั่วไปเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting level) จึงเป็นค่าที่บ่งบอกพื้นที่นั้น ๆ ได้รับ แสงสว่างเพียงพอหรือไม่ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m²) หรือลักซ์ (Lux) ค่าความสว่างจะแปรโดยตรงกับความเข้มการส่องสว่าง และแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และพื้นที่รับแสง ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$Illuminance = \frac{Luminous\ intensity}{(distance)^2} \quad (3.1)$$

4) **ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Efficacy)** คือ อัตราส่วนของปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่ป้อนให้แก่หลอด มีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Efficacy = \frac{\phi}{P} \quad (3.2)$$

โดยที่

Efficacy คือ ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)

ϕ คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดแสง (W)

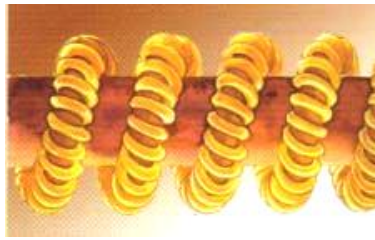
3.4 อุปกรณ์สำคัญในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

3.4.1 หลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) หลอดปล่อยประจุก๊าซหรือหลอดดิสชาร์จ (Discharge Lamp) และหลอดประเภทเรืองแสงในตัว (Luminescence Lamps)

3.4.1.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) หลอดประเภทนี้อาศัยหลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดทั่วไปทำจากทั้งสแตน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและแสงสว่างขึ้น หลอดไส้เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างน้อยที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด รวมทั้งมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้นคือประมาณ 1,000-3,000 ชั่วโมงแต่หลอดชนิดนี้ยังเป็นหลอดที่นิยมใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจากง่ายต่อการติดตั้งและค่าติดตั้งเริ่มต้นมีราคาถูกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamp) และหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

3.4.1.2 หลอดไส้แบบธรรมดา หลอดชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวดทั้งสแตนบรรจุในหลอดแก้ว เมื่อกระแสไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดการเปล่งแสงออกมา ขณะหลอดทำงานขดลวดทั้งสแตนจะค่อย ๆ ระเหย จนกระทั่งหมดอายุการใช้งาน ซึ่งไส้หลอดมีลักษณะเป็นขดลวด ส่วนใหญ่ทำจากทั้งสแตน (Tungsten) มีข้อดีคือจุดหลอมเหลว มีค่าสูง (3,653 K) และมีความดันไอต่ำ ทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้โดยที่อุณหภูมิทำงานของไส้หลอดมีค่าประมาณ 2,500-2,700 K ในยุคแรก ๆ ไส้หลอดของหลอดเผาไส้จะทำจากทั้งสแตนเป็นแบบ Coil ขึ้นเดียว และต่อมาได้พัฒนาให้เป็นแบบ “Coiled-Coil” Filament ดังแสดงในรูปที่ 3-3 ลักษณะดังกล่าวช่วยลดการระเหิดของทั้งสแตนที่ใช้เป็นไส้หลอดทำให้อายุการใช้งานหลอดยาวนานขึ้นเป็น 1,000 ชั่วโมง สำหรับขั้วของหลอดทำด้วยทองเหลือง (Brass) หรืออะลูมิเนียม (Aluminum) ขนาดที่นิยมใช้ได้แก่ E10 E14 E27 E40 โดยที่ตัวเลขหมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วหลอด (มิลลิเมตร)



รูปที่ 3-3 ภาพขยายของไส้หลอดแบบ “Coiled-Coil” Filament

หลอดไส้แบบธรรมดาเหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทั่ว ๆ ไปโดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการความรู้สึกแบบอบอุ่น การให้แสงเน้นบรรยากาศเช่น บ้าน โรงแรม และร้านอาหาร เป็นต้น และการใช้งานแสงสว่างในระยะเวลาสั้น ๆ เช่น ห้องเก็บของ ห้องน้ำ หลอดประเภทนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง

หลอดไส้แบบธรรมดาสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ หลอด GLS (General Lighting Service) และหลอดสะท้อนแสง (Reflector Lamp) ซึ่งมีลักษณะและรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 หลอดไส้แบบธรรมดาชนิดต่าง ๆ

ประเภทของหลอดไส้แบบธรรมดา	รูปร่างลักษณะ	รายละเอียด
หลอด GLS		หลอดประเภทนี้มีทั้งประเภทใสและขุ่นซึ่งเกิดจากการเคลือบผิวด้วยซิลิกา
หลอดสะท้อนแสงชนิด Blown bulb lamp		เป็นหลอดที่มีสารฉนวนด้านข้างเพื่อให้แสงสะท้อนออกมาด้านหน้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อการส่องเน้น ซึ่งมีทั้งแบบมุมลำแสงกว้างและมุมลำแสงแคบ
หลอดสะท้อนแสงชนิด Parabolic หรือ หลอด PAR		เป็นหลอดที่ประกอบด้วยแก้ว 2 ส่วน ได้แก่ ตัวสะท้อนแสง (Reflector) ซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลาออยด์ (Paraboloid) ประกอบอยู่กับกระจกส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นเลนส์ด้านหน้า

ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไส้ชนิดธรรมดาขึ้นอยู่กับขนาดของหลอด ข้อมูลค่าฟลักซ์การส่องสว่างและประสิทธิภาพการส่องสว่าง ของหลอดที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 มูลค่าฟลักซ์การส่องสว่าง และประสิทธิภาพการส่องสว่าง ของหลอดที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ กัน

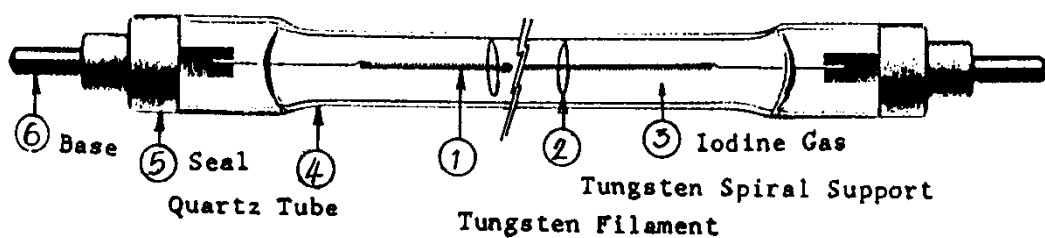
กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
25	200	8.0
40	400	10.0
60	700	17.5
75	900	12.0
100	1,350	13.5

การเปรียบเทียบข้อดี และข้อด้อยของหลอดไส้แบบธรรมดาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของหลอดไส้แบบธรรมดา

ข้อดี	ข้อด้อย
- ให้แสงที่มีความถูกต้องของสีมาก - สามารถหรี่หรือปรับความสว่างได้ง่าย ๆ ด้วยระบบหรี่ไฟ - หลอดจะสว่างทันทีที่เปิดสวิตช์ใช้งาน - ไม่เกิดคลื่นสัญญาณรบกวน	- ใช้กำลังไฟฟ้ามากทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้ามาก - อายุการใช้งานสั้น ประมาณ 750-1,000 ชั่วโมง - เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน - ประสิทธิภาพในการส่องสว่างต่ำ

3.4.1.3 หลอดทังสเตนฮาโลเจน เนื่องจากหลอดเผาไส้ธรรมดาอุณหภูมิจะสูงขณะใช้งานทำให้เกิดการระเหิดของทังสเตน ที่ใช้ทำไส้หลอดมาเกาะอยู่ที่ผิวในกระเปาะ ทำให้กระเปาะแก้วมีสีดำ เรียกว่า Blackening Effect และไส้หลอดบางลงจนขาดในที่สุด จึงได้มีการพัฒนาหลอดเผาไส้ธรรมดานี้โดยบรรจุธาตุตระกูลฮาโลเจนเข้าไปกับแก๊สที่บรรจุในหลอด แล้วอาศัยปรากฏการณ์ Halogen Regenerative Cycle ที่เกิดจากการรวมตัวของก๊าซฮาโลเจนกับโลหะทังสเตนที่ร้อนจนระเหิด แล้วกลายเป็นสารประกอบทังสเตน-ฮาโลเจน และกลับมาเกาะที่ไส้หลอดใหม่ ทำให้หลอดมีอายุการใช้งานมากขึ้น และช่วยให้หลอดไม่เปลี่ยนไปเป็นสีดำ โครงสร้างของหลอดทังสเตน-ฮาโลเจน แสดงดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 โครงสร้างของหลอดทังสเตน-ฮาโลเจน

หลอดฮาโลเจนบางรุ่นจะเคลือบ Dichroic film ที่แผ่นสะท้อนแสง ทำให้รังสีความร้อน (Infrared Ray) ประมาณ 60 % ผ่านทะลุ Dichroic film ออกไปด้านหลังหลอด และไม่ออกมาที่ลำแสงด้วย บางครั้งจึงเรียกกันว่าลำแสงเย็น (Cool beam) เหมาะสำหรับใช้ส่องวัตถุที่ไวต่อความร้อน เช่น ผลไม้ อาหาร หรืองานศิลปะ ที่ความร้อนจากลำแสงสามารถทำให้สีของวัตถุซีดจางได้ อย่างไรก็ตามการเลือกโคมไฟที่ใช้กับหลอดจะต้องพิจารณาถึงการระบายความร้อนออกด้านหลังโคมไฟด้วย

หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนนี้มีขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหลอดแบบส่องเน้น เพราะสามารถให้แสงแคบได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามระดับแรงดันการใช้งานได้แก่ หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ และหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ ลักษณะของหลอดแสดงดังรูปที่ 3-5 โดยหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนนี้มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงกว่าหลอดไส้แบบธรรมดาประมาณ 10 % และมีอายุการใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนแรงดันต่ำ เป็นหลอดที่มีขนาดเล็กใช้งานกับงานส่องเน้นให้สีออกขาว กว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ (อุณหภูมิสีประมาณ 3200 เคลวิน) ระดับแรงดันที่ใช้งานคือ 6V 12V หรือ 24V โดยต่อผ่านหม้อแปลงซึ่งจะต้องไม่ติดตั้งห่างจากตัวคอมมากเกินไป เนื่องจากจะมีปัญหาเรื่องแรงดันตกในสาย โดยมีมุมแสงให้เลือกขนาดที่ 12 24 และ 36 องศา หลอดชนิดที่ไม่มีกระจกป้องกันหลอดไม่ควรสัมผัสถูกบริเวณหลอดเพราะจะทำให้อายุการใช้งานของหลอดลดลงได้ ข้อมูลประสิทธิภาพพลังงานของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนแสดงในตารางที่ 3-4 และ 3-5



ก) ชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ 220 V



ข) ชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ

รูปที่ 3-5 หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน

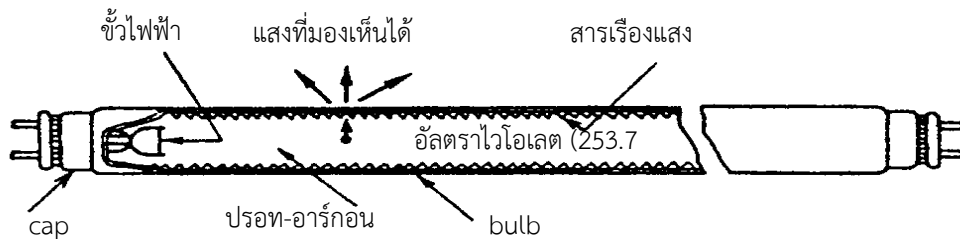
ตารางที่ 3-4 ข้อมูลทั่วไปของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ 220 V อายุการใช้งานเฉลี่ย 2,000 ชั่วโมง

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
75	1,100	14.7
100	1,500	15
150	2,600	17.4
300	5,000	16.7
500	9,500	19
1,000	22,000	22
2,000	44,000	22

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลทั่วไปของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำอายุการใช้งานเฉลี่ย 3,000 ชั่วโมง

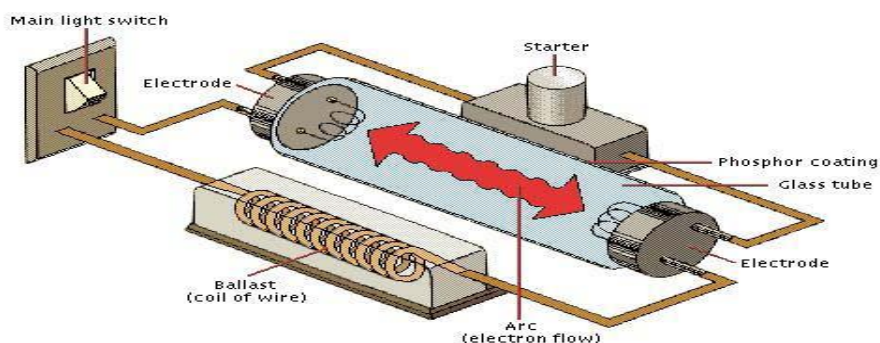
กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
20	320	16
35	600	17.2
50	930	18.6
75	1,450	19.4
90	1,800	20

3.4.1.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) เป็นหลอด Discharge lamp ที่กำเนิดแสงที่มองเห็นได้ด้วยการที่รังสีอัลตราไวโอเลตที่เกิดจากการคายประจุของไอปรอทความดันต่ำ ไปกระตุ้นสารเรืองแสง โครงสร้างของหลอดแสดงไว้ในรูปที่ 3-6 โดยภายในผิวหลอดแก้วจะมีสารเรืองแสงเคลือบอยู่และที่ไส้หลอดรูปคอยล์ที่ขั้วหลอดจะมีสาร Emitter เคลือบอยู่ ในหลอดจะมีปรอทจำนวนเล็กน้อยกับก๊าซอาร์กอนบรรจุอยู่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการคายประจุขึ้น ขั้วหลอดจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนร้อนออกมา อิเล็กตรอนจะไปชนกับอะตอมของปรอทเกิดรังสีอัลตราไวโอเลต (253.7 nm เป็นส่วนใหญ่) ขึ้น รังสีอัลตราไวโอเลตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสง และถูกแปลงเป็นแสงที่มองเห็นได้ (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Photoluminescence)



รูปที่ 3-6 โครงสร้างทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์

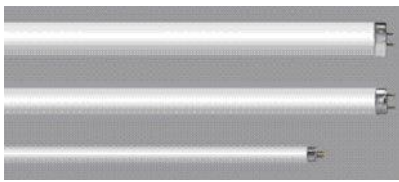
การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีบัลลาสต์ และสตาร์ทเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยตามวงจรแสดงในรูปที่ 3-7 โดยบัลลาสต์จะต่ออนุกรมกับหลอด ทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลเข้าสู่ขั้วหลอด ส่วนสตาร์ทเตอร์ (Starter) จะต่อขนานกับขั้วหลอดทั้งสองข้าง ทำหน้าที่จุดหลอดและถูกตัดออกมาจากวงจรเมื่อหลอดติดแล้ว วงจรดังรูปเป็นวงจรสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนมากที่ไส้หลอดจะต้องทำการอุ่นก่อนการจุดหลอด ซึ่งการอุ่นจะอาศัยสตาร์ทเตอร์ อย่างไรก็ตามหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบจุดติดเร็วซึ่งมีการอุ่นไส้หลอดตลอดเวลา และหลอดแบบจุดติดทันที (Instant Start) ซึ่งไม่ต้องอุ่นไส้หลอด หลอดทั้ง 2 แบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีสตาร์ทเตอร์



รูปที่ 3-7 วงจรการทำงานและการนำกระแสของก๊าซเมื่อจ่ายแรงดัน

ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอก (Tubular Fluorescent) และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) นอกจากนี้ยังมีหลอดฟลูออเรสเซนต์อีกประเภทคือ หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent) ซึ่งใช้หลักการเปล่งแสงคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปแต่วิธีการจุดหลอดปล่อยประจุต่างกัน

3.4.1.5 หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอก (Tubular Fluorescent) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นแรกๆ ที่ผลิตออกมาได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและมีอายุการใช้งานที่นานกว่าหลอดไส้ รูปร่างของหลอดมีลักษณะแตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ แบบทรงกระบอกตรง แบบทรงกระบอกรูปตัว U (U-shape) และแบบทรงกระบอกรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3-8



(ก) แบบทรงกระบอกตรง



(ข) แบบทรงกระบอกรูปตัว U



(ค) แบบทรงกระบอกรูปวงกลม

รูปที่ 3-8 หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอกรูปแบบต่าง ๆ

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีวิวัฒนาการและเริ่มผลิตมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2482 หลอดฟลูออเรสเซนต์ยุคแรก มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 38 mm (หรือ 1.5 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T12 (ปัจจุบันเลิกผลิตจำหน่ายแล้ว) ต่อมาหลอดประเภทนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและใช้กำลังไฟลดลง โดยหลอดประเภทนี้เรียกว่า หลอดผอม ทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 26 mm (หรือ 1 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T8 ซึ่งขนาดที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ 18 W 36 W และ 58W

ปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบฟลักซ์การส่องสว่างสูง ได้พัฒนาเทคโนโลยีสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในใหม่ เรียกว่า ไตรฟอสเฟอร์ (Tri-phosphor) โดยมีชื่อเรียกทางการค้าว่า หลอดขาวเขียว เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ควบคุมปริมาณสารปรอทให้ต่ำเพียง 3-5 มิลลิกรัมต่อหลอด (ขณะที่ของเดิมมีปริมาณปรอทถึง 15-40 มิลลิกรัมต่อหลอด) ซึ่งใช้หลักการผสมแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว น้ำเงิน เคลือบสารเป็นสารเรืองแสงภายใน ทำให้แสงสีที่เปล่งออกมามีครบทุกเฉดสี ผลทำให้ดัชนีบอกความถูกต้องของสีของหลอดสูงขึ้น และทำให้ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างเพิ่มขึ้นถึง 30% มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงขึ้น และอายุการใช้งานนานขึ้น

สีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่นิยมใช้กันมี 3 แบบคือ Warm White, Cool White, และ Day Light โดยที่หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Warm White เหมาะที่จะใช้กับบริเวณที่ต้องการค่าความสว่างไม่เกิน 300 ลักซ์ แต่ต้องการความรู้สึกที่อบอุ่น หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Day Light เหมาะที่จะใช้กับสถานที่ที่ต้องการค่าความสว่างสูง หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Cool White เหมาะที่จะใช้กับบริเวณที่ต้องการค่าความสว่างไม่เกิน 500 ลักซ์

ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่คือหลอดฟลักซ์การส่องสว่างสูง ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Lamps: HE Lamps) หรือหลอด T5 หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่นี้มีขนาดเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 16 mm (หรือ 5/8 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T5 แต่หลอดประเภทนี้จะต้องใช้ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ โดยขนาดมีทั้งที่เป็นแบบมาตรฐาน (Standard) ที่มีขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 14 W 21 W

28 W และ 35W และแบบความเข้มสูง (High output, HO) ที่มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 24W 39W 54W และ 80W หากจะเปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด T5 T8 และ T12 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-6 จะเห็นได้ว่าพัฒนาการของ T5 ทำให้ได้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

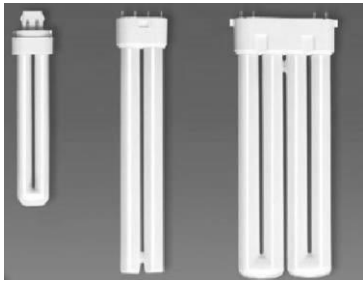
ตารางที่ 3-6 การเปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด T5 T8 และ T12

ประเภทหลอด	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความยาว (นิ้ว)	ปริมาณแสง (ลูเมน)		ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (ลูเมน ต่อ วัตต์)
			เริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยตลอดอายุการใช้งาน	
T5 มาตรฐาน	14	22	1350	1269 – 1275	96
	21	34	2100	1974 – 2000	100
	28	46	2900	2726 – 2750	104
	35	58	3650	3431 – 3450	104
T5 ความเข้มสูง	24	22	2000	1880 – 1895	83
	39	34	3500	3290 – 3320	90
	54	46	5000	4700 – 4740	93
	80	58	7000	6580 – 6650	88
T12	40	48	3050 – 3250	2775 – 2950	81
	34	48	2650 - 2800	2430 – 2520	82
T8	32	48	2700 - 2850	2550 - 2710	89

ที่มา: <http://dsm.egat.co.th/t5/t5vst8.php>: 27/11/2007

3.4.1.6 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) หลอดประเภทนี้ เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ โดยหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์นี้มีอายุการใช้งานประมาณ 8,000 ชั่วโมง และประหยัดไฟได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ เนื่องจากหลอดประเภทนี้มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ ดังนั้นจึงสามารถใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ได้ในบางพื้นที่หรือบางกิจกรรม โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องมีการเปิดไฟทิ้งไว้เป็นเวลานาน เช่น ไฟส่องสว่างทางเดิน เป็นต้น

สำหรับการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เพื่อทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เช่น การส่องสว่างในสำนักงานนั้นจะต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ มีลักษณะของแสงที่เป็นจุด ดังนั้นหากใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งลักษณะของแสงเป็นแนวยาวจะทำให้เกิดเงาขึ้นเป็นจำนวนมาก หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีทั้งแบบบัลลาสต์แยก และแบบบัลลาสต์ในตัว ซึ่งมีรูปร่างลักษณะดังรูปที่ 3-9 และข้อมูลทั่วไปเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพพลังงานได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-7



ก) แบบบัลลาสต์แยกภายนอก



ข) แบบบัลลาสต์ในตัว

รูปที่ 3-9 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แบบต่าง ๆ

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลทั่วไปของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
บัลลาสต์แยก ภายนอก	8	360	45
	14	720	51.5
	18	1,000	55.6
บัลลาสต์ในตัว	8	420	52.5
	11	650	59.1
	15	950	63.4
	23	1,350	58.7

3.4.1.7 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent) หลอดประเภทนี้มีหลักการทำงานคือ เมื่อรับไฟผ่านจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพิเศษเข้ามาที่ขดลวดปฐมภูมิที่พันอยู่บนแกนเฟอร์ไรต์ตัวหลอดที่คล้องอยู่ในแกนเฟอร์ไรต์เสมือนเป็นทุติยภูมิไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจากขดลวดปฐมภูมิ จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่รอบตัวหลอด ทำให้เกิดแรงดันสูงเหนี่ยวนำขึ้นที่ หลอด ส่งผลให้อิเล็กตรอนภายในหลอดเกิดการแตกตัวและวิ่งไปกระทบกับอะตอมปรอทปล่อยรังสียูวี และผ่านสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในผิวหลอดกลายเป็นแสงที่มองเห็นได้ซึ่งหลักการเปล่งแสงคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป เนื่องจากหลอดประเภทนี้ไม่มีขั้วหลอดจึงมีอายุการใช้งานนาน เช่น หลอดขนาด 100-150 W มีอายุการใช้งานนานถึง 60,000 ชั่วโมง มีค่าฟลักซ์การส่องสว่าง 8,000-12,000 lm และประสิทธิภาพ 80 lm/W ลักษณะและข้อมูลทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำแสดง ดังรูปที่ 3-10 และตารางที่ 3-8



รูปที่ 3-10 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ

ตารางที่ 3-8 ข้อมูลทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนียวน้ำ อายุการใช้งานเฉลี่ย 60,000 ชั่วโมง

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
100	8,000	80
150	12,000	80

3.4.1.8 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium) เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่าง สูงที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมดคือจะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง 100-189 lm/W หลอดโซเดียมความดันต่ำจะใช้ก๊าซนีออน (Neon) และก๊าซอาร์กอน (Argon) ช่วยในการจุดติดหลอด โดยในการดีสชาร์จจะทำให้ผนังหลอดแก้วร้อนขึ้น ซึ่งจะทำให้โซเดียมกลายเป็นไอ ให้แสงสีเหลือง หลอดนี้มีช่วงเวลาที่ใช้ในการจุดติดหลอดและช่วงเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) 12-15 นาที ข้อมูลทั่วไปแสดงดังตารางที่ 3-9

เนื่องด้วยประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูงของหลอดโซเดียมความดันต่ำ หลอดชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ต้องเปิดไฟไว้เป็นระยะเวลานาน อาทิเช่น ไฟส่องบริเวณหลอดให้ความเย็นที่สูง จึงไม่ควรนำไปใช้กับกิจกรรมหรือบริเวณที่ต้องความถูกต้องของสีสูง



รูปที่ 3-11 หลอดโซเดียมความดันต่ำ

ตารางที่ 3-9 ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันต่ำ อายุการใช้งานเฉลี่ย 14,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
ชนิดธรรมดา	35	4,500	123
	55	7,800	148
	90	13,000	146
	135	20,800	161
	180	32,500	179
ชนิดปรับปรุงประสิทธิภาพการส่องสว่าง	18	1,800	100
	26	3,600	144
	36	5,800	171
	66	10,500	172
	91	17,000	189
	180	32,500	180.6

3.4.1.9 หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury) หรือ หลอดแสงจันทร์ เป็นหลอดดิสชาร์จความดันสูงชนิดแรกที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งาน เพื่อใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดชนิดนี้ที่ใช้เป็นไฟส่องสว่างสำหรับโพลนินในซอย หลักการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูง อาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วงดังนี้ คือ ช่วงจุดหลอด (Ignition) ช่วงกำลังเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) และช่วงสภาวะคงตัว (Stabilization)

ช่วงจุดหลอด (Ignition) เกิดจากการทำงานของขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary Electrode) ของหลอด โดยเมื่อเริ่มจุดหลอดจะเกิดแรงดันคร่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าหลัก และขั้วไฟฟ้าช่วย ซึ่งทำให้เกิดการดิสชาร์จของก๊าซ ตัวต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขั้วไฟฟ้าจะเป็นตัวจำกัดกระแส จนสุดท้ายจะเกิดเป็นอาร์กดิสชาร์จระหว่างขั้วไฟฟ้าหลัก ซึ่งในช่วงจุดหลอดนี้ หลอดจะทำงานที่สภาวะความดันต่ำ และหลอดจะเกิดแสงสีฟ้าขึ้น

ช่วงกำลังเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) หลังจากจุดหลอดแล้ว อาร์กดิสชาร์จที่เกิดขึ้นในหลอดจะเป็นตัวทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งจะทำให้ปรอทกลายเป็นไอ โดยแสงที่ได้จากหลอดจะยังมีค่าไม่เต็มที่จนกว่าปรอทในหลอดดิสชาร์จจะกลายเป็นไอทั้งหมด เมื่อความดันไออยู่ในช่วงประมาณ 2-15 kpa แสงจะเริ่มมีสีขาว ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่จุดไส้หลอดจนถึงเวลาที่หลอดให้แสงสว่าง 80 % จะมีค่าประมาณ 4 นาที

ช่วงสภาวะคงที่ (Stabilization) เป็นช่วงที่หลอดให้ความสว่างเต็มที่ซึ่งจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 5 นาที

หลอดไอปรอทความดันสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่แบบใส และแบบเคลือบสารช่วยกระจายแสง (ดังรูปที่ 3-12) และแบ่งตามโครงสร้างวงจรได้เป็น 2 แบบ คือ แบบใช้บัลลาสต์ กับแบบไม่ใช้บัลลาสต์ ในหลอดแบบใช้บัลลาสต์ มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 40-60 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 14,000 ชั่วโมง และฟลักซ์การส่องสว่างจะลดลงตามอายุการใช้งานของหลอด



หลอดไอปรอทความดันสูงแบบใส



หลอดไอปรอทความดันสูงแบบเคลือบ

รูปที่ 3-12 หลอดไอปรอทความดันสูงแบบใสและแบบเคลือบ

สำหรับในหลอดแบบไม่ใช้บัลลาสต์ช่วยจุดหลอดบางครั้งถูกเรียกว่า หลอดแสงผสม (Blended Light Lamp) เพื่อใช้ทดแทนหลอดไส้ที่กำลังไฟฟ้าสูง ๆ ภายในจะมีไส้หลอดลักษณะคล้ายหลอดไส้ให้ความร้อน และเปล่งแสงในช่วงแรกทันทีเพื่อช่วยกระตุ้นให้ก๊าซภายในหลอดอาร์กแตกตัว และเปล่งแสงจริงให้หลอดอาร์กสว่างเต็มที่ หลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพการส่องสว่างไม่สูงมากนัก คือ 19-28 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 6,000 ชั่วโมง ซึ่งสั้นกว่าแบบใช้บัลลาสต์แต่มีข้อดีคือเมื่อเปิดไฟจะมีแสงสว่างที่ได้

จากหลอดไส้ในช่วงแรกทันที ทำให้ส่องสว่างพื้นที่ได้เร็วกว่าข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแสดงดังตารางที่ 3-10 และ 3-11

ตารางที่ 3-10 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแบบใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานเฉลี่ย 14,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
ไส้	125	5,900	47.2
	400	21,000	52.5
เคลือบ	50	1,800	36
	80	3,700	46.3
	125	6,300	50.4
	250	13,000	52
	400	22,000	55
	700	38,000	54.3
	1000	58,000	58
เคลือบแบบพิเศษ	50	2,000	40
	80	4,000	50
	125	6,500	52
	250	14,000	56
	400	24,000	60

ตารางที่ 3-11 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแบบไม่ใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานเฉลี่ย 6,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
ไส้	160	3,100	19.4
	250	5,600	22.4
	500	14,000	28

3.4.1.10 หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium) เป็นหลอดที่ให้ประสิทธิภาพการมองเห็นที่ดีที่สุดเนื่องจากหลอดให้เปล่งแสงสีทองเหลือง ซึ่งเป็นสีที่ไวต่อการมองเห็นของมนุษย์หลอดประเภทนี้มีอายุการใช้งานยาวนานจึงนิยมใช้สำหรับการให้แสงสว่างภายนอกอาคารอาทิ เช่น ที่จอดรถลานรับ-ส่งสินค้า ไฟสนามกีฬา เป็นต้น มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-13 หลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างค่อนข้างสูง 70-140 lm/W แต่ให้ความถูกต้องของสีค่อนข้างต่ำ (CRI 23) ยกเว้นรุ่นที่มีการปรับปรุงคุณภาพของแสงซึ่งจะให้ความถูกต้องของสีประมาณ 60-85 หลอดไฟประเภทนี้ ต้องจุดไส้หลอดด้วยพัลส์แรงดันสูงประมาณ 1.8-5 kV และต้องใช้เวลาในการอุ่นไส้หลอดประมาณ 3-7 นาที แสงที่ออกมาจากหลอดจึงจะสว่างเต็มที่

หลอดโซเดียมความดันสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ คือ หลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐานหลอดโซเดียมความดันสูงแบบประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง หลอดโซเดียมที่ออกแบบให้ใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง และหลอดโซเดียมความดันสูงที่มีความถูกต้องของสีสูง หลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐานใช้เซนอน (Xenon) เป็นก๊าซช่วยจุดติดที่ความดันประมาณ 3 kPa โดยต้องใช้ไอกนิเตอร์ช่วยในการทำให้หลอดติด (ยกเว้นหลอดที่มีขนาดกำลังไฟต่ำ เช่น 50W และ 70W เนื่องจากว่าแรงดันจุดหลอด (Ignition Voltage) มีค่าสูงถึง 2.8kV

หลอดโซเดียมความดันสูงแบบประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง สามารถทำได้โดยเพิ่มความดันของ Xenon เป็นประมาณ 30 kPa ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างเพิ่มขึ้นจากหลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐานประมาณ 15 %

หลอดโซเดียมที่ออกแบบให้ใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง หลอดประเภทนี้สามารถใช้กับบัลลาสต์หลอดไอปรอทความดันสูงได้ และไม่ต้องใช้ไอกนิเตอร์ (Igniter) เนื่องจากมี Build-in Starting Aid หลอดโซเดียมความดันสูงประเภทนี้เมื่อใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง จะใช้กำลังไฟฟ้าลดลง 15 % และให้ฟลักซ์การส่องสว่างเพิ่มขึ้น 40 % ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันสูงแสดงไว้ในตารางที่ 3-12

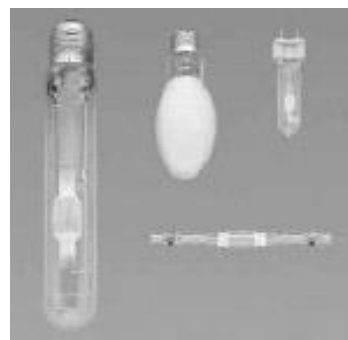
ตารางที่ 3-12 ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันสูง อายุการใช้งานเฉลี่ย 18,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่อง สว่าง (lm/W)
ชนิดมาตรฐาน	50	3,450	69
	70	5,600	80
	150	14,500	96.7
	250	26,500	106
	400	49,000	122.5
	1000	130,000	130

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่อง สว่าง (lm/W)
ชนิดประสิทธิภาพการ ส่องสว่างสูง	100	10,000	100
	150	16,000	106.7
	250	30,000	120
	400	56,000	140
ชนิดใช้แทนหลอดไอ ปรอทความดันสูง	220	20,000	91
	350	34,500	98.6

3.4.1.11 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide) มีลักษณะการทำงานคล้ายหลอดไอปรอทความดันสูงแต่แตกต่างกันตรงที่ภายในหลอดประเภทนี้จะเติมสารประกอบเมทัลฮาไลด์เข้าไปกับปรอท เพื่อให้ได้สีของแสงดีขึ้น ดังนั้นหลอดเมทัลฮาไลด์นี้จึงมีคุณสมบัติทางสีที่ดีเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการแสงสีที่ดี เช่น สนามกีฬา และโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการเห็นแสงสีของวัสดุ เป็นต้น

ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดเมทัลฮาไลด์ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้า แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าประมาณ 65-95 ลูเมนต่อวัตต์ อายุการใช้งานหลอดประเภทนี้จะมีอายุการใช้งานน้อยกว่าหลอดไอปรอทความดันสูง คือมีอายุการใช้งานประมาณ 9,000-20,000 ชั่วโมง ลักษณะ และข้อมูลทั่วไปของหลอดเมทัลฮาไลด์แสดงอยู่ในรูปที่ 3-14 และตารางที่ 3-13 ตามลำดับ

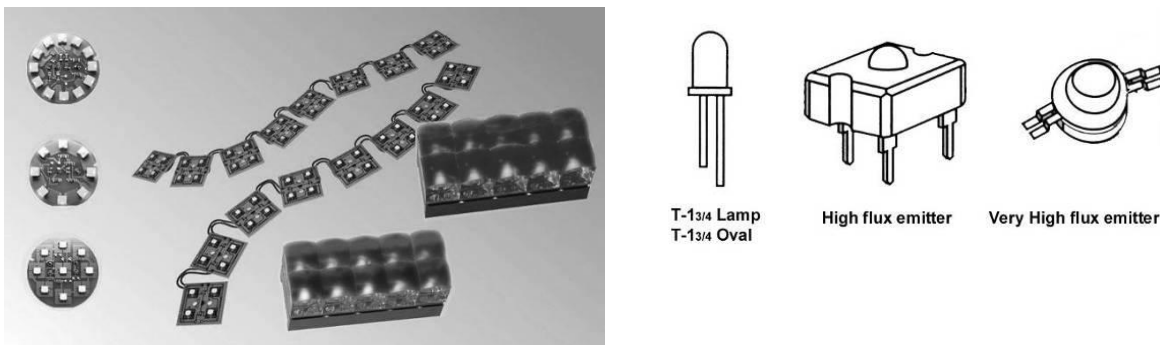


รูปที่ 3-14 หลอดเมทัลฮาไลด์

ตารางที่ 3-13 ข้อมูลทั่วไปของหลอดเมทัลฮาไลด์ อายุการใช้งานเฉลี่ย 9,000-20,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
ขั้วเดี่ยว (Tubular)	250	17,000	68
	400	31,500	78.8
	1000	81,000	81
	2000	189,000	94.5
ขั้วเดี่ยว (Double Envelope)	70	5,100	72.9
	150	11,000	73.4
สองขั้ว	70	5,500	78.6
	150	11,250	75
	250	20,000	80

3.4.1.12 หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode , LED) หลอดแอลอีดีเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการเปล่งแสง และถูกควบคุมการกระจายแสงด้วยเลนส์ที่เคลือบไว้ เมื่อใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง อิเล็กตรอนจะผ่านไปตามอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ทำให้เกิดแสงออกมาตามความถี่ของแสงที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3-15 ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีหลอดแอลอีดีให้มีความเข้มการส่องสว่างสูงจนสามารถใช้กับงานด้านแสงสว่างได้ ซึ่งมีข้อดีเมื่อเทียบกับหลอดประเภทอื่น คือ ขนาดเล็กกระทัดรัด ทนการสั่นสะเทือนสูง เปิดปิดได้บ่อยครั้ง อายุยาวนาน มีประสิทธิภาพด้านแสงสูง ไม่มีการแผ่รังสียูวี และอินฟราเรด ไม่มีกำลังสูญเสียในการจุดหลอด ซึ่งแอลอีดีสมัยใหม่ที่ยานิยมใช้งานด้านนี้คือ อะลูมิเนียมอินเดียมแกลเลียมฟอสไฟด์ (Aluminum indium gallium phosphide, AlInGaP) และอินเดียมแกลเลียมไนไตรด์ (Indium gallium nitride, InGaN) โดยแบ่งกลุ่มหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงดังนี้ คือ หลอดแอลอีดีทรงวงรี หลอดแอลอีดีฟลักซ์การส่องสว่างสูง (High flux emitter) และหลอดแอลอีดีฟลักซ์การส่องสว่างสูงมาก (Very high flux emitter) (ดูรูปที่ 3-15) ซึ่งนิยมนำไปใช้งานป้ายโฆษณา ป้ายสัญลักษณ์ และไฟสัญญาณจราจร หรืองานที่ต้องการลักษณะการให้แสงที่มีความเข้มการส่องสว่างสูง โดยหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงขนาด 1 วัตต์ สีแดงจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 37 ลูเมนต่อวัตต์ สีเขียวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ สีน้ำเงินจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 12 ลูเมนต่อวัตต์ และสีขาวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 34 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 50,000 ชั่วโมง



รูปที่ 3-15 หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูง

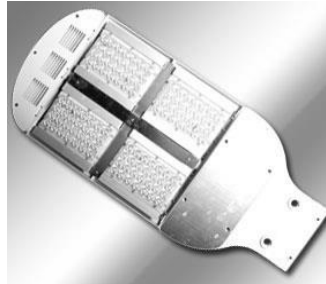
ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแอลอีดีให้อยู่ในรูปหลอดไฟที่มีขั้วหลอดแบบทั่วไป เช่น E27 และ E40 ซึ่งสามารถเปลี่ยนทดแทนหลอดไส้ หรือหลอดปล่อยประจุความเข้มแสงสูง (HID) ได้เลย (ดูรูปที่ 3-16) สามารถใช้ได้ทั้งใน และนอกอาคาร และในสถานที่ที่ไม่ต้องการการเกิดประกายไฟช่วงจุดหลอด ทำงานได้ในอุณหภูมิช่วงกว้างถึง -40 ถึง 180 องศาฟาเรนไฮต์ ความเสื่อมทางแสงต่ำจุดติดเร็วไม่ต้องใช้บัลลาสต์ในหลอดแอลอีดี ย่อยแต่ละตัวจะมีขนาดเล็ก มีเลนส์ค่าสะท้อนแสงสูงอยู่ในตัว และบังคับทิศทางแสงส่องลงด้านล่างเป็นหลัก จึงไม่จำเป็นต้องใช้โคมที่มีการสะท้อนแสงสูงมีแสงบาดตาต่ำ ประหยัดเงินค่าบำรุงรักษา หลอดประเภทนี้ยังไม่นิยมใช้แพร่หลายเนื่องจากมีราคาสูงอยู่มาก ข้อมูลทั่วไปของหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงแสดงไว้ในตารางที่ 3-14



ก) หลอดขนาด 5 W 300 lm ขั้วหลอด E27



ข) หลอดขนาด 28 W 2,100 lm ขั้วหลอด E40



ค) หลอดสำหรับไฟถนนชนิดสำเร็จรูปทั้งดวงโคม

รูปที่ 3-16 หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงที่ออกแบบใช้ทดแทนหลอดไฟแบบทั่วไป

ตารางที่ 3-14 ข้อมูลทั่วไปของหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงที่ออกแบบในรูปหลอดไฟขั้วหลอดแบบทั่วไป อายุการใช้งานเฉลี่ย 50,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
ขั้วหลอดแบบ E27	5	300	60
ขั้วหลอดแบบ E40 และแบบสำเร็จรูป ทั้งดวงโคม	28	2,100	75
	48	3,300	68.8
	60	4,400	73.4
	80	6,000	75
	100	7,600	76
	125	9,400	75.2
	140	10,600	75.7
	180	13,800	76.7

จากประเภทหลอดไฟที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด สามารถทำการสรุปเปรียบเทียบข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-15

ตารางที่ 3-15 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟ

ชนิดหลอด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่อง สว่าง (lm)	ประสิทธิภาพ การส่องสว่าง (lm/W)	อายุการ ใช้งานเฉลี่ย (h)
อินแคนเดสเซนต์	15-500	120-8,400	53-64	1,000
ฮาโลเจนแรงดันปกติ	75-2,000	975-50,000	13-25	2,000
ฟลูออเรสเซนต์ฟลักซ์การส่องสว่างสูง	18-36	1,300-3,350	72-93	12,000
ฟลูออเรสเซนต์ฟลักซ์การส่องสว่างสูง ประสิทธิภาพสูง	14-35	1,350-3,650	93-104	20,000
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์บัลลาสต์แยก ภายนอก	8-18	360-1,000	45-56	8,000
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์บัลลาสต์ในตัว	8-23	420-1,350	53-64	8,000
ฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ	100-150	8,000-12,000	80	60,000
โซเดียมความดันต่ำ (ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง)	18-180	1,800-32,500	100-181	14,000
ไอปรอทความดันสูง (เคลือบ) แบบใช้บัลลาสต์	50-1,000	1,800-58,000	36-58	14,000
ไอปรอทความดันสูงแบบไม่ใช้บัลลาสต์	160-250	3,100-5,600	19-22	6,000
โซเดียมความดันสูง (มาตรฐาน)	50-1,000	3,450-130,000	69-130	18,000
โซเดียมความดันสูง ประสิทธิภาพการส่อง สว่างสูง	100-400	10,000-56,000	100-140	18,000
เมทัลฮาไลด์ (ชั่วเดียว)	70-2,000	5,100-189,000	73-95	20,000
เมทัลฮาไลด์ (สองชั่ว)	70-2,000	5,500-220,000	79-80	9,000
แอลอีดีสมรรถนะสูง ชั่วหลอดแบบ E27	5	300	60	50,000
แอลอีดีสมรรถนะสูง ชั่วหลอดแบบ E40	28-180	2,100-13,800	75-77	50,000

3.5 การพิจารณาเลือกใช้หลอดไฟ

การเลือกหลอดไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอาจพิจารณาได้จากค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง โดยหลอดที่มีประสิทธิภาพพลังงานที่สูงหมายถึง หลอดไฟฟ้านั้นมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง ซึ่งประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดไฟฟ้าที่มีค่าประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำ อย่างไรก็ตามโดยหลอดแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันด้านการนำไปใช้งาน ดังนั้น จึงไม่ควรพิจารณาเฉพาะค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างเพียงอย่างเดียว ยังต้องมีปัจจัยอื่นประกอบอีกมากมาย เช่น ฟลักซ์การส่องสว่าง กำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบ อายุการใช้งาน ความถูกต้องของสี ราคาหลอดไฟ ประเภทกิจกรรม และข้อเปรียบเทียบด้านการใช้งานในที่ต่าง ๆ เป็นต้น ตารางที่ 3-16 ได้แสดงสรุปเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของหลอดไฟเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกใช้หลอดไฟ

ตารางที่ 3-16 การเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของหลอดประเภทต่าง ๆ

	Incandescent	Tubular fluorescent	Compact fluorescent	Discharge
ราคาต้นทุน	ถูก	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง – สูง
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ – ต่ำมาก
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	15-1,500	8-150	9-36	35-3,500
อายุ (ชั่วโมง)	1,000	5,000-20,000	8,000	4,000-24,000
อัตราการเสื่อมของลูเมน	15%	15 – 20%	15-30%	10-40%
ความถูกต้องของสี ¹	ดี	ดี	ปานกลาง – ดี	น้อย – ดีมาก
ระยะเวลาในการจุดหลอด	ทันที	หนึ่งวินาที	หนึ่งวินาที	5-10 นาที
ความสูงที่ติดตั้ง	สูงสุด 6 เมตร	สูงสุด 6 เมตร	สูงสุด 6 เมตร	6-30 เมตร
การใช้งาน	ระดับแสงต่ำ ๆ หรือแสงสว่างที่ใช้ในการตกแต่ง เช่น ตู้โชว์	แสงสว่างภายในทั่วไป โรงงาน อุตสาหกรรม, อาคารพาณิชย์, สำนักงาน, โรงเรียน, บ้าน	แสงสว่างภายในทั่วไป โรงงาน อุตสาหกรรม, อาคารพาณิชย์, สำนักงาน, โรงเรียน, บ้าน	แสงสว่างภายนอก, ไฟถนน, ไฟตกแต่ง, แสงสว่างภายในที่ต้องติดตั้งในระดับที่สูง
อื่น ๆ	แรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อแสงสว่างจากหลอด	แรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อแสงสว่างจากหลอด ความถี่ในการเปิดปิดจะทำให้อายุของหลอดสั้นลง	สามารถใช้ติดตั้งแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ได้โดยตรง	ต้องใช้คู่กับบัลลาสต์ที่เหมาะสมของหลอด, การเลือกใช้ประเภทของหลอดชนิดนี้ต้องเหมาะสมกับสถานที่ใช้งาน

หมายเหตุ

¹ ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (Color Rendering Index, CRI) เป็นการวัดค่าของหลอดไฟว่ามีประสิทธิภาพในการแสดงคุณลักษณะของสีเป็นอย่างไรโดยจะใช้ค่าดัชนีบอกความถูกต้องของสีเป็นตัวเปรียบเทียบ ดังนั้นค่า CRI จะเป็นตัวบ่งชี้ความถูกต้องของสีของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับความถูกต้องของสีที่ได้จากแสงอาทิตย์ซึ่งมีค่า CRI เท่ากับ 100

3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหลอดไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงาน

3.6.1 บัลลาสต์

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการใช้งานควบคุมการทำงานของหลอดก๊าซดีสชาร์จ นอกจากจะช่วยให้การทำงานของวงจรไฟฟ้าแสงสว่างให้สมบูรณ์แล้วยังมีผลต่อการควบคุมฟลักซ์การส่องสว่างอายุการใช้งานของหลอด และการใช้พลังงานไฟฟ้าในวงจรด้วยบัลลาสต์มีหน้าที่หลักที่สำคัญ 2 ประการ คือ

ก) **ประการแรก** ช่วยสร้างให้เกิดแรงดันเพียงพอในการจุดหลอดก๊าซดิสชาร์จให้ติดควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดขณะสตาร์ทและทำงาน

ข) **ประการที่สอง** จ่ายกำลังไฟฟ้าให้หลอดอย่างเหมาะสม นอกจากนั้นอาจมีหน้าที่อื่น ๆ เช่น การปรับหรือแสงสว่าง เป็นต้น

3.6.1.1 บัลลาสต์แกนเหล็ก (Electromagnetic Ballast) โครงสร้างเป็นขดลวดพันรอบแกนเหล็ก (core & coil) ซึ่งชนิดที่นิยมใช้ในประเทศไทยเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ (inductor) หรือเรียกว่า ไซ้ก (choke) โดยทำหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการของบัลลาสต์ คือ สร้างแรงดันสูงเหนี่ยวนำเพื่อใช้จุดหลอดให้ติด และจำกัดกระแสให้หลอดอย่างเหมาะสมต้องเลือกให้เหมาะสมกับหลอดแต่ละประเภท แต่ละชนิด และแต่ละขนาด ซึ่งบัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับหลอดก๊าซดิสชาร์จเพราะเมื่อหลอดไฟผ่านขั้นตอนการจุดติดแล้วนั้น ค่าความต้านทานของหลอดจะลดลงอย่างมาก จึงต้องนำบัลลาสต์มาต่ออนุกรมในวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานมิให้กระแสไหลเกินพิกัดจนไส้หลอดขาด

การใช้งานร่วมกันระหว่างหลอดไฟฟ้า และบัลลาสต์จะต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้งานร่วมกันได้ หากใช้งานผิดชนิดกันย่อมทำให้เกิดผลเสียหายหลายอย่าง เช่น จุดหลอดติดยาก หลอดเสื่อมสภาพเร็ว อายุใช้งานสั้น กำลังสูญเสียในบัลลาสต์สูงซึ่งจะทำให้อายุงานบัลลาสต์สั้นลงได้ การใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพสูง และเหมาะสมกับหลอดไฟ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

3.6.1.1.1 บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป (Conventional ballast) ในการทำงาน บัลลาสต์ซึ่งเป็นขดลวดพันอยู่รอบแกนเหล็กเพื่อสร้างค่าความเหนี่ยวนำสูง ซึ่งมีผลทำให้มีค่าความต้านทานสูง เกิดกำลังสูญเสียมากตามไปด้วยโดยมีค่ากำลังสูญเสียประมาณ 8-12 วัตต์ สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 36 หรือ 40 วัตต์ และหลอด 18 หรือ 20 วัตต์ การสูญเสียดังกล่าวจะเปลี่ยนไปในรูปของความร้อน ทำให้อุณหภูมิบัลลาสต์ขณะใช้งานอาจสูงถึง 75-90 °C จะทำให้อุณหภูมิที่เคลือบขดลวดค่อย ๆ เสื่อมสภาพ และเสื่อมอายุการใช้งานตามเวลา โดยทั่วไปบัลลาสต์แกนเหล็กแบบทั่วไปตามมาตรฐาน มอก. มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปีใช้งาน (หากใช้งานไม่ตลอด 24 ชม. ต่อวัน ก็อาจใช้งานได้นานถึง 30 ปี ตลอดอายุอายุการ)

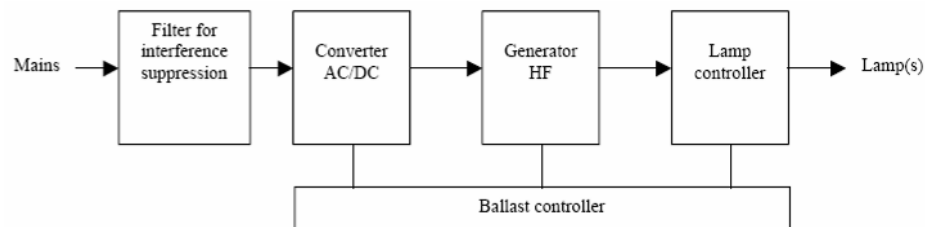
3.6.1.1.2 บัลลาสต์แกนเหล็กแบบกำลังสูญเสียต่ำ (low loss ballast) เป็นบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูง ที่ลดการสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์เหลือเพียงประมาณ 5-6 วัตต์ โดยการใช้เส้นลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และใช้แกนเหล็กที่มีคุณภาพดี

ปัจจุบัน ประเทศไทยมีโครงการจัดตั้งภายใต้ความร่วมมือระหว่างบริษัทผู้ผลิต และ/หรือนำเข้าผลิตภัณฑ์บัลลาสต์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ชัดเจนแก่ประชาชน เกี่ยวกับค่าความสูญเสียพลังงานของบัลลาสต์ และระดับประสิทธิภาพของบัลลาสต์นั้น ๆ เพื่อให้ผู้ประกอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์บัลลาสต์ให้เป็นอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่ง และเพื่อเป็นทางเลือกให้กับประชาชนในการใช้บัลลาสต์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น สูญเสียพลังงานน้อยลง และสามารถหาซื้อได้ในราคาที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการยอมรับในมาตรฐานระดับประสิทธิภาพ และคุณภาพของบัลลาสต์ประหยัดไฟฟ้า โดยกำหนดชื่อยี่ห้อเพื่อเรียกบัลลาสต์ดังกล่าวว่า “บัลลาสต์เบอร์ 5 นิรภัย” ซึ่งจะต้องผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบ และรับรองจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 23-2521 และต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวบัลลาสต์ต่ำกว่า 6 W ที่กระแสไฟฟ้าทดสอบไม่ต่ำกว่า 0.398 A สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 36 W และกระแสทดสอบไม่ต่ำกว่า 0.343 A สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 18 W ในสภาวะ Hot Loss ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบจะได้รับการติดฉลากเบอร์ 5 ลักษณะดังรูปที่ 3-17



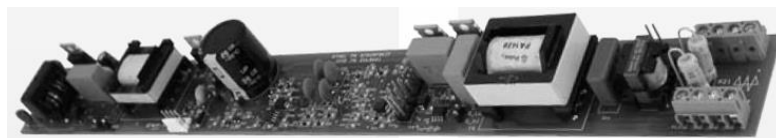
รูปที่ 3-17 ตัวอย่างฉลากบัลลัสต์กำลังสูญเสียต่ำ หรือ “บัลลัสต์เบอร์ 5 นิรภัย” ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวบัลลัสต์ต่ำกว่า 6 W ใช้สำหรับสำหรับหลอดฟลูออโรซีนขนาด 18 W หรือ 36 W

3.6.1.2 บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast) การทำงานของบัลลัสต์ชนิดนี้เหมือน บัลลัสต์แกนเหล็กมีใช้ทำหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการของบัลลัสต์ แต่การจะลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในโซ้กได้โดยการลดขนาดโซ้กให้เล็กลงนั้น จำเป็นต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายปกติความถี่ 50 Hz เป็นความถี่สูงไม่น้อยกว่า 20,000 Hz (เกนซ์ 20 kHz เป็นความถี่สูงขั้นต่ำ ที่หูคนทั่วไปจะไม่ได้ยินเสียงการทำงาน) ซึ่งการใช้ความถี่สูงก็จะทำให้สามารถลดขนาดโซ้กของบัลลัสต์ให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีการสูญเสียต่ำ และประหยัดไฟได้มากกว่าบัลลัสต์แกนเหล็กได้ ปัจจุบันมีการพัฒนาบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในระดับความถี่ KHz – MHz ดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 แผนผังแสดงส่วนทำงานหน้าที่ต่าง ๆ ของบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยส่วนสร้างความถี่สูง (HF Generator) และส่วนโซ้ก (Lamp Controller) โดยมีวงจรควบคุม (Ballast Controller) ควบคุมการทำงาน ส่วนวงจรกำจัดคลื่นรบกวน (Filter for Interference Suppression) นั้นเป็นวงจรที่อาจมีในบัลลัสต์ที่มีราคาสูงและจัดว่ามีคุณภาพดี ซึ่งบัลลัสต์ราคาถูกบางรุ่นอาจไม่มีวงจรส่วนนี้ ดังรูปที่ 3-19



รูปที่ 3-19 ตัวอย่างภาพอุปกรณ์ภายในกล่องบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจึงต้องใช้อุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังอุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะถูกต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟ และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังถูกออกแบบให้อยู่ในรูปขดลวดเหนียวหนาหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ในขณะที่อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังชนิดวงจรอิเล็กทรอนิกส์มักจะประกอบเข้าเป็นส่วนหนึ่งของบัลลาสต์

3.6.1.3 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และพลังงานที่ใช้ของบัลลาสต์ ในหัวข้อนี้กล่าวถึงข้อสรุปการเปรียบเทียบการใช้บัลลาสต์ชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของบัลลาสต์แกนเหล็ก (ตารางที่ 3-17) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ตารางที่ 3-18) ในด้านการใช้งานและเปรียบเทียบกำลังสูญเสียในบัลลาสต์ของหลอดชนิดต่าง ๆ ข้อมูลทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับหลอดก๊าซดิสชาร์จความดันสูง เปรียบเทียบลักษณะกระแสผ่านหลอด และแรงดันคร่อมหลอดเมื่อใช้บัลลาสต์ต่างชนิด เปรียบเทียบลักษณะกระแสผ่านหลอด และแรงดันคร่อมหลอดเมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพต่ำ และมีคุณภาพสูงเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานให้เหมาะสม

ตารางที่ 3-17 ข้อดี-ข้อเสีย ของบัลลาสต์แกนเหล็ก

ข้อดี	ข้อเสีย
• ราคาต่ำ และอายุใช้งานยาวนานมาก (20 ปี) • ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แรงดันไม่คงที่ อุณหภูมิสูง • ข้างติดตั้งได้อย่างคุ้นเคย และหาซื้อได้ทั่วไป	• มีการสูญเสียพลังงานสูงประมาณ 20% (6-10W) • เกิดความร้อนสู่สภาพแวดล้อมสูง มีเสียงฮัม • มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ ($PF = 0.27-0.52$) • ใช้เวลาประมาณ 2-3 วินาที จึงให้แสงสว่างและมีการกระเพื่อม • มีการกระพริบเมื่อหลอดไฟฟ้า บัลลาสต์ หรือสตาร์ทเตอร์เสื่อม ซึ่งนอกจากเปลืองไฟแล้ว ยังอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้

ตารางที่ 3-18 ข้อดี-ข้อเสีย ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ข้อดี	ข้อเสีย
• ลดสูญเสียพลังงานประมาณ 20 % • ลดความร้อนสู่สภาพแวดล้อม และลดเสียงคราง • มีตัวประกอบกำลังสูง (โดยทั่วไป $PF > 0.96$) • ให้แสงสว่างทันที และไม่มีการกระเพื่อม • มีวงจรควบคุมตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อผิดปกติ • ความเสื่อมของหลอดไฟลดลง อายุใช้งานนานขึ้น • ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้ และหรี่แสงได้ • สามารถใช้กับหลอดไฟฟ้าได้ 3-4 หลอด • น้ำหนักเบา และไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ภายนอก	• ราคาสูง และอายุใช้งานสั้น • มีข้อจำกัดในการใช้งานในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูง • มีฝุ่นละออง น้ำ ไอน้ำ หรือแรงดันไม่คงที่ • มีข้อที่ต้องระมัดระวังในการเลือกซื้อ และการเลือกใช้ให้เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน

3.6.2 โคมไฟส่องสว่าง (Luminaries)

โคมไฟส่องสว่างเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่บังคับทิศทางของแสงจากหลอดไฟ ให้กระจายไปในทิศทางต่าง ๆ โคมไฟแต่ละชนิดจึงเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้โคมไฟจึงต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และความต้องการในเรื่องความสวยงามไปพร้อม ๆ กันด้วย ลักษณะของโคมไฟที่มีใช้แพร่หลายในโรงงานและอาคารมีลักษณะดังต่อไปนี้

การแบ่งดวงโคมประเภทต่าง ๆ ดวงโคมที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้จะมีอยู่หลายประเภท หลายขนาด และมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งานของดวงโคมแต่ละประเภท แต่ละสถานที่ ดวงโคมสามารถแยกประเภทได้ตามลักษณะการพิจารณา ดังนี้

- พิจารณาตามลักษณะประเภท และการติดตั้งดวงโคม
- พิจารณาตามลักษณะของการนำไปใช้งานของดวงโคม
- พิจารณาตามลักษณะของหลอดไฟที่จะใช้กับดวงโคม
- พิจารณาตามลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคม

3.6.2.1 พิจารณาตามลักษณะประเภทและการติดตั้งดวงโคม เมื่อมีการติดตั้งดวงโคมผู้ออกแบบจะพิจารณาถึงลักษณะของสถานที่ที่จะติดตั้งดวงโคมว่าควรจะใช้ดวงโคมประเภทใด ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของดวงโคมที่จะติดตั้งกับสถานที่ต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.6.2.1.1 ดวงโคมสำหรับติดตั้งแบบห้อย หรือแขวนจากเพดานหรือคานลงมา มีลักษณะดังรูปที่ 3-20 (ก) และ (ข) ส่วนใหญ่แล้วดวงโคมประเภทนี้จะใช้สำหรับบริเวณที่มีความสูงจากพื้นงานถึงเพดานสูงกว่าปกติ หรือเพื่อความสวยงาม และให้ได้แสงสว่างพอเพียง



(ก) ลักษณะดวงโคมของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบห้อยหรือแขวน



(ข) ลักษณะดวงโคมของหลอดอินแคนเดสเซนต์แบบห้อยหรือแขวน

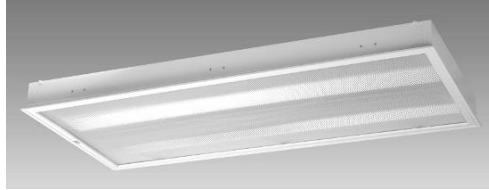
รูปที่ 3-20 ลักษณะของดวงโคมสำหรับติดตั้งแบบห้อยหรือแขวน

3.6.2.1.2 ดวงโคมสำหรับยึดติดกับเพดาน คือ ดวงโคมที่ติดตั้งให้ตัวดวงโคมยึดติดกับฝ้าหรือเพดานมีลักษณะดังรูปที่ 3-21 ส่วนใหญ่แล้วจะใช้สำหรับบริเวณที่มีความสูงจากพื้นงานถึงเพดานไม่สูงนัก มักจะใช้ติดตั้งในสำหรับสำนักงานหรือตามบ้านเรือน



รูปที่ 3-21 ลักษณะของดวงโคมสำหรับยึดติดกับฝ้าหรือเพดาน

3.6.2.1.3 ดวงโคมสำหรับยึดติดเข้าไปในเพดานหรือฝ้า คือ ดวงโคมที่ติดตั้งแล้วจะต้องยึดติดลึกเข้าไปในส่วนของเพดาน อาจจะมีส่วนที่เป็นฝาครอบพลาสติกปิดหน้าของดวงโคมหรือเป็นตะแกรงอลูมิเนียมปิดอยู่ด้านหน้า โดยอาจจะมีส่วนที่ยื่นจากเพดานหรือไม่ก็ได้ มีลักษณะดังรูปที่ 3-22 ส่วนใหญ่แล้วจะใช้สำหรับบริเวณที่มีความสูงจากพื้นฐานถึงเพดานไม่สูงนัก เหมาะสำหรับจะติดตั้งในสำนักงาน ตามห้างสรรพสินค้า หรือห้องอาหาร เป็นต้น



รูปที่ 3-22 ลักษณะดวงโคมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดติดยึดเข้าไปในเพดานหรือฝ้า

3.6.2.2 พิจารณาตามลักษณะของการนำไปใช้งาน ชนิดของโคมไฟออกตามลักษณะการนำไปใช้งาน ดังรูปที่ 3-23 เช่น โคมไฟสำหรับงานอุตสาหกรรม โคมไฟสำหรับบ้าน โคมไฟประดับ โคมไฟถนน นอกจากนี้ยังมีโคมไฟที่ออกแบบสำหรับงานพิเศษเฉพาะอย่าง เช่น โคมกันระเบิด ที่ใช้ในที่อาจติดไฟได้ง่าย โคมกันน้ำกันฝุ่น เป็นต้น



รูปที่ 3-23 ลักษณะของดวงโคมตามลักษณะการนำไปใช้งานสำหรับไฟถนนบริเวณโรงงานที่มีสารเคมี

3.6.2.3 พิจารณาตามลักษณะของหลอดไฟ หลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะมีรูปร่างตลอดจนคุณลักษณะเฉพาะตัวเช่นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นโคมไฟต้องถูกออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของหลอด และความปลอดภัยเมื่อนำมาใช้ใช้งาน หากแบ่งโคมไฟตามประเภทของหลอดอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ โคมไฟที่ใช้กับหลอดอินแคนเดสเซนต์ โคมไฟที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ และโคมไฟที่ใช้กับหลอด HID ดังรูปที่ 3-24

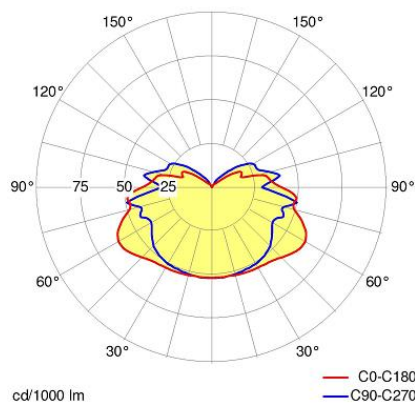


โคมไฟสำหรับหลอดอินแคนเดสเซนต์ โคมไฟสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โคมไฟสำหรับหลอดประเภท HID

รูปที่ 3-24 ลักษณะของดวงโคมที่พิจารณาตามลักษณะของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ

3.6.2.4 พิจารณาตามลักษณะการกระจายแสงสว่างของดวงโคม

3.6.2.4.1 การกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคม ดวงโคมแต่ละประเภท ที่ถูกสร้างขึ้นมาจะต้องมีการทดสอบหาค่าการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคม หรือหลอดไฟ (Candle Power Distribution) ซึ่งหมายถึงกราฟแสดงการกระจายแสงสว่างในหน่วยของกำลังเทียน โดยปกติแล้วหน้าที่โดยตรงของดวงโคมจะเป็นตัวควบคุมการกระจายแสงสว่างให้ไปตกลงบนพื้นที่ที่เราต้องการส่องสว่าง และดวงโคมแต่ละแบบแต่ละชนิดจะมีลักษณะการกระจายแสงสว่างไม่เหมือนกันซึ่งสามารถที่จะหารูปร่างลักษณะการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมแต่ละดวงโคมนั้น ณ มุมต่าง ๆ รอบดวงโคมโดยให้อยู่ในแนวรัศมีเดียวกัน แล้วนำมาบันทึกลงในกระดาษกราฟในระบบพิกัดเชิงขั้วระยะเดียวกัน (Polar Coordinate) อาจจะได้เส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคม ออกมาดังรูป 3-25



รูปที่ 3-25 กราฟเส้นโค้งการกระจายความเข้มการส่องสว่างของดวงโคม

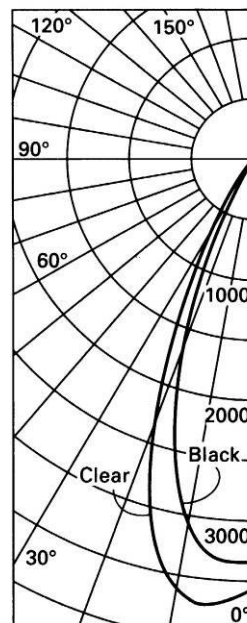
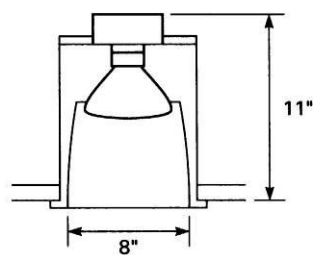
โดยปกติแล้วเส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมนี้จะมีลักษณะ ที่แตกต่างกันออกไปอีกหลายแบบ แล้วแต่ชนิดของดวงโคมที่เรานำมาทดสอบหรือแล้วแต่ชนิดของหลอดไฟที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกไป

ประโยชน์จากเส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมนี้คือ ทำให้ทราบถึงลักษณะการกระจายแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมแบบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ดวงโคมได้เหมาะสมกับประเภทของงาน และค่าที่อ่านได้จากเส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมนี้เป็นค่าเฉพาะจุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยทั่วพื้นที่บริเวณที่ต้องการคำนวณ บางครั้งดวงโคมสองชุดอาจจะมีค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างรวมเท่ากัน แต่ก็ไม่ใช่เป็นที่ลักษณะของการกระจายแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมจะต้องเหมือนกัน หรือบางครั้งโรงงานผู้ผลิตดวงโคมอาจจะจัดทำตารางแสดงค่าของการกระจายแสงสว่างที่มุมต่าง ๆ มาให้ ดังรูปที่ 3-26 ทำให้สามารถคำนวณหรือบอกได้ว่าดวงโคมที่เห็นอยู่นั้นเป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างแบบใด

DESCRIPTION:		
Recessed incandescent down-light with a black low-brightness cone		
Report No. 10700		
Angle	Candlepower	
	Black*	Clear+
0	3330	3700
5	3328	3800
10	3050	3660
15	2490	3070
20	1580	2150
25	720	980
30	230	620
35	60	100
40	15	70
45	0	0
50	0	0
55		
60		
65		
70		
75		
80		
85		
90		



*Black—150PAR38/FL with black cone.
+Clear—150PAR38/FL with clear cone.

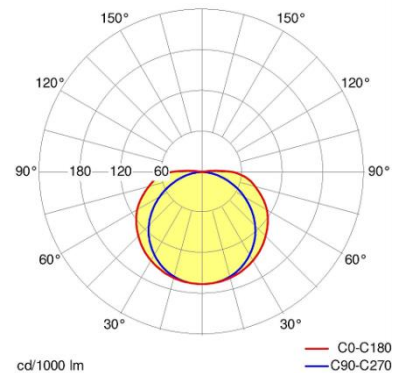
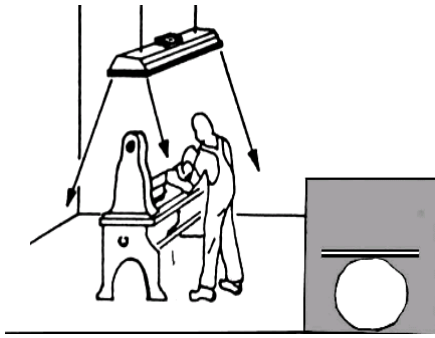


รูปที่ 3-26 ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมดาวน์ไลน์

3.6.2.4.2 ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมประเภทต่าง ๆ ดวงโคมที่สร้าง

ขึ้นมามีลักษณะของการกระจายแสงสว่างต่าง ๆ กันออกไป ขึ้นอยู่กับความต้องการของงานประเภทนั้น ๆ เมื่อมีการกระจายแสงสว่างออกเป็นหลาย ๆ ลักษณะ ก็จำเป็นต้องมีการจัดหมวดหมู่หรือจำแนกประเภทของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมนั้นออกไป โดยใช้หลักการของการกระจายแสงสว่างในแนวดิ่งของดวงโคม โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณพลักซ์การส่องสว่างที่พุ่งออกมาจากดวงโคมที่ลงสู่พื้นต่อปริมาณของแสงสว่างที่กระจายออกจากดวงโคมขึ้นสู่เพดาน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของดวงโคมตามลักษณะของการกระจายแสงสว่างได้ 6 ชนิด คือ

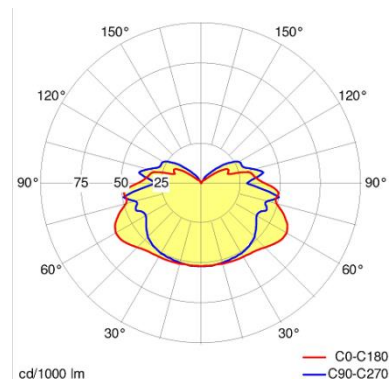
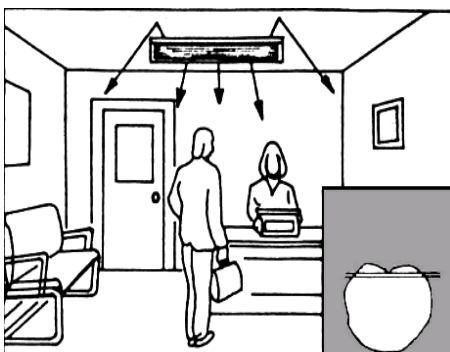
1) ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างลงด้านล่าง (Direct Luminaire) ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ประมาณ 90-100 % ของแสงสว่างทั้งหมดลงสู่พื้น และส่วนที่เหลือประมาณ 0-10 % จะกระจายแสงสว่างขึ้นสู่เพดาน ดังรูปที่ 3-27



รูปที่ 3-27 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างลงด้านล่าง (Direct Luminaire)

ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดีอยู่ที่ว่า เราสามารถที่จะควบคุมทิศทางของการกระจายแสงสว่างให้ไปตกลงพื้นงานที่ต้องการได้ง่าย แต่มีข้อควรระวังเวลาใช้ดวงโคมประเภทนี้คือ จะต้องจัดระยะห่างระหว่างดวงโคมให้เหมาะสม มิฉะนั้นอาจจะทำให้เกิดเงาขึ้นได้ระหว่างจุดกึ่งกลางของดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้งและอีกประการหนึ่ง ก็คือ ความแตกต่างระหว่างความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนออกจากตัวดวงโคมกับผนังเพดานจะมีมาก จะต้องทำการแก้ไขโดยอาจจะใช้วิธีทาสีเข้าช่วย หรือติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการสะท้อนแสงสว่างสูงเข้าช่วย

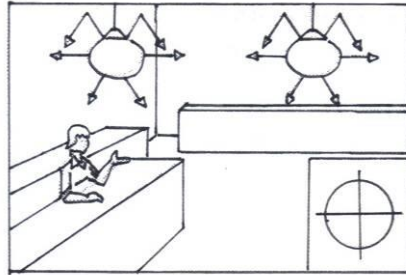
2) ดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงสว่างลงด้านล่าง (Semi-direct Luminaire) ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ประมาณ 60-90 % ของแสงสว่างทั้งหมดลงสู่พื้น และที่เหลือ 10-40 % จะกระจายแสงสว่างขึ้นไปบนเพดาน ดังรูปที่ 3-28 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดีอยู่ที่มันสามารถลดความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนระหว่างดวงโคมและเพดานได้ดีกว่าแบบแรก และมีข้อควรระวังคือ เมื่อติดตั้งดวงโคมประเภทนี้แล้วจะต้องจัดระยะห่างระหว่างดวงโคมให้เหมาะสม เพราะอาจจะทำให้เกิดเงาขึ้นได้ระหว่างจุดกึ่งกลางของดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้ง



รูปที่ 3-28 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงสว่างลงด้านล่าง (Semi - direct Luminaire)

3) ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างรอบด้าน (General Diffuse Luminaire)

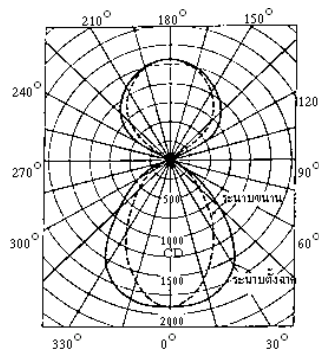
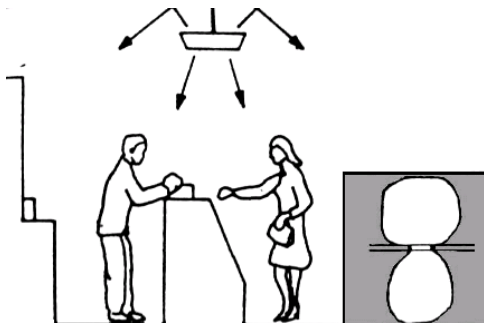
ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างไฟฟ้ารอบดวงโคมทุกทิศทาง คือ มีการกระจายแสงสว่างลงสู่พื้น กระจายแสงสว่างขึ้นสู่เพดาน และกระจายแสงสว่างตามแนวระดับของดวงโคมพอ ๆ กัน ดังรูปที่ 3-29 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดี คือ ค่าความจ้าของแสงสว่างจะสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องและดูสบายกว่าสองแบบแรก แต่มีข้อเสีย คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์จะมีค่าต่ำกว่าสองแบบแรก เพราะการควบคุมแสงสว่างให้ไปตกในบริเวณที่ต้องการได้ยากกว่า



รูปที่ 3-29 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างรอบด้าน (General Diffuse Luminaire)

4) ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบนและลงด้านล่าง (Direct – Indirect Luminaire)

ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างขึ้นสู่เพดาน และกระจายแสงสว่างลงสู่พื้นเท่ากัน ไม่กระจายแสงสว่างสู่แนวระดับ ดังรูปที่ 3-30 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดีคือ ค่าความจ้าของแสงสว่างจะสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องและดูสบายตาดีกว่าสองแบบแรก แต่มีข้อเสีย คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์มีค่าต่ำกว่าสองแบบแรก และการควบคุมแสงสว่างให้ไปตกในบริเวณที่ต้องการทำได้ยากกว่า

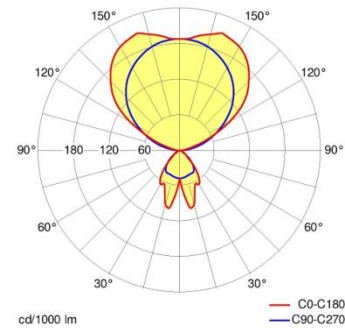
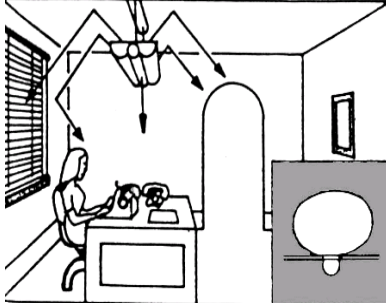


รูปที่ 3-30 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน และลงด้านล่าง (Direct – Indirect Luminaire)

5) ดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Semi – Indirect Luminaire)

ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ประมาณ 60-90 % ของแสงสว่างทั้งหมดขึ้นสู่เพดาน และที่เหลือ 10-40 % กระจายแสงสว่างลงสู่พื้น ดังรูปที่ 3-31 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดีคือ สามารถลดการแยงตาของแสงสว่างได้ดี เหมาะที่จะติดตั้งในบริเวณที่ไม่ต้องการให้มีการแยงตาของแสงสว่าง เนื่องจากดวงโคมประเภทนี้มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ขึ้นสู่เพดานมากกว่าลงบนพื้นงาน จึงดูเหมือนว่าเพดานจะทำหน้าที่คล้ายแหล่งกำเนิดแสงสว่างขนาดใหญ่แหล่งหนึ่ง และจะสะท้อนแสงสว่างลงสู่พื้นงาน เมื่อเป็นเช่นนั้น

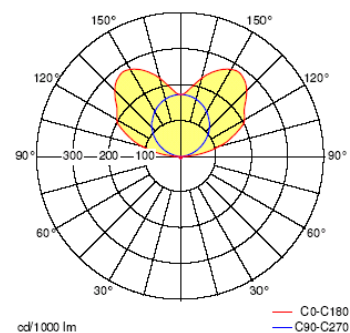
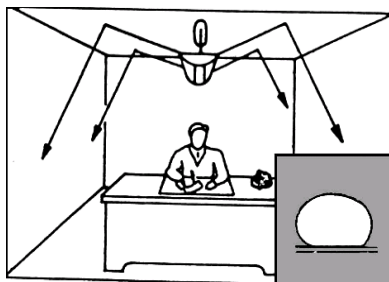
ความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของเพดานจะต้องมีความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างสูงมาก และค่าความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนแสงสว่างออกมาระหว่างเพดานกับดวงโคมจะต้องไม่แตกต่างกันมากนัก จึงจะทำให้ความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนแสงสว่างออกมาพอใกล้เคียงกัน และระยะห่างระหว่างดวงโคมกับเพดานจะต้องติดตั้งดวงโคมห่างจากเพดานพอสมควร



รูปที่ 3-31 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Semi – Indirect Luminaire)

6) ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Indirect Luminaire)

ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ 90-100 % ขึ้นสู่เพดาน และที่เหลือ 0-10 % จะกระจายแสงสว่างลงสู่พื้น ดังรูปที่ 3-32 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดี คือ สามารถลดหรือควบคุมการแยงตาของแสงสว่างได้ดีมาก และความจ้าของแสงสว่างภายในห้องดูจะสม่ำเสมอเกือบจะเท่ากันทั้งห้อง ข้อเสีย คือ การติดตั้งจะต้องติดตั้งดวงโคมให้อยู่ต่ำกว่าเพดานอย่างพอเหมาะจึงจะทำให้แสงสว่างสะท้อนออกจากเพดานลงมาบนพื้นได้สม่ำเสมอ และดวงโคมประเภทนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์น้อยที่สุดในบรรดาประเภทของดวงโคมทั้งหมด



รูปที่ 3-32 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Indirect Luminaire)

3.6.2.4.3 ประสิทธิภาพในการกระจายแสงของโคมไฟ ในการพิจารณาประสิทธิภาพการกระจายแสงของโคม นั้น สามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (Coefficient of Utilization: CU) ตามแนวทางของ Illumination Engineering Society, IES) หรือ พิจารณาจากค่าตัว

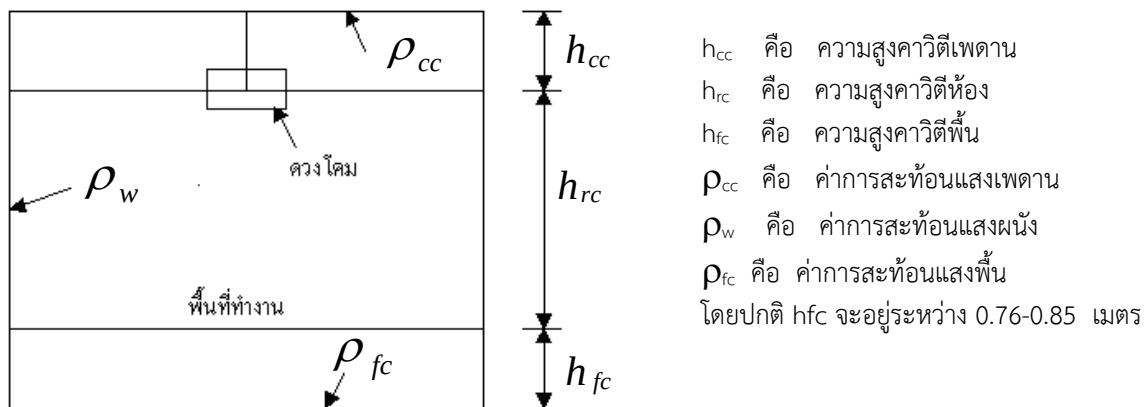
ประกอบการใช้ประโยชน์ (Utilization factor, UF) ตามแนวทางของ CIE ซึ่งทั้งสองค่านี้มีความหมายเหมือนกันแสดงอัตราส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างตกบนพื้นทำงานต่อฟลักซ์แสงสว่างทั้งหมดที่ออกจากโคม

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสงสว่างของดวงโคม สัดส่วนของห้อง ความสูงของห้อง การสะท้อนแสงสว่างของเพดาน การสะท้อนแสงสว่างของผนัง และการสะท้อนแสงสว่างของพื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง โดยทั่วไปแล้วค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นั้น โรงงานผู้ผลิตดวงโคมจะเป็นผู้จัดทำตารางค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์กำกับมาให้ และสามารถขอรายละเอียดจากบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายได้

1) การหาสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (CU) ด้วยวิธีลูเมนโซนัลคาวิตี (Zonal Cavity) การหาสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมด้วยวิธีลูเมนโซนัลคาวิตี เป็นการคำนวณแสงสว่างของสมาคมวิศวกรแสงสว่างสหรัฐอเมริกา (Illumination Engineering Society) หรือ IES เป็นการหาอัตราส่วนคาวิตี รูปห้องที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นห้องสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถหาได้จากรูปที่ 3-33

อัตราส่วนคาวิตีห้อง (Room Cavity Ratio) หรือ RCR สามารถคำนวณได้จาก

$$RCR = \frac{5 \times h_{rc} (W + L)}{W \times L} \quad (3.3)$$



รูปที่ 3-33 คำศัพท์เฉพาะทางแสงวิธีโซนัลคาวิตี

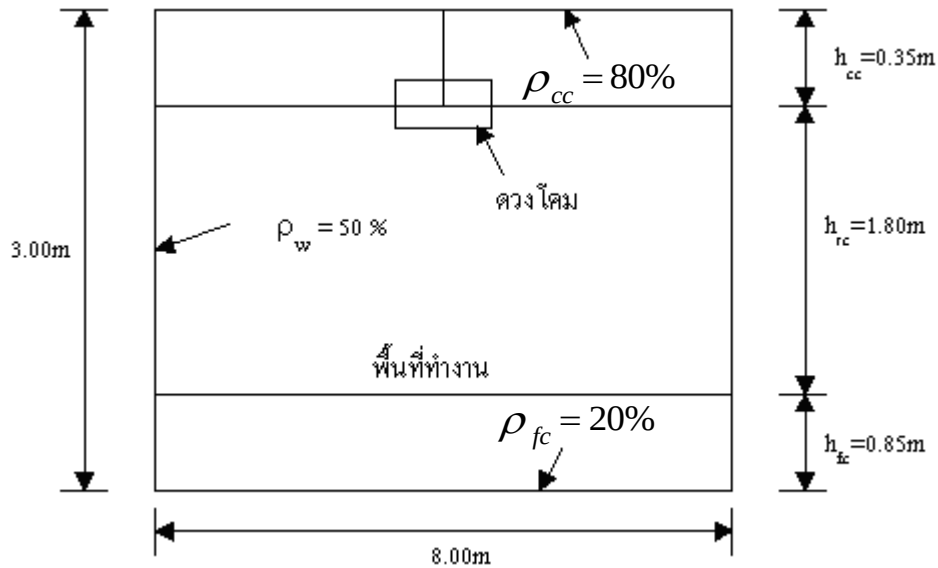
ตัวอย่างที่ 1 ห้องขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3 เมตร พื้นทำงานสูงจากพื้น 0.85 เมตร ตามรูปที่ 3-34 โคมไฟแขวนจากเพดานลงมา 0.35 เมตร ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน (ρ_{cc}) 80% การสะท้อนแสงผนัง (ρ_w) 50% ค่าการสะท้อนแสงพื้น (ρ_{fc}) 20% จงคำนวณหาค่า RCR

วิธีทำ จากสมการที่ 3.3

$$RCR = \frac{5 \times h_{rc} (W + L)}{W \times L}$$

$$RCR = \frac{5 \times 1.8(8 + 10)}{8 \times 10} = 2$$

ตอบ

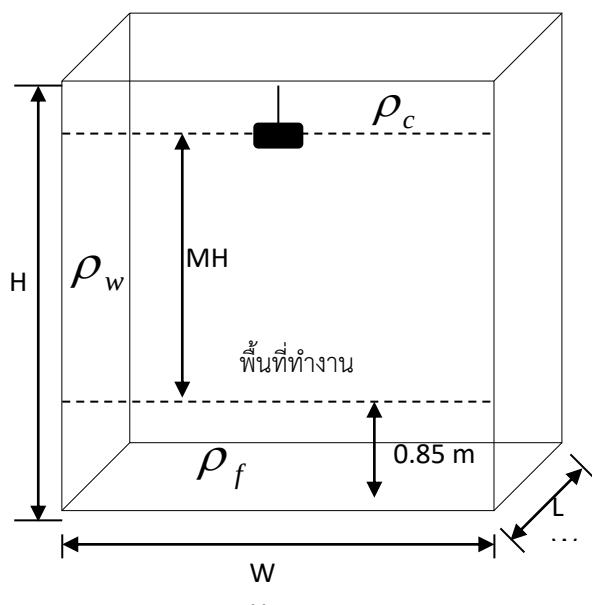


รูปที่ 3-34 การหาค่า RCR และค่า CU

ตัวอย่างที่ 2 ห้องตามตัวอย่างที่ 1 เมื่อค่า RCR = 2 ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน (ρ_{cc}) 80% การสะท้อนแสงผนัง (ρ_w) 50% ค่าการสะท้อนแสงพื้น (ρ_{fc}) 20% โดยเลือกดวงโคมที่มีการแสดงค่า CU ตามตารางจะสามารถอ่านค่า CU ได้เท่ากับ 0.66

IESNA Coefficient of Utilisation Table - Zonal Cavity Method.																		
Spacing Criterion C O° is 1.77 : 1 C 90° is 1.12 : 1																		
pfc = 20%.....																		
pcc %	80	80	80	80	70	70	70	70	50	50	50	30	30	30	10	10	10	0
pw %	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCR																		
0	84	84	84	84	82	82	82	82	79	79	79	75	75	75	72	72	72	71
1	78	75	72	69	76	73	70	68	70	68	66	67	66	64	65	63	62	61
2	71	66	61	57	69	64	60	57	62	58	55	60	57	54	57	55	53	52
3	65	58	53	48	63	57	52	48	55	51	47	53	49	46	51	48	45	44
4	60	52	46	41	58	51	45	41	49	44	40	47	43	40	45	42	39	38
5	55	46	40	36	53	45	40	35	44	39	35	43	38	35	41	37	34	33
6	51	42	35	31	49	41	35	31	40	35	31	39	34	30	37	33	30	29
7	47	38	32	27	46	37	31	27	36	31	27	35	30	27	34	30	27	25
8	44	34	28	24	43	34	28	24	33	28	24	32	27	24	31	27	24	23
9	41	31	26	22	40	31	26	22	30	25	22	29	25	22	29	25	21	20
10	38	29	23	20	37	29	23	20	28	23	20	27	23	20	27	22	19	18

2) การหาสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (CU) ด้วยวิธีลูเมน ดัชนีห้อง (room index) ดังรูปที่ 3-35



- H คือ ความสูงห้อง
- W คือ ความกว้างห้อง
- L คือ ความยาวห้อง
- MH คือ ความสูงของดวงโคม เหนือพื้นที่ทำงาน
- ρ_c คือ ค่าการสะท้อนแสงเพดาน
- ρ_w คือ ค่าการสะท้อนแสงผนัง
- ρ_f คือ ค่าการสะท้อนแสงพื้น

รูปที่ 3-35 คำศัพท์เฉพาะของการหาดัชนีห้อง

ดังนั้นการพิจารณาหาค่าดัชนีของห้อง (Room index: K) สามารถคำนวณได้สมการดังนี้เพื่อหาค่า CU ดังสมการที่ 3-4

$$K = \frac{W \times L}{MH(W + L)} \quad (3-4)$$

จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 จะเห็นว่า RCR และ K มีความสัมพันธ์กัน แสดงได้เป็น

$$(RCR)(K) = 5 \quad (3-5)$$

สำหรับรูปที่ 3-36 เป็นตัวอย่างข้อมูลดวงโคม เมื่อกำหนดหาค่าดัชนีห้องก็สามารถนำไปหาค่า CU จากตาราง ซึ่งจะต้องทราบค่าการสะท้อนแสงเพดาน (ρ_c) การสะท้อนแสงผนัง (ρ_w) และการสะท้อนแสงพื้น (ρ_f) ซึ่งจากตัวอย่างในตารางจะเขียนเปอร์เซ็นต์การสะท้อนเป็นสามค่าเช่น 851 จะหมายถึง การสะท้อนแสงเพดาน (ρ_c) 80 % การสะท้อนแสงผนัง (ρ_w) 50 % ค่าการสะท้อนแสงพื้น (ρ_f) 10 %

TBS 300 236 M1
C.I.E. FLUX CODE : 60 91 98 100 70
DIMENSIONS LUMINOUS AREA : L = 1.175 m W = 0.260 m

γ	INTENSITY PER 1000 LUMEN		LUMINANCE PER 1000 LUMEN		ZONAL FLUX IN %
	0-180	90-270	0-180	90-270	
0	254	254	830	830	0
5	257	252	843	826	6
10	270	246	896	816	24
15	295	236	1000	880	55
20	326	225	1130	782	90
25	349	210	1260	757	157
30	352	194	1330	734	228
35	327	177	1308	706	309
40	284	158	1213	676	394
45	204	138	942	637	475
50	116	118	592	601	546
55	42	96	237	546	600
60	14	75	90	491	637
65	7	54	57	414	660
70	5	36	47	341	674
75	3	24	35	298	685
80	1	15	26	275	692
85	1	6	26	229	696

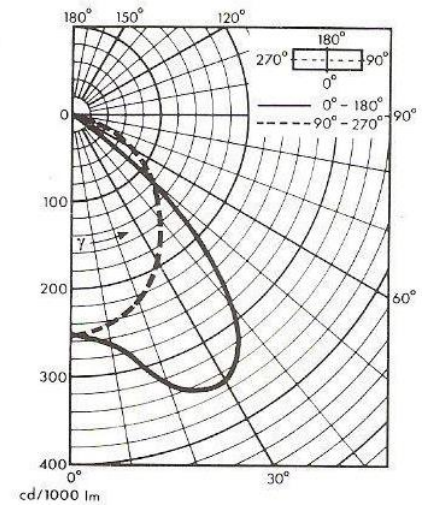
LIGHT OUTPUT RATIO	
SERVICE UPWARD	= 0.00
SERVICE DOWNWARD	= 0.70
TOTAL	= 0.70
OPTICAL TOTAL	= 0.72

TABLES OF REDUCED UTILIZATION FACTORS FOR THE CALCULATION OF AVERAGE ILLUMINANCES
LUMINAIRE ARRANGEMENTS : C.I.E. REFERENCE ARRANGEMENT

(REDUCED) WORKING PLANE UTILIZATION FACTOR

Room Index	751	731	711	551	531	511	331	311	753	733	713	553	533	513	333	313	871	851	831	873	853	833	000
0.60	.36	.32	.29	.36	.31	.28	.31	.28	.38	.33	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.44	.37	.32	.48	.39	.33	.27
0.80	.43	.39	.35	.42	.38	.35	.38	.35	.46	.40	.36	.44	.39	.36	.39	.35	.51	.44	.39	.56	.47	.41	.34
1.00	.49	.44	.41	.48	.44	.41	.43	.41	.52	.46	.42	.50	.45	.42	.44	.41	.55	.49	.45	.62	.53	.47	.39
1.25	.53	.49	.46	.52	.49	.46	.48	.46	.58	.52	.48	.55	.51	.47	.50	.47	.60	.54	.50	.67	.59	.53	.44
1.50	.57	.53	.50	.56	.52	.50	.52	.49	.62	.57	.53	.59	.55	.52	.53	.51	.62	.57	.53	.71	.63	.58	.48
2.00	.61	.59	.56	.60	.58	.55	.57	.55	.68	.63	.60	.65	.61	.58	.59	.56	.66	.62	.59	.76	.70	.65	.53
2.50	.64	.62	.60	.63	.61	.59	.60	.58	.72	.66	.64	.68	.65	.62	.62	.60	.68	.65	.62	.79	.74	.69	.57
3.00	.66	.64	.62	.65	.63	.61	.62	.61	.74	.71	.68	.70	.68	.65	.65	.63	.70	.67	.65	.81	.76	.72	.59
4.00	.68	.67	.65	.67	.65	.64	.64	.63	.77	.74	.72	.73	.71	.69	.67	.66	.71	.69	.67	.84	.80	.76	.61
5.00	.69	.68	.67	.68	.67	.66	.66	.65	.79	.77	.74	.75	.73	.71	.69	.68	.72	.70	.69	.85	.82	.79	.63

Luminous intensity diagram

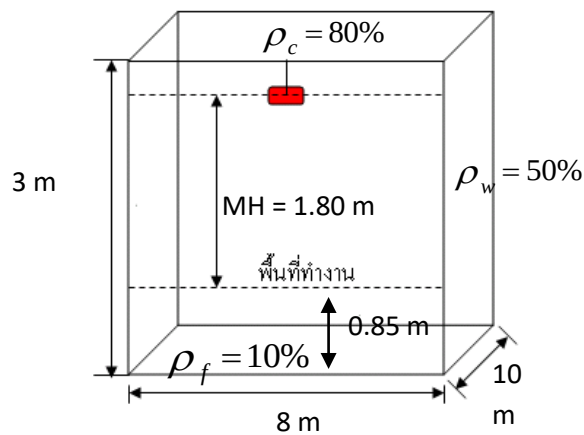


รูปที่ 3-36 ตัวอย่างตารางแสดงค่า Utilization factor ของโคมประเภทหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 3 ห้องขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3 เมตร พื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.85 เมตร ตามรูปที่ 3-37 ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน (ρ_c) 80 % การสะท้อนแสงผนัง (ρ_w) 50 % ค่าการสะท้อนแสงพื้น (ρ_f) 10 % จงคำนวณหาค่า K

วิธีทำ

$$K = \frac{W \times L}{MH(W + L)} = \frac{8 \times 10}{1.8(8 + 10)} = 2.47 \approx 2.5$$



รูปที่ 3-37 ค่าศัพท์เฉพาะของการหาดัชนีห้อง

ตัวอย่างที่ 4 ห้องตามตัวอย่างที่ 3 เมื่อค่า K = 2.5 ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน (ρ_c) 80 % การสะท้อนแสงผนัง (ρ_w) 50 % ค่าการสะท้อนแสงพื้น (ρ_f) 10 % โดยเลือกดวงโคมที่มีข้อมูลแสดงค่า Utilization factor ตามตาราง จงหาค่า CU

วิธีทำ

จากตาราง เมื่อ $K = 2.5$ ρ_{cc} 80 % ρ_w 50 % ρ_{fc} 10 % (851) UF = 0.65

(REDUCED) WORKING PLANE UTILIZATION FACTOR																								
room index	reflectances :																							
	751	731	711	551	531	511	331	311	753	733	713	553	533	513	333	313	871	851	873	853	833	000		
0.60	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.32	.29	.39	.34	.30	.38	.33	.30	.33	.30	.45	.37	.33	.48	.39	.34	.28	
0.80	.44	.40	.36	.43	.39	.36	.39	.36	.46	.41	.37	.45	.40	.37	.40	.37	.51	.44	.40	.56	.47	.41	.35	
1.00	.49	.45	.42	.48	.45	.42	.44	.42	.53	.47	.43	.51	.46	.43	.45	.42	.56	.50	.45	.62	.53	.48	.40	
1.25	.54	.50	.47	.53	.50	.47	.49	.47	.58	.53	.49	.56	.52	.48	.50	.48	.59	.54	.50	.67	.59	.54	.45	
1.50	.57	.54	.51	.56	.53	.51	.52	.50	.62	.57	.54	.60	.56	.52	.54	.51	.62	.58	.54	.70	.63	.58	.49	
2.00	.62	.59	.57	.60	.58	.56	.57	.55	.68	.64	.60	.65	.62	.59	.59	.57	.66	.62	.59	.75	.70	.65	.54	
2.50	.64	.62	.60	.63	.61	.59	.60	.59	.71	.68	.65	.68	.65	.63	.63	.61	.68	.65	.62	.78	.73	.69	.57	
3.00	.66	.64	.62	.65	.63	.61	.62	.61	.74	.71	.68	.70	.68	.65	.63	.63	.69	.67	.64	.80	.76	.72	.59	
4.00	.68	.66	.65	.66	.65	.64	.64	.63	.77	.74	.72	.73	.70	.69	.67	.66	.70	.68	.67	.83	.79	.76	.61	
5.00	.69	.67	.66	.67	.66	.65	.65	.64	.78	.76	.74	.74	.72	.70	.69	.67	.71	.70	.68	.84	.81	.78	.63	

3.7 มาตรฐานระดับความส่องสว่าง

ค่าระดับความส่องสว่างเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน หากผู้ออกแบบใช้ค่าความส่องสว่างสูงเกินความจำเป็นจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ แต่ในทางกลับกันหากผู้ออกแบบใช้ค่าความส่องสว่างต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จะทำให้สภาพการมองเห็นลดลงกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการทำงานอีกด้วย ดังนั้นค่าความส่องสว่างจึงควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้จัดทำข้อเสนอแนะระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ และกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคารไว้ โดยได้แบ่งประเภทของพื้นที่ และกิจกรรมไว้ทั้งหมด 31 ประเภทดังนี้ (มาตรฐานระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ต่าง ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก. ท้ายบท)

- 1) พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป
- 2) อาคารสำนักงาน
- 3) ร้านค้าปลีก
- 4) ห้องอาหาร และโรงแรม
- 5) ห้องสมุด
- 6) อาคารสถาบันการศึกษา โรงเรียน
- 7) พื้นที่จอดรถภายในอาคารทั่วไป
- 8) โรงพยาบาล
- 9) ร้านแต่งผม
- 10) พื้นที่สำหรับการแสดงและการบันเทิง
- 11) อุตสาหกรรมอาหาร
- 12) อุตสาหกรรมทำขนม เบเกอรี่
- 13) อุตสาหกรรมด้านการเกษตร ปศุสัตว์
- 14) อุตสาหกรรมซีเมนต์ คอนกรีต และอิฐ
- 15) อุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว
- 16) อุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยาง
- 17) อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
- 18) อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ
- 19) อุตสาหกรรมเพชรพลอย
- 20) อุตสาหกรรมซัก อบ รีด
- 21) อุตสาหกรรมเครื่องหนัง
- 22) อุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ

- 23) อุตสาหกรรมกระดาษ
- 24) อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า
- 25) อุตสาหกรรมการพิมพ์
- 26) อุตสาหกรรมหลอมเหล็ก
- 27) อุตสาหกรรมทอผ้า
- 28) อุตสาหกรรมรถยนต์
- 29) อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และไม้
- 30) สนาบบิน
- 31) วัด โบสถ์

3.8 วิธีการวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ทำงาน

ในการวัดค่าความส่องสว่าง (E) ของพื้นที่ทำงานเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เมื่อเราต้องการประหยัดพลังงาน เพราะเนื่องจากบางครั้งเราอาจจะเลยว่าการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประหยัดพลังงาน เช่น หลอดไฟ บัลลาสต์ โคมไฟ ซึ่งอาจสามารถลดการใช้พลังงานได้จริง แต่ระดับความส่องสว่างพื้นที่ทำงานอาจลดลงไปด้วย นั่นหมายถึงอาจมีผลต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานหรือใช้งานพื้นที่นั้น ๆ

การวัดค่าความส่องสว่างพื้นที่ทำงาน ควรกระทำทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงระบบแสงสว่างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งควรวัด และตรวจสอบค่าความส่องสว่างให้เป็นตามมาตรฐานในแต่ละพื้นที่ดังภาคผนวก ก. โดยกำหนดเป็นขั้นตอน ดังนี้

ก) **เลือกเครื่องมือวัด** ควรเลือกเครื่องมือวัดที่มีย่านวัดที่เหมาะสม เช่น หากเราต้องการตรวจสอบความส่องสว่างในอาคาร ก็ควรใช้ลักซ์มิเตอร์ (Lux meter) ที่มีย่านสูงสุดมากกว่า 2000 Lux ขึ้นไป แต่ถ้าต้องการตรวจสอบระดับความส่องสว่างพื้นที่จากแสงธรรมชาติในอาคาร ควรเลือกเครื่องมือวัดที่มีย่านสูงสุด 20,000 Lux ขึ้นไป และถ้าต้องการตรวจสอบระดับความส่องสว่างพื้นที่จากแสงธรรมชาติเวลากลางวันนอกอาคารควรเลือกเครื่องมือวัดที่มีย่านสูงสุด 100,000 Lux ขึ้นไป และควรเลือกเครื่องมือมาตรฐานรับรองด้วย

ข) **กำหนดพื้นที่ห้องที่ต้องการวัด** เช่น ตีตารางกำหนดพื้นที่ในห้องหรือบริเวณที่ต้องการวัดความส่องสว่างทุก ๆ 1 ตารางเมตร หรือถ้าพื้นที่ใหญ่มาก อาจกำหนด เป็นทุก ๆ 2 หรือ 5 ตารางเมตรก็ได้ ซึ่งถ้ายังกำหนดจุดวัดมากเท่าใด ความละเอียดก็จะสูงขึ้นตามด้วย ควรกำหนดจุดวัดอยู่ตำแหน่งกลางของพื้นที่ด้วย

ค) **ตำแหน่งการตั้งเครื่องมือวัด** เครื่องมือวัดความส่องสว่างเพื่อตรวจสอบค่าความส่องสว่างพื้นที่นั้น จะวัดความส่องสว่างแนวระนาบหรือแนวนอนขนานไปกับพื้น และหงายเซนเซอร์รับแสงขึ้นด้านบน (เนื่องจากต้องการตรวจสอบแสงที่ตกกระทบลงพื้นที่ทำงาน) และตั้งเครื่องมือวัดอยู่ระดับพื้นที่ทำงานในห้องนั้น เช่น ถ้าทำงานบนโต๊ะ (ความสูงโต๊ะมาตรฐาน 0.85 เมตร) ก็ตั้งเครื่องมือวัดระดับโต๊ะทำงาน และควรระวังเรื่องเงาของผู้ทำการวัด เนื่องจากบางครั้งอาจบังเงาแหล่งกำเนิดแสงที่เข้าสู่เซนเซอร์รับแสง ดังนั้นเครื่องมือวัดบางรุ่นจะมีสายต่อแยกเซนเซอร์รับแสงแยกออกจากตัวเครื่องมือวัดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

ง) **จัดทำตารางบันทึกค่าจากการตรวจวัด** ควรจัดทำตารางบันทึกค่า E ทุก ตำแหน่งต่าง ๆ ดังที่ได้กำหนดจุดวัดในพื้นที่ไว้

จ) **คำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Average illuminance, E_{av})** เราสามารถหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย จากการนำค่าความส่องสว่างของจุด P แต่ละจุด (E_p) หารด้วยจำนวนจุดที่สนใจ (n) ดังสมการที่ 3-6 และสำหรับความสม่ำเสมอของแสง (U) หาจากความส่องสว่างต่ำสุดจากจุด P ที่สนใจ (E_{min}) ต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ย

$$E_{av} = \frac{\sum E_p}{n} \quad (3.6)$$

ฉ) **ตรวจสอบค่าความส่องสว่างเฉลี่ย** เมื่อคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเสร็จสิ้นแล้ว ทำการตรวจสอบค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเทียบกับตารางภาคผนวก ก ตามลักษณะพื้นที่ใช้งาน ค่าที่วัดได้ไม่ควรต่ำกว่าค่ามาตรฐานหลังจากมีการปรับปรุงระบบแสงสว่างเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแล้ว

ข) **ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (U)** หาจากความส่องสว่างต่ำสุดจากจุด P ที่สนใจ (E_{min}) ต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{av}) ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (U) ที่เหมาะสมสำหรับการส่องสว่างภายในอาคาร ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.8

3.9 การคำนวณความส่องสว่างแบบลูเมน (Lumen Method)

วิธีนี้เหมาะสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณที่ต้องการความสม่ำเสมอของแสงทั่วทั้งพื้นที่เช่น สำนักงาน สถาบันการศึกษา หรือโรงเรียน เป็นต้น ซึ่งการคำนวณแบบลูเมนนี้จะรวมผลของการสะท้อนแสงของเพดาน กำแพง และพื้นด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

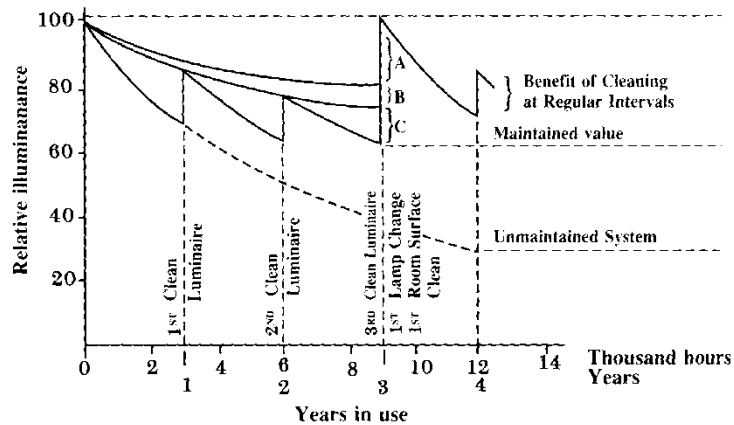
$$E = \frac{N \times \phi_L \times UF \times MF}{A} \quad (3-7)$$

โดยที่

E	คือ	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (lux)
N	คือ	จำนวนโคม
ϕ_L	คือ	ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดต่อโคม (lm)
MF	คือ	ตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance Factor)
UF	คือ	ตัวประกอบการใช้งานของโคม (Utilization Factor)
A	คือ	พื้นที่ (m^2)

ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับการบำรุงรักษาหลอดไฟฟ้า หลอดไฟที่ไม่ได้ทำความสะอาดจะมีฝุ่นละอองมาเกาะ มีผลทำให้แสงที่ออกมาจากโคมมีปริมาณลดน้อยลง นอกจากนี้แล้วปริมาณแสงที่ลดลงขึ้นอยู่กับความเสื่อมของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation: LLD) และเนื่องมาจากความสกปรกของ โคมไฟ (Luminaire Dirt Depreciation: LDD) อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3-38

ความสกปรกของหลอดไฟ และโคมไฟก่อให้เกิดการสูญเสียแสงอย่างมาก ส่วนใหญ่เกิดจากความสกปรกเนื่องจากการสะสมของฝุ่นละอองบนหลอดไฟหรือบริเวณผิวหน้าของโคมไฟ โคมไฟที่มีลักษณะเปิดกว้างและติดตั้งอยู่บนที่สูงจะมีโอกาสเกิดการสะสมของฝุ่นละอองมากกว่าโคมไฟที่ติดตั้งในที่ที่มีการระบายอากาศที่ดี ความสกปรกของห้องมีส่วนทำให้เกิดการสูญเสียทางแสงได้เช่นกัน เนื่องจากฝุ่นละอองที่สะสมอยู่บนเพดาน และผนังห้องจะทำให้ประสิทธิภาพของการสะท้อนแสงลดลง สำหรับความเสื่อมของหลอดไฟมีสาเหตุมาจากการที่ความส่องสว่างที่ได้จากหลอดไฟทั้งหมดจะลดลงตามอายุการใช้งาน ซึ่งอัตราการลดลงขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดไฟ ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของห้องแสดงดังตารางที่ 3-19



รูปที่ 3-38 การสูญเสียทางแสงอันเนื่องมาจากการเสื่อมของหลอดไฟและโคมไฟ

ตารางที่ 3-19 ตัวประกอบการบำรุงรักษา

ประเภทของห้อง	ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา
สะอาด	0.8
ปานกลาง	0.7
สกปรก	0.6

ตัวประกอบการใช้งานของโคม หมายถึงอัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคม และสะท้อน เพดาน กำแพง และพื้น ก่อนจะตกลงมาที่ระนาบใช้งาน ต่อปริมาณแสงที่ออกจากหลอด โดยผู้ผลิตโคมจะเป็น ผู้กำหนดค่าตัวประกอบการใช้งานของโคม

จากสมการที่ 3-7 สามารถหาจำนวนของดวงโคมได้จาก

$$N = \frac{E \times A}{\phi_L \times MF \times UF} \quad (3.8)$$

การที่จะประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จำนวนดวงโคมที่คำนวณได้ควรจะให้มิติน้อยที่สุด โดยที่ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยยังคงได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ ปัจจัยที่สามารถช่วยให้ดวงโคมมีจำนวนที่ลดลง ได้แก่

- 1) ใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง
- 2) ใช้ดวงโคมที่มีประสิทธิภาพสูง
- 3) หมั่นทำความสะอาดตัวหลอดไฟ ดวงโคม เพดาน กำแพง และผนังของห้อง อย่างสม่ำเสมอ

3.10 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

3.10.1 ข้อกำหนดเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวงว่าด้วยการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องกำหนดค่ามาตรฐานการออกแบบ อาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2564 ได้กำหนดเกณฑ์กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างในอาคาร จะต้องมีการออกแบบตามหลัก และวิธีการที่ยอมรับได้ทางด้านวิศวกรรมให้ได้รับระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอโดยที่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารแต่ละประเภท จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด, วัตต์/ตร.ม. (Wm^{-2}) ของพื้นที่ใช้งาน
(ก) สำนักงาน สถานศึกษา	10
(ข) โรงแรม ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	11
(ค) โรงแรม โรงพยาบาล อาคารชุด	12

ค่ามาตรฐานอ้างอิงตาม ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องกำหนดค่ามาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2564

3.10.2 ข้อเสนอแนะของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารตามมาตรฐาน IES

ก) ออกแบบแสงสว่างให้เหมาะกับกิจกรรมการทำงาน (แสงสว่างที่ใช้งาน, แสงสว่างโดยรอบที่ไม่ใช่พื้นที่ทำงาน) โดยการออกแบบให้ระดับแสงสว่างทั่ว ๆ ไปต่ำกว่า ส่วนแสงสว่างที่พื้นที่ทำงานจะสูงกว่า ทั้งนี้จะเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จำเป็นต้องทราบตำแหน่งพื้นที่ทำงาน เพื่อที่จะจัดหาระดับแสงสว่างที่เหมาะสมที่ตำแหน่งของพื้นที่ทำงาน

ข) ออกแบบดวงโคมที่ให้ประสิทธิภาพสูง ดวงโคมและระบบการออกแบบติดตั้ง ควรจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยปราศจากแสงบาดตา

ค) ใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง (ค่าลูเมน/วัตต์สูง) ในบางครั้งการเลือกใช้หลอดไฟฟ้าจะไม่ดูแค่ค่าลูเมนต่อวัตต์สูงเพียงอย่างเดียว แต่อาจจะดูเพิ่มเติมถึงอายุการใช้งาน ราคา และสีแสงที่เปล่งออกมา สีของแสงก็มีความสำคัญเท่ากับปัจจัยอื่น ๆ เนื่องจากสีมีผลโดยตรงต่อจิตใจและพฤติกรรมมนุษย์ย่อมมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานและอารมณ์

ง) ใช้ดวงโคมประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพของดวงโคม จะเป็นการเพิ่มสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นอกจากนี้ยังรวมถึงการทำความสะอาด และความสะอาดในการเปลี่ยนหลอดไฟ

จ) ใช้ดวงโคมที่ควบคุมความร้อน เพื่อลดความร้อนที่เกิดจากหลอดไฟ

ฉ) ใช้สีอ่อนกับอาคาร การดูดกลืนแสงสว่างอันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงต่ำจะเป็นการลดประสิทธิภาพแสงสว่าง จึงจำเป็นต้องใช้หลอดไฟเพิ่มขึ้น

ช) ใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพสูง ถ้ามีความประสงค์ที่จะต้องใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ควรเลือกใช้หลอดขนาดวัตต์สูง ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่า และควรใช้คู่กับเครื่องหรี่ไฟ

ซ) ปิดไฟเมื่อไม่ใช้ ปิดไฟเมื่อไม่ใช้จะช่วยประหยัดพลังงานและลดต้นทุน

ณ) ควบคุมแสงแดดที่หน้าต่าง แสงแดดที่เข้าจากหน้าต่างมาอย่างสายตาจะส่งผลต่อความสบายตา และความสามารถในการมองเห็น อาจลดความสามารถในการทำงานลง

ญ) แสงธรรมชาติ ประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติขึ้นอยู่กับการผสมระหว่างแสงธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับออกแบบควบคุมแสงสว่างอย่างเหมาะสม

ฎ) การบำรุงรักษา การบำรุงรักษาดี จะใช้จำนวนดวงโคมน้อยกว่า แต่ให้แสงสว่างเท่าเดิม การบำรุงรักษาจะรวมทั้งการเปลี่ยนหลอดไฟ และการทำความสะอาดดวงโคมตามกำหนด

ฏ) ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งาน และการบำรุงรักษา การออกแบบแสงสว่างที่ดี และประหยัดผู้ออกแบบแสงสว่างควรจะต้องบอกรูปร่างการใช้งานไว้ด้วย พลังงานจะสูญเสียเปล่าถ้าผู้ใช้อาคารไม่รู้จักรักษาบำรุงรักษา

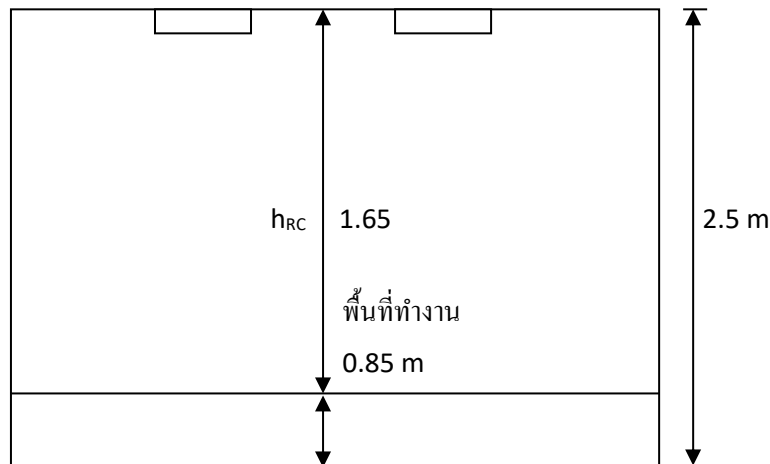
3.11 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1 การเลือกใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงโดยเน้นให้วัดต่อตารางเมตรมีค่าต่ำ

สำนักงานแห่งหนึ่งต้องการความส่องสว่าง 500 lux ขนาดห้อง $10 \times 12 \text{ m}^2$ ดังรูปที่ 3-39

มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 80/50/20% ($\rho_{cc}/\rho_w/\rho_{fc}$) ค่า MF 0.70

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad RCR &= \frac{5h_{RC}(W+L)}{W \times L} \\ RCR &= \frac{5 \times 1.65 \times (10+12)}{10 \times 12} = 1.5 \end{aligned}$$

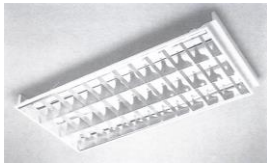


รูปที่ 3-39 ข้อมูลและขนาดห้อง 10x12 ตารางเมตร

ก) ถ้าเลือกใช้ดวงโคมธรรมดา $3 \times 36 \text{ W}$ ดังรูป $RCR = 1.5$ หลอดธรรมดา 36 W ฟลักซ์แสงสว่าง 2600 lm

ตอนที่ 2 บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลโคมธรรมดา แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียมโหนดซ์ ประสิทธิภาพดวงโคม 68.9% เมื่อห้องมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 80/50/20% ($pcc/pw/pfc$) $RCR = 1.5$



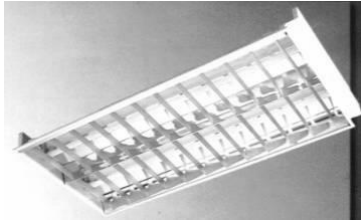
3×36 W

IESNA Coefficient of Utilisation Table - Zonal Cavity Method.												
Spacing Criterion C O° IS 1.37 : 1 C 90° is 1.28 : 1 Pfc = 20%												
pcc %	80	80	80	80	70	70	70	70	50	50	50	30
pw %	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50
RCR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0
0	82	82	82	82	80	80	80	80	77	77	77	74
1	77	74	72	69	75	73	70	68	70	68	66	67
2	71	66	62	59	69	65	61	58	63	60	57	60
3	66	59	55	51	64	58	54	50	56	53	50	55
4	61	54	48	44	59	53	48	44	51	47	43	50
5	56	49	43	39	55	48	43	39	46	42	38	45
6	52	44	39	35	51	44	38	34	42	38	34	41
7	49	40	35	31	48	40	35	31	39	34	31	38
8	46	37	32	28	45	37	31	28	36	31	28	35
9	43	34	29	25	42	34	29	25	33	28	25	32
10	40	32	27	23	39	31	26	23	31	26	23	30

จากตาราง เมื่อค่า $RCR = 1.5$ ดังนั้น ค่า CU อยู่ระหว่าง $\left(\frac{0.74+0.66}{2}\right)$ $CU = 0.70$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{E \times A}{\phi_L \times n \times CU \times MF} \\
 &= \frac{500\text{lux} \times 10\text{m} \times 12\text{m}}{2600\text{lm} \times 3 \times 0.70 \times 0.70} = 15.7 \text{ โคม} \\
 \text{เลือกใช้} &= 16 \text{ โคม} \\
 E &= \frac{N \times \phi_L \times n \times CU \times MF}{A} \\
 &= \frac{16 \text{ โคม} \times 2600\text{lm} \times 3 \times 0.70 \times 0.70}{10\text{m} \times 12\text{m}} = 509 \text{ lux} \\
 W/m^2 &= \frac{E}{\text{lm/W} \times CU \times MF} \\
 &= \frac{509 \text{ lux}}{56 \text{ lm/W} \times 0.70 \times 0.70} = 18.57 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

ข) ถ้าเลือกโคมประสิทธิภาพสูงและหลอดลูเมนสูง ฟลักซ์แสงสว่าง 3450 lm ใช้บัลลาสต์แบบธรรมดาที่มีการสูญเสีย 10 W ต่อหลอด ประสิทธิภาพ = $3450/46 = 75 \text{ lm/W}$ ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลโคม แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียมประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพดวงโคม 80.51% เมื่อห้องมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 80/50/20% ($\rho_{cc} / \rho_w / \rho_{fc}$) $RCR = 1.5$



2 X 36 W

Light Output Ratio
Luminaire: **80.51%**

DLOR (L) : 80.51%
ULDR(L) 0.0%

pcc %	80	80	80	70	70	70	50	50	50	30	30	30	10	10	10	0
pw %	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCR																
0	.959	.959	.959	.936	.936	.936	.895	.895	.895	.857	.857	.857	.822	.822	.822	.805
1	.862	.834	.809	.844	.819	.796	.811	.790	.771	.780	.763	.748	.752	.738	.726	.710
2	.774	.729	.691	.759	.716	.638	.732	.697	.668	.706	.678	.653	.682	.660	.639	.623
3	.694	.639	.594	.682	.631	.589	.659	.615	.579	.638	.601	.570	.618	.587	.560	.545
4	.622	.560	.513	.612	.554	.510	.592	.542	.503	.574	.531	.496	.558	.521	.490	.474
5	.554	.489	.441	.546	.484	.438	.529	.475	.434	.514	.466	.429	.500	.458	.425	.409
6	.497	.431	.383	.490	.427	.381	.476	.420	.378	.463	.413	.375	.451	.406	.372	.356
7	.445	.378	.331	.439	.375	.330	.427	.369	.328	.415	.364	.325	.405	.358	.323	.308
8	.396	.330	.284	.391	.327	.283	.380	.322	.281	.370	.318	.280	.361	.313	.278	.263
9	.352	.286	.242	.347	.284	.241	.338	.280	.241	.329	.276	.238	.321	.273	.237	.223
10	.317	.253	.210	.313	.251	.210	.305	.248	.209	.297	.245	.208	.290	.242	.207	.193

จากตาราง เมื่อค่า $RCR = 1.5$ ดังนั้น ค่า CU อยู่ระหว่าง $\left(\frac{0.834+0.729}{2} \right) CU = 0.82$

$$N = \frac{E \times A}{\phi_L \times n \times CU \times MF}$$

$$= \frac{500\text{lux} \times 10\text{m} \times 12\text{m}}{3450\text{lm} \times 2 \times 0.82 \times 0.70} = 15 \text{ โคม}$$

เลือกใช้ = 16 โคม

$$E = \frac{N \times \phi_L \times n \times CU \times MF}{A}$$

$$= \frac{16 \text{ โคม} \times 3450 \text{ lm} \times 2 \times 0.82 \times 0.70}{10\text{m} \times 12\text{m}} = 528 \text{ lux}$$

$$W/m^2 = \frac{E}{\text{lm/W} \times CU \times MF}$$

$$= \frac{528 \text{ lux}}{75 \text{ lm/W} \times 0.82 \times 0.70} = 12.27 \text{ W/m}^2$$

ค) กรณีเลือกใช้โคมประสิทธิภาพสูง, หลอดลูเมนสูง และบัลลาสต์การสูญเสียต่ำ หลอดลูเมนสูง 36 W ฟลักซ์แสงสว่าง 3450 lm บัลลาสต์การสูญเสียต่ำ จะมีการสูญเสีย 6 W ต่อหลอด

$$\text{lm / W จะมีค่า} = \frac{3450 \text{ lm}}{(36 + 6) \text{ W}} = \frac{3450 \text{ lm}}{42 \text{ W}} = 82 \text{ lm / W}$$

$$\text{ดังนั้น } \text{W / m}^2 = \frac{528 \text{ lux}}{82 \text{ lm / W} \times 0.82 \times 0.70} = 11.22 \text{ W / m}^2$$

ง) กรณีใช้โคมประสิทธิภาพสูง, หลอดลูเมนสูง และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หลอด 1×36W ถ้าใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีกำลังไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ 36 W

$$\text{lm / W จะมีค่า} = \frac{3450 \text{ lm}}{36 \text{ W}} = 95 \text{ lm / W}$$

$$\text{ดังนั้น } \text{W / m}^2 = \frac{528 \text{ lux}}{95 \text{ lm / W} \times 0.82 \times 0.70} = 9.68 \text{ W / m}^2$$

การคำนวณค่าใช้จ่ายและจุดคุ้มทุนเมื่อวัดต่อตารางเมตรต่ำ

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงตามรายการเปรียบเทียบตามตารางที่ 3-21 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-21 การเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานของสถานที่ทำงานขนาด 10×12m² เปอร์เซนต์การสะท้อนแสง 80/50/20% (pcc/pw/pfc)

ข้อมูลเปรียบเทียบ	โคมทั่วไป	โคมประสิทธิภาพสูง	
	T8-3×36W	T8-2×36W	T8-2×36W
จำนวนหลอดต่อโคม	3×36W	2×36W	2×36W
ขนาดพื้นที่ใช้งาน(m ²)	10×12	10×12	10×12
ความส่องสว่างที่ได้ (lux)	509	528	528
ข้อมูลบัลลาสต์	ธรรมดา	สูญเสียต่ำ	อิเล็กทรอนิกส์
กำลังสูญเสียบัลลาสต์ (W)	10	6	0
ข้อมูลหลอดไฟ T8 ขนาด 36 W	ธรรมดา	ลูเมนสูง	ลูเมนสูง
ฟลักซ์แสงสว่างต่อหลอด (lm)	2600	3450	3450
ฟลักซ์แสงสว่างต่อโคม (lm)	3×2600 = 7800	2×3450 = 6900	2×3450 = 6900
กำลังไฟฟ้าหลอด (W)	36	36	36
กำลังไฟฟ้าอินพุตต่อหลอด (W)	10+36=46	6+36=42	36+0=36
กำลังไฟฟ้าหลอดต่อโคม (W)	3×36 = 108	2×36 = 72	2×36 = 72

ข้อมูลเปรียบเทียบ	โคมทั่วไป	โคมประสิทธิภาพสูง	
	T8-3×36W	T8-2×36W	T8-2×36W
กำลังไฟฟ้าอินพุตต่อโคม (W)	3×46 = 138	2×42 = 84	2×36 = 72
ประสิทธิภาพแสงสว่างหลอด (lm/W)	2600/36 = 56	3450/36 = 95	3450/36 = 107
ประสิทธิภาพแสงสว่างรวมบัลลาสต์ (lm/W)	2600/46 = 56	3450/42 = 82	3450/36 = 95
อายุการใช้งาน (h)	13,000	16,000	20,000
ข้อมูลหลอดไฟ T8 ขนาด 36 W	ธรรมดา	ลูเมนสูง	ลูเมนสูง
ความถูกต้องของสี (CRI)	77	85	85
ราคาหลอด (บาท)	41	55	55
ราคาหลอดต่อโคม (บาท)	3×41 = 123	2×55 = 110	110
ข้อมูลดวงโคม			
ประสิทธิภาพดวงโคม (%)	68.9%	80.5%	80.5%
CU (%)	0.70	0.82	0.82
MF (%)	0.70	0.70	0.70
จำนวนโคมทั้งหมด (โคม)	16	16	16
กำลังไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงาน (วัตต์/ตารางเมตร)	18.57	11.22	9.68

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าอินพุต (W)} \times \text{จำนวนโคม} \times \text{ชั่วโมงทำงาน} \times \text{ค่าไฟต่อหน่วย}}{1,000}$$

ก) โคมธรรมดา 3 × 36 W และบัลลาสต์ธรรมดา กำลังไฟฟ้าต่อโคม 138 วัตต์ 16 โคม ถ้าชั่วโมงทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน และทำงาน 7 วันต่อสัปดาห์ และใน 1 ปี จะมี 52 สัปดาห์

$$\begin{aligned} \therefore \text{จำนวนชั่วโมงทำงานทั้งหมดต่อปี} &= 12 \times 7 \times 52 = 4368 \quad \text{ชั่วโมง/ปี} \\ \text{ถ้าการไฟฟ้าคิดค่าไฟหน่วยละ} &= 3 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)} = \frac{138 \text{ W} \times 16 \text{ โคม} \times 4,368 \text{ ชั่วโมง} \times 3 \text{ บาท}}{1,000} = 28,934 \text{ บาท}$$

$$\therefore \text{ใน 1 ปี ต้องเสียค่าไฟ} = 28,934 \text{ บาท}$$

ข) โคมประสิทธิภาพสูงและบัลลาสต์การสูญเสียต่ำ

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)} = \frac{84 \text{ W} \times 16 \text{ โคม} \times 4,368 \text{ ชั่วโมง} \times 3 \text{ บาท}}{1,000} = 17,612 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี} &= 28,934 - 17,612 \\ &= 11,322 \text{ บาท} \end{aligned}$$

- ค) ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอด T8 ธรรมดา เมื่อหมดอายุ เมื่อหลอด T8 ธรรมดา $3 \times 36\text{ W}$ มีอายุการใช้งาน 13,000 ชั่วโมง และจำนวนชั่วโมงทำงาน 4,368 ชั่วโมงต่อปี อายุหลอด 13,000 ชั่วโมง, ถ้าราคาหลอด T8 ธรรมดา 41 บาท

$$\text{ค่าใช้จ่ายเปลี่ยนหลอด (บาท/ปี)} = \frac{\text{จำนวนหลอดต่อโคม} \times \text{จำนวนโคม} \times \text{ราคาหลอด} \times \text{ชั่วโมง}}{\text{อายุหลอด}}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายเปลี่ยนหลอด(บาท/ปี)} = \frac{3 \text{ หลอด} / \text{โคม} \times 16 \text{ โคม} \times 41 \text{ บาท} \times 4,368 \text{ ชั่วโมง}}{13,000 \text{ ชั่วโมง}}$$

$$\therefore \text{ค่าเปลี่ยนหลอดทั้งหมดต่อปี} = 661 \text{ บาท/ปี}$$

- ง) ถ้ารวมค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอด เมื่อหลอดหมดอายุ เป็นการรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดทั้งปี

$$= (28934 + 661) - (17612 + 480) = 29595 - 18092 = 11,503 \text{ บาท ดังตารางที่ 3-22}$$

$$\therefore \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ประหยัดได้} = 11,503 \text{ บาท}$$

- จ) ถ้าต้องการเปลี่ยนเป็นโคมประสิทธิภาพสูง $2 \times 36\text{ W}$ เปลี่ยนบัลลาสต์เป็นชนิดการสูญเสียต่ำ และเปลี่ยนมาใช้หลอด T8 อุณหภูมิสูง

$$\text{ถ้าราคาโคม/ชุด} = 1610 \text{ บาท}$$

$$\therefore \text{ราคาโคมทั้งหมด} = 16 \times 1610 = 25,760 \text{ บาท}$$

$$\therefore \text{ระยะเวลาคืนทุน} = 25760 / 11503 = 2.24 \text{ ปี (ดังตารางที่ 3-22)}$$

ตารางที่ 3-22 การเปรียบเทียบเพื่อคำนวณค่าใช้จ่าย และจุดคุ้มทุนของสถานที่ทำงานขนาด $10 \times 12\text{ m}^2$

ข้อมูลเปรียบเทียบ	โคมทั่วไป	โคมประสิทธิภาพสูง	
	T8 (3 36W)	T8 (2 36W)	T8 (2 36W)
จำนวนหลอดต่อโคม	$3 \times 36\text{ W}$	$2 \times 36\text{ W}$	$2 \times 36\text{ W}$
กำลังไฟฟ้าอินพุตต่อโคม (W)	138	84	72
ราคาหลอดไฟ (บาท)	41	55	55
บัลลาสต์	ธรรมดา	สูญเสียต่ำ	อิเล็กทรอนิกส์
อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	13,000	16,000	20,000
การหาค่าใช้จ่ายและจุดคุ้มทุน			
จำนวนโคม	16	16	16
กำลังไฟฟ้าอินพุตทั้งหมด (W)	$138 \times 16 = 2,208$	$84 \times 16 = 1,344$	$72 \times 16 = 1,152$
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)	3	3	3
ชั่วโมงการทำงานต่อวัน	12	12	12

ข้อมูลเปรียบเทียบ	โคมทั่วไป	โคมประสิทธิภาพสูง	
	T8 (3 36W)	T8 (2 36W)	T8 (2 36W)
วันทำงานต่อสัปดาห์	7	7	7
สัปดาห์ทำงานต่อปี	52	52	52
จำนวนชั่วโมงทำงานทั้งหมดต่อปี	4,368	4,368	4,368
ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	28,934	17,612	15,096
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท)	-	11,322	13,838
ค่าเปลี่ยนหลอดไฟทั้งหมดต่อปี (บาท)	661	480	384
ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด (บาท)	29,595	18,092	15,480
ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ประหยัดได้ (บาท)	-	11,503	14,115
เปลี่ยนโคมและเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ (16 โคม)			
ราคาโคมและอุปกรณ์ต่อโคม	-	1,610	1,870
ราคารวมทั้งหมด (บาท)	-	25,760	29,920

บทสรุป

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างประกอบด้วย หลอดไฟ โคมไฟ และบัลลาสต์ ซึ่งมีหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกัน ซึ่งการเลือกใช้นั้น นอกจากจะคำนึงถึงประสิทธิภาพพลังงาน ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการส่องสว่าง กล่าวคือจำเป็นต้องมีความสว่างเพียงพอตามมาตรฐานสำหรับงานแต่ละประเภท การออกแบบที่ดี การบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างอย่างสม่ำเสมอ และการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่าง เป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง, 2551.
- [2] ชญาศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง(ฉบับปรับปรุง), กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
- [3] ธนบูรณ์ ศศิภาณุเดช, วิศวกรรมการส่องสว่าง, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2521.
- [4] พิบูลย์ ดิษฐอดม, การออกแบบระบบแสงสว่าง, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2521.
- [5] กลุ่มบริษัท แสงมิตร กรู๊ป และ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, การออกแบบระบบแสงสว่าง, กรุงเทพฯ, 2543.

ตารางภาคผนวก ก ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคารตามคำแนะนำของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
1. พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป	
1.1 โถงทางเข้าอาคาร	100
1.2 โถงนั่งพัก	200
1.3 พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100
1.4 บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150
1.5 พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150
1.6 ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร	200
1.7 ห้องพักผ่อนทั่วไป	100
1.8 ห้องออกกำลังกาย	300
1.9 ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ	200
1.10 ห้องปฐมพยาบาล	500
1.11 ห้องตรวจคนไข้ทั่วไป	500
1.12 ห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า Switch gear	200
1.13 ห้องชุมสายโทรศัพท์ / ไปรษณีย์ / พัสดุ	500
1.14 ห้องเก็บของ	50
1.15 ห้องบรรจุหีบห่อ ขนถ่ายวัสดุ	300
1.16 ห้องควบคุม	200
2. อาคารสำนักงาน	
2.1 พื้นที่เก็บเอกสาร ถ่ายเอกสาร และพื้นที่ทั่วไปที่มีการสัญจร	300
2.2 พื้นที่ที่มีการเขียน พิมพ์ อ่าน ใช้คอมพิวเตอร์และ data processing	500
2.3 พื้นที่ที่ใช้สำหรับเขียนแบบ	750
2.4 พื้นที่ทำงานด้าน CAD(Computer Aid Design)	500
2.5 ห้องประชุม	300
2.6 พื้นที่เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ต้อนรับ	300
2.7 ห้องเก็บเอกสารสำคัญ	200
3. ร้านค้าปลีก	
3.1 พื้นที่ขาย (ขนาดเล็ก)	300
3.2 พื้นที่ขาย (ขนาดใหญ่)	500
3.3 พื้นที่เก็บเงิน /ห่อ บรรจุ	500
4. ห้องอาหารและโรงแรม	
4.1 พื้นที่ต้อนรับ เคาน์เตอร์เก็บเงิน บริการของโรงแรม	300
4.2 ครั้ว	500
4.3 พื้นที่ภัตตาคาร ห้องอาหาร ห้องจัดเลี้ยง	200
4.4 ห้องอาหารแบบบริการตัวเอง	200
4.5 ห้องอาหารแบบบุฟเฟต์	300
4.6 ห้องจัดงานประชุม สัมมนา	500

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
4.7 พื้นที่ทางเดิน	100
5. ห้องสมุด	
5.1 พื้นที่ชั้นวางหนังสือ	200
5.2 พื้นที่อ่านหนังสือ	500
5.3 เคาน์เตอร์	500
6. อาคารสถาบันการศึกษา โรงเรียน	
6.1 พื้นที่สำหรับการเรียนการศึกษาทั่วไป	300
6.2 พื้นที่สำหรับเรียนภาคค่ำ และการศึกษาผู้ใหญ่	500
6.3 ห้องบรรยาย	500
6.4 พื้นที่หน้ากระดานดำ	500
6.5 พื้นที่โต๊ะสาธิตงาน	500
6.6 ห้องเรียนทางด้านศิลปะและหัตถกรรม	500
6.7 ห้องแสดงศิลปะในโรงเรียนสอนศิลปะ	750
6.8 ห้องเขียนแบบ	750
6.9 ห้องทดสอบและฝึกหัด	500
6.10 ห้องฝึกหัดทางดนตรี	300
6.11 ห้องฝึกหัดทางคอมพิวเตอร์	500
6.12 ห้องฝึกหัดทางด้านภาษา	300
6.13 ห้องเตรียมงานและฝึกหัดทั่วไป	500
6.14 ห้องพักนักเรียนทั่วไป	200
6.15 ห้องทำงานครู อาจารย์	300
6.16 พื้นที่ออกกำลังกายในร่ม	300
7. พื้นที่จอดรถภายในอาคารทั่วไป	
7.1 ทางเข้า-ออก (ช่วงกลางวัน)	300
7.2 ทางเข้า-ออก (ช่วงกลางคืน)	75
7.3 ช่องทางรถวิ่ง (ทางลาดชัน/หัวมุม)	75
7.4 พื้นที่จอดรถ	75
7.5 ห้องจ่าย/ เก็บบัตรจอดรถ	300
8. โรงพยาบาล	
8.1 พื้นที่รอรับการรักษา	200
8.2 ทางเดินทั่วไปเวลากลางวัน	200
8.3 ทางเดินทั่วไปเวลากลางคืน	50
8.4 ห้องพักรักษาผู้ป่วยนอก	200
8.5 ห้องทำงานแพทย์	500
8.6 ห้องพักแพทย์	300
พื้นที่ห้องพักรักษาผู้ป่วยใน :	
8.7 พื้นที่ทั่วไป	100
8.8 แสงสว่างสำหรับการอ่านหนังสือ	300

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
8.9 พื้นที่ตรวจทั่วไปในห้องพักผู้ป่วย	300
8.10 พื้นที่ตรวจโรคและรักษาโรค	1000
8.11 ความสว่างในเวลากลางวัน	5
8.12 ห้องน้ำผู้ป่วย	200
8.13 พื้นที่ตรวจโรคทั่วไป	500
8.14 ห้องตรวจหูและตา	1,000
8.15 พื้นที่ตรวจสอบสายตาโดยการอ่านและดูแผ่นภาพทางสายตา	500
8.16 ห้องดูภาพจากจอภาพของเครื่อง Scanners	50
8.17 ห้องถ่ายเลือด/เครื่องรักษาไตเทียม	500
8.18 พื้นที่ตรวจรักษาโรคผิวหนัง	500
8.19 ห้องส่งกล้องตรวจอวัยวะภายในร่างกาย	300
8.20 ห้องเข้าเฝือก	500
8.21 ห้องจ่ายยา	300
8.22 ห้องสำหรับการรักษาโดยการนวดและแผ่รังสี	300
8.23 ห้องพักฟื้นก่อนและหลังผ่าตัด	500
8.24 ห้องผ่าตัด	1,000
8.25 พื้นที่ไต้คอมผ่าตัด	จำเพาะ
พื้นที่สำหรับห้องดูแลพิเศษ ICU (Intensive Care Unit)	
8.26 พื้นที่ทั่วไป	100
8.27 แสงสว่างใช้ในการตรวจทั่วไป	300
8.28 พื้นที่สำหรับการตรวจรักษา	1,000
8.29 ความสว่างสำหรับการเฝ้าไข้กลางคืน	20
พื้นที่ห้องทันตแพทย์	
8.30 แสงสว่างโดยทั่วไป	500
8.31 แสงสว่าง ณ ตัวผู้ป่วย	1,000
8.32 ไต้ดวงคอมผ่าตัด	5,000
8.33 แสงสว่างสำหรับเปรียบเทียบ สีฟัน	5,000
8.34 พื้นที่ทดสอบและตรวจสอบสี	1,000
8.35 ห้องค่าเชื้อ	300
8.36 ห้องปลอดเชื้อ	300
8.37 ห้องชั้นสูตรฟลักศพ/ห้องเก็บศพ	750
8.38 โต๊ะชั้นสูตรฟลักศพ	5,000
9. ร้านแต่งผม	500
10. พื้นที่สำหรับการแสดงและการบันเทิง	
10.1 โรงละคร พื้นที่แสดงคอนเสิร์ต	200
10.2 พื้นที่สำหรับงานแสดงทั่วไป	300
10.3 ห้องซ้อม ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า	300
10.4 พิพิธภัณฑ	300

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
11. อุตสาหกรรมอาหาร	
11.1 พื้นที่สำหรับขบวนการผลิตทั่ว ๆ ไป	200
11.2 พื้นที่ล้าง คัดเลือกขนาดวัตถุดิบ ผสมวัตถุดิบ บรรจุหีบห่อ	300
11.3 พื้นที่สำหรับการตัดแยกชิ้นส่วนเนื้อสัตว์ ผสมนมเนย โรงกรองสำหรับโรงงานน้ำตาล	500
11.4 พื้นที่ตัดแยกผัก ผลไม้	300
11.5 พื้นที่ผลิตสำหรับผลิตอาหารสำเร็จรูป ห้องครัว	500
11.6 พื้นที่ผลิตบุหรี	500
11.7 พื้นที่ตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ เช่น แก้ว ขวด ห้องควบคุมคุณภาพ ห้องตกแต่งอาหาร	500
11.8 ห้องทดสอบคุณภาพอาหาร	500
11.9 ห้องตรวจสอบสี	1,000
12. อุตสาหกรรมทำขนม เบเกอรี่	
12.1 พื้นที่เตรียมส่วนผสม และอบขนม	300
12.2 พื้นที่ตกแต่งหน้าขนม	500
13. อุตสาหกรรมด้านการเกษตร ปศุสัตว์	
13.1 ห้องขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ เครื่องจักร	200
13.2 พื้นที่ปศุสัตว์ภายในตึก	50
13.3 พื้นที่รักษาสัตว์	200
13.4 พื้นที่เตรียมอาหารสัตว์ ทำความสะอาดสัตว์	200
14. อุตสาหกรรมซีเมนต์ คอนกรีต และ อิฐ	
14.1 พื้นที่สำหรับทำการอบแห้งวัตถุดิบ	50
14.2 พื้นที่เตรียมและผสมวัตถุดิบ	200
14.3 พื้นที่ทำงานของเครื่องจักรทั่วไป	300
15. อุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว	
15.1 พื้นที่สำหรับทำการอบแห้ง	50
15.2 พื้นที่เตรียมงาน และการปฏิบัติงานของ	
15.3 เครื่องจักรทั่วไป	300
15.4 พื้นที่ขึ้นรูปชิ้นส่วน เคลือบเงา และ เป่าแก้ว	300
15.5 พื้นที่ขัดแต่งผิว และ แกะสลัก	750
15.6 พื้นที่ประดับตกแต่งชิ้นงาน	500
15.7 พื้นที่ขัดแต่งกระจกสำหรับแว่นตา เจียรนัย	750
15.8 พื้นที่งานเจียรนัยละเอียด	1,000
15.9 พื้นที่ผลิตเครื่องแก้วเทียม เพชร พลอยเทียม	1,500
16. อุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยาง	
16.1 พื้นที่การผลิตที่ไม่มีการสังเคราะห์	50
16.2 พื้นที่การผลิตที่เข้าถึงค่อนข้างลำบาก	150
16.3 พื้นที่การผลิตที่มีคนประจำเกือบตลอดเวลา	300

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
16.4 ห้องทดสอบที่ต้องการความละเอียดสำหรับการอ่านมาตรวัด	500
16.5 สายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับเวชภัณฑ์	500
16.6 สายการผลิตยางรถยนต์	500
16.7 พื้นที่ตรวจสอบสี	1,000
16.8 ขั้นตอนตรวจสอบ ตัดเจาะ ชิ้นสุดท้าย	750
17. อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	
17.1 พื้นที่ผลิตลวด สายไฟฟ้า	300
17.2 พื้นที่สำหรับการพันลวดขนาดใหญ่	300
17.3 พื้นที่สำหรับการพันลวดขนาดกลาง	500
17.4 พื้นที่สำหรับการพันลวดขนาดเล็ก	750
17.5 พื้นที่ชุบน้ำยาเคลือบลวด	300
17.6 พื้นที่สำหรับการชุบเคลือบผิว	300
พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน	
17.6 ขนาดใหญ่ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า	300
17.7 ขนาดกลาง เช่น สวิตช์บอร์ด	500
17.8 ขนาดเล็ก เช่น เครื่องโทรศัพท์	750
17.9 ขนาดเล็กมากที่ต้องการความละเอียดมาก เช่น อุปกรณ์มาตรวัดต่างๆ	1,000
17.10 ห้องทดสอบทางด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องมีการปรับแต่ง	1,500
18. อุตสาหกรรมหล่อ หลอม โลหะ	
18.1 อุโมงค์ใต้พื้น	50
18.2 แท่น ขนถ่ายโลหะ	100
18.3 พื้นที่เตรียมพิมพ์ทรายสำหรับการหล่อ	200
18.4 พื้นที่ตกแต่งโลหะ	200
18.5 พื้นที่ผสมโลหะ	200
18.6 แท่นหล่อโลหะ	200
18.7 พื้นที่ถอดพิมพ์	200
18.8 พื้นที่เครื่องจักรหล่อโลหะ	200
18.9 พื้นที่หล่อด้วยมือ	300
18.10 พื้นที่หล่อโลหะด้วยพิมพ์	300
18.11 พื้นที่ทำแบบจำลอง	500
19. อุตสาหกรรมเพชรพลอย	
19.1 พื้นที่คัดเลือกเพชรพลอย	1,500
19.2 พื้นที่ผลิตตัวเรือนเพชรพลอย	1,000
19.3 พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยมือ	1,500
19.4 พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยเครื่องจักร	500
20. อุตสาหกรรมซัก อบ รีด	
20.1 พื้นที่ขนถ่าย คัดเลือกสินค้า	300
20.2 พื้นที่ซักแห้ง	300

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
20.3 พื้นที่ซัก อบ รีด	300
20.4 พื้นที่ตรวจเช็ค ซ่อมแซม	750
21. อุตสาหกรรมเครื่องหนัง	
21.1 พื้นที่ขนถ่ายวัตถุดิบ	200
21.2 พื้นที่ลอกขัดหนัง	300
21.3 พื้นที่ตัดแต่ง เย็บ ขัดเงา เครื่องหนัง	500
21.4 พื้นที่คัดเลือกชิ้นส่วน	500
21.5 พื้นที่ย้อมสีหนัง	500
21.6 พื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ	1,000
21.7 พื้นที่ตรวจสอบสี	1,000
21.8 พื้นที่ประกอบเครื่องหนัง	500
22. อุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ	
22.1 Open die forging	200
22.2 Drop forging welding cold forming	300
22.3 งานเครื่องจักรที่ไม่ต้องการความละเอียด ค่าผิดพลาด > 0-1 มม.	300
22.4 งานเครื่องจักรที่ต้องการความละเอียด ค่าผิดพลาด ≤ 0-1 มม.	500
22.5 พื้นที่ตรวจสอบ	750
22.6 พื้นที่รีด ดึงลวด ท่อ	300
22.7 พื้นที่งานแผ่นโลหะหนา > 5 มม.	200
22.8 พื้นที่งานแผ่นโลหะบาง ≤ 5 มม.	300
22.9 พื้นที่งานสร้างแบบ พิมพ์ตัดเจาะ	750
พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน :	
22.10 ขนาดใหญ่	200
22.11 ขนาดกลาง	300
22.12 ขนาดเล็ก	500
22.13 ขนาดเล็ก และรายละเอียดมาก	750
22.14 พื้นที่ชุดสังกะสี	300
22.15 พื้นที่ตกแต่งพื้นผิว เคลือบสี	750
22.16 พื้นที่สร้างพิมพ์ปั๊ม ตัดเจาะสำหรับเครื่องจักร ขนาดเล็ก	1,000
23. อุตสาหกรรมกระดาษ	
23.1 พื้นที่ปั่นเยื่อกระดาษ	200
23.2 พื้นที่ผลิตกระดาษ	300
23.3 พื้นที่เข้าเล่ม เข้าปกทั่วไป พับ ตัดขอบ เย็บเล่ม	500
24. อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า	
24.1 พื้นที่เก็บเชื้อเพลิง	50
24.2 พื้นที่หม้อน้ำ	100
24.3 พื้นที่เครื่องจักร	200
24.4 พื้นที่อื่นๆ	200

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
24.5 ห้องควบคุม	500
25. อุตสาหกรรมการพิมพ์	
25.1 พื้นที่ทั่วไปเช่น ตัด เคลือบ ป้อนบนกระดาษ	500
25.2 พื้นที่แท่นพิมพ์	500
25.3 พื้นที่ตกแต่งงานพิมพ์	1,000
25.4 พื้นที่ตรวจสอบสี	1,500
25.5 พื้นที่ตกแต่งเพลท	2,000
26. อุตสาหกรรมหลอมเหล็ก	
26.1 พื้นที่ที่คนไม่สามารถสัญจรไปมาได้	50
26.2 พื้นที่ที่คนสัญจรไปมาไม่บ่อยนัก	150
26.3 พื้นที่ที่คนสัญจรไปมาตลอดเวลา	200
26.4 พื้นที่เก็บ SLAB	50
26.5 พื้นที่เตาหลอม	200
26.6 พื้นที่ขนถ่าย ตัด รีดเหล็ก	300
26.7 พื้นที่หรือแท่นควบคุมการผลิต	300
26.8 พื้นที่ทดสอบควบคุมคุณภาพ	500
26.9 อุโมงค์ขนส่ง	50
27. อุตสาหกรรมทอผ้า	
27.1 พื้นที่ทั่วไป	200
27.2 พื้นที่แต่ง ซัก รีด ดึงฝ้าย	300
27.3 พื้นที่ปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า	500
27.4 พื้นที่เย็บ ถัก ปัก ละเยียด	750
27.5 พื้นที่ออกแบบลวดลาย	750
27.6 พื้นที่ย้อมผ้า	500
27.7 พื้นที่อบแห้ง	100
27.8 พื้นที่พิมพ์ผ้าด้วยเครื่องจักร	500
27.9 พื้นที่พับ แต่งขอบ ผ้า	1,000
27.10 พื้นที่ตรวจสอบสี คุณภาพผ้า	1,000
27.11 พื้นที่ซ่อมแซมผ้า	1,500
27.12 พื้นที่ตัดเย็บทั่วไป	500
28. อุตสาหกรรมรถยนต์	
28.1 พื้นที่งานตัวถัง ประกอบรถยนต์	500
28.2 ห้องพ่นสี เคลือบสี ชัดเงา	750
28.3 พื้นที่ตกแต่งสี	1,000
28.4 พื้นที่ผลิตงานในตู้องรถโดยคน	1,000
28.5 พื้นที่ตรวจเช็คครั้งสุดท้าย	1,000
29. อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และไม้	
29.1 ย้อมสีไม้ ผลิตไม้อัด	50

พื้นที่และประเภทกิจกรรม	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
29.2 พื้นที่อาบน้ำ	150
29.3 พื้นที่เลื่อย ตัด เจาะ	300
29.4 พื้นที่ประกอบชิ้นส่วนหลัก	300
29.5 พื้นที่ขัดเงา เคลือบสี ประกอบติดตั้งชิ้นส่วนตกแต่ง	750
29.6 พื้นที่ทำงานการผลิตบนเครื่องจักรโดยคน	500
29.7 พื้นที่คัดเลือกชิ้นส่วน	750
29.8 พื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ	1,000
30. สนามบิน	
30.1 พื้นที่สำหรับผู้โดยสารขาเข้า ขาออก พื้นที่รับกระเป๋าเดินทาง บันไดเลื่อน ทางเลื่อน พื้นที่ทั่วไป	200
30.2 เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ติดต่อสอบถาม ตรวจเช็คบัตรโดยสาร ตรวจหนังสือเดินทาง จุดตรวจผ่านศุลกากร	500
30.3 พื้นที่นั่งรอ	200
30.4 ห้องเก็บกระเป๋าเดินทาง	200
30.5 พื้นที่ควบคุมของเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย	300
30.6 หอควบคุมจราจรทางอากาศ	500
30.7 พื้นที่ทดสอบตรวจสอบซ่อมอากาศยาน ทดสอบเครื่องยนต์ เครื่องวัดสำหรับอากาศยาน พื้นที่ขนถ่ายสินค้าสำหรับผู้โดยสาร	500
30.8 ขึ้นรถไฟ (ใต้ดิน)	50
30.9 พื้นที่ขายตั๋วโดยสาร	300
30.10 พื้นที่นั่งรอ	200
31. วัด โบสถ์	
31.1 พื้นที่โดยรอบ	100
31.2 ที่นั่ง แท่นบูชา แท่นยืน นั่งเทศน์	300
31.3 การส่องเน้น (พระพุทธรูป พระรูป)	750

ที่มา: TIEA – GD 003 สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย