หน่วยที่ 2
หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ในระบบส่องสว่าง

2.1 สถานการณ์หลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้าคือความสำเร็จของมนุษย์ที่สามารถเอาชนะความมืดในยามวิกาลได้หลังจากที่โทมัสอัลวา เอดิสัน (Thomas Alva Edison) ได้พัฒนาหลอดไฟฟ้าตั้งแต่ยุคแรกที่เป็นหลอดแบบสุญญากาศไส้หลอดทำด้วยคาร์บอนซึ่งมีอายุใช้งานเพียง 45 ชั่วโมงขณะที่ปัจจุบันหลอดไฟฟ้ามีอายุการใช้งานหลักหมื่นถึงแสนชั่วโมง กำลังส่องสว่างสูงจนสามารถทำให้ความสว่างเทียบเท่าตอนกลางวันได้ มีมากมายหลายชนิดให้เลือกไปใช้สำหรับงานต่าง ๆ ได้อย่างไม่มีขีดจำกัด

หลายสิบปีที่ผ่านมาจนปัจจุบันหลอดไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทั้งตามบ้านอยู่อาศัย อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา สถานที่ราชการ โรงงาน เป็นต้น จนปัจจุบันก้าวเข้าสู่ยุคของหลอดแอลอีดีซึ่งเริ่มเข้ามาทดแทนหลอดที่เราคุ้นเคยเป็นลำดับเช่นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพ็ค (หลอดตะเกียบ) หลอดแอลอีดีที่ใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ (T8) มีโครงการศึกษาและเริ่มมีการใช้งานกับไฟถนน ไฟสาธารณะในความรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวงและส่วนภูมิภาค มีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้น หลอดไส้ที่เคยเป็นที่นิยมของชาวบ้าน มีการใช้ลดลงเมื่อมีหลอดตะเกียบมาทดแทน มาถึงปัจจุบันไม่พบการใช้งานแล้วแม้จะมีวางขายในห้างสรรพสินค้าบ้างก็ตาม หลอดไส้จะถูกกล่าวถึงในฐานะที่มันเป็นประวัติศาสตร์และเป็นหลอดที่ใช้เปรียบเทียบการใช้พลังงานกับทั้งหลอดตะเกียบและหลอดแอลอีดีที่กำลังมาแรง

2.2 ประสิทธิผลการส่องสว่าง

ประสิทธิผลการส่องสว่าง (luminous efficacy) เป็นคุณสมบัติของหลอดไฟฟ้าในการผลิตฟลักซ์ส่องสว่างออกมาเป็นลูเมนต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่หลอดใช้ไปมีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (lm/W, LPW)เพื่อความสะดวกบางครั้งมีการใช้หน่วย LPW เรียกแทนคุณสมบัติที่ว่านี้สามารถคำนวณได้ ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิผลการส่องสว่าง} = \frac{\text{ฟลักซ์ส่องสว่าง}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร}} \quad (\text{lm/W}) \qquad (2.1)$$

ประสิทธิผลการส่องสว่าง จะระบุไว้ที่กล่องบรรจุที่ตัวหลอดหรือในเอกสารแสดงคุณสมบัติที่แนบมาพร้อมกับหลอดผู้ใช้สามารถคำนวณได้เองโดยคิดค่ากำลังไฟฟ้าทั้งหมดจากอุปกรณ์หรือชุดขับ (control gear) มีอิกนิเตอร์ (igniter) และบัลลาสต์ เป็นต้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์มีฟลักซ์ส่องสว่าง 1,300 lm มีประสิทธิผลการส่องสว่าง 72 lm/W คำนวณได้จริงตามอ้าง แต่เมื่อใช้งานจริงจะต้องคิดค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดกับบัลลาสต์ หากใช้กับบัลลาสต์แกนเหล็กจะคิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียอีก 10 วัตต์ รวมเป็น 28 วัตต์ ดังนั้นประสิทธิผลการส่องสว่างทั้งชุดจึงลดลงเป็น 46.4 lm/W(1,300/28) หากใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กำลังไฟฟ้ารวมจะเป็น 18 วัตต์ ประสิทธิผลการส่องสว่างจึงจะเท่ากับค่าที่ระบุไว้ที่หลอด

ภาพที่ 2-1 ข้อมูลฟลักซ์ส่องสว่างที่ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์สำหรับคำนวณประสิทธิผลการส่องสว่าง

กรณีหลอดแอลอีดี(LED) ขนาดวัตต์จะรวมค่ากำลังของหลอดและชุดขับ (driver) ไว้ด้วยกัน สามารถคำนวณโดยไม่มีส่วนเพิ่มของกำลังไฟฟ้า ตัวอย่างหลอดแอลอีดี T8 18 วัตต์ 1,800 lmดังภาพ คำนวณประสิทธิผลการส่องสว่างได้ 100 lm/W

ภาพที่ 2-2 ข้อมูลฟลักซ์ส่องสว่างที่ขั้วหลอดแอลอีดีสำหรับคำนวณประสิทธิผลการส่องสว่าง

ประสิทธิผลการส่องสว่างคำนวณโดยใช้กำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ทั้งหมด

2.3 อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า

อายุของหลอดไฟฟ้า (lamp life) เป็นค่าอายุเฉลี่ย (average rate life)ของหลอดไฟฟ้ารุ่นนั้น ๆ โดยระบุค่าเป็นชั่วโมงอายุเฉลี่ยสรุปจากระยะเวลาที่เริ่มการทดลองกระทั่งหลอดที่ทำการทดลองดับไป 50 เปอร์เซ็นต์ส่วนหลอดแอลอีดีใช้เกณฑ์หลอด 50 เปอร์เซ็นต์มีฟลักซ์ส่องสว่างคงเหลือ (lumen maintenance) 70 % หรือ 80 % (ขึ้นกับมาตรฐาน) (อายุการใช้งานเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่แสดงความคุ้มค่าของเงินที่จ่ายไป เช่น หลอด A และ B มีราคาเท่ากัน แต่ A มีอายุการใช้งานนานกว่า B อยู่ 2 เท่า นั่นแสดงว่าซื้อ A มาใช้ก็เหมือนได้ B มา 2 หลอด เป็นต้น จะพบว่ามีระยะหนึ่งที่มีการรณรงค์ให้ใช้หลอดตะเกียบแทนหลอดไส้ เพราะมีอายุการใช้งานนานกว่าและมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงกว่าหลอดไส้ เป็นต้น

ความคุ้มค่าของการเลือกใช้หลอดไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับฟลักซ์ส่องสว่างที่ได้ ระยะเวลาการใช้งานของหลอด แต่จะแปรผกผันกับราคาของหลอดและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด สามารถเขียนเป็นสมการไว้พิจารณาเปรียบเทียบก่อนเลือกซื้อ โดยใส่ข้อมูลที่ได้รับไว้เป็นตัวตั้ง ใส่ข้อมูลที่ต้องจ่ายไว้เป็นตัวหาร ดังนี้

$$\text{แฟกเตอร์ความคุ้มค่า} = \frac{\text{ฟลักซ์ส่องสว่าง x อายุการใช้งาน}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ x ราคา}} \qquad (2)$$

ตัวอย่าง ฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W ยี่ห้อ A มีฟลักซ์ส่องสว่าง 3,200 lm มีอายุการใช้งานนาน 10,000 ชั่วโมง ราคา 120 บาท ยี่ห้อ B มีฟลักซ์ส่องสว่าง 2,600 lm ราคา 100 บาท มีอายุการใช้งานนาน 8,000 ชั่วโมง ยี่ห้อใดมีความคุ้มค่ามากกว่ากัน โดยทั้งสองยี่ห้อใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

$$\text{ความคุ้มค่าหลอด A} = \frac{3{,}200 \times 10{,}000}{36 \times 120}$$

$$= 7{,}407.4$$

$$\text{ความคุ้มค่าหลอด B} = \frac{2{,}600 \times 8{,}000}{36 \times 100}$$

$$= 5{,}777.77$$

สรุป ข้อมูลดังกล่าวช่วยตัดสินใจได้ง่ายว่า ยี่ห้อ A มีความคุ้มค่าในการซื้อมาใช้มากกว่า

หมายเหตุ ความคุ้มค่าเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในการเลือกใช้ ปัจจัยอื่นที่ต้องพิจารณาคือแสงสว่างเดิมกับแสงสว่างใหม่ที่จะได้เมื่อเปลี่ยนหลอดใหม่ มีค่าเท่ากันหรือไม่ มากขึ้นหรือน้อยลง ถ้าน้อยลงจะสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมือนเดิมหรือไม่ โดยหลักการแล้วแสงที่ได้ใหม่ควรไม่ต่ำกว่าเดิม ถ้าต่ำกว่าควรอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยเทียบกับมาตรฐาน

2.4 ประเภทของหลอดไฟฟ้า

หลังจากมีหลอดแอลอีดี หลอดไฟฟ้าถูกจัดแบ่งออกเป็น 3กลุ่มตามวิธีการเปล่งแสงสว่าง คือการเผาให้ร้อนแดง (incandescent) มีหลอดไส้ (incandescent lamp) และ หลอดฮาโลเจน (halogen lamp) การแตกตัวหรือคายประจุของก๊าซ (gas discharge or ionization) เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent lamp) การปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแสงขณะอิเล็กตรอนไหลผ่าน PN junction ในสารกึ่งตัวนำ (luminescent) มีหลอดแอลอีดี (LED lamp) และ แอลดีแบบชีวภาพ (Organic LED) เป็นต้น

2.4.1 *ชนิดเผาไส้ให้ร้อนแดง*

หลักการเผาไส้ให้ร้อนแดง(incandescent) เป็นหลักการของหลอดเอดิสันแต่พัฒนาให้มีกำลังส่องสว่างและอายุการใช้งานมากขึ้น พร้อมทั้งปรับคุณภาพของแสงสีให้ดีขึ้นมี 2 ชนิดที่ทราบกันดีคือ

1. หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp) เรียกโดยทั่วไปว่าหลอดไส้ เดิมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูกมีลักษณะเด่นคือเปิดแล้วติดทันทีใช้เป็นไฟฉุกเฉินได้ มีดัชนีความถูกต้องของสี100 ซึ่งหมายถึงให้แสงสีของวัตถุที่ไม่ผิดเพี้ยนและมีอุณหภูมิสีประมาณ 2,750 เคลวินให้แสงสีโทนอบอุ่นหากใช้ส่องอาหารสามารถอุ่นอาหารและทำให้ดูน่ารับประทานยิ่งขึ้นมีข้อเสียคือมีประสิทธิผลการส่องสว่างเพียง 10 - 20 lm/W กล่าวคือเป็นหลอดที่ไม่ประหยัดพลังงาน มีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 – 3,000 ชั่วโมงมีขนาดตั้งแต่ 3 – 1,500 วัตต์ หลายปีที่ผ่านมามีการรณรงค์ให้เปลี่ยนมาใช้หลอดคอมแพ็ค (หลอดตะเกียบ) ซึ่งประหยัดพลังงานมากกว่า ตามบ้านเรือนโดยทั่วไปจึงแทบไม่มีการใช้งานแล้ว การใช้งานอยู่ในวงจำกัด เช่นไฟหรี่ที่หัวเตียง งานให้ความร้อนด้วยหลอดไฟเช่นการฟักไข่ งานการควบคุมทางไฟฟ้าจะใช้หลอดวัตต์ต่ำเป็นหลอดสัญญาณแสดงการทำงานของระบบ เป็นต้น ปัจจุบันจะกล่าวถึงหลอดชนิดนี้เพื่อเป็นฐานเปรียบเทียบความประหยัดพลังงานให้กับหลอดชนิดอื่น

ภาพที่ 2-3 โครงสร้างโดยทั่วไปของหลอดอินแคนเดสเซนต์

2. หลอดฮาโลเจน (Halogen Lamp) เป็นหลอดที่พัฒนามาจากหลอดไส้ ไส้หลอดจะบรรจุไว้ในกระเปาะแก้วชั้นในภายกระเปาะบรรจุก๊าซกลุ่มฮาโลเจน (halogengroup)เพื่อลดการระเหิดของไส้หลอดทำให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นประมาณ 3 เท่าของหลอดอินแคนเดสเซนต์หลอดฮาโลเจนมีหลากหลายชนิดดังภาพที่ 2-4 ชนิด ก. ข. และ ค. ใช้กับโคมขั้วเกลียวทั่วไปเช่น E27 หรือ E40 ใช้งานทั่วไปเช่น พื้นที่งานสนามในร่มหรือกลางแจ้ง งานแสดงสินค้า โกดังเก็บของ ไฟส่องป้าย ไฟสนามกีฬา เป็นต้น ชนิด ง. และ จ. ใช้กับโคมชนิดใช้ขาหลอดเสียบ ใช้ในงานแสดงสินค้า ตู้โชว์ขนาดเล็ก ร้านอัญมณี เป็นต้น และชนิด ฉ. จะใช้กับโคมฉาย การใช้งานเช่นเดียวกับชนิด ก. ข.และ ค.

ก. ชนิดลอด PAR

ข. ชนิดลอดขาวขุ่น

ค. ชนิดลอดใส

ง. ชนิดโคมสะท้อนแสงขนาดเล็ก

จ. ชนิดไส้หลอดแบบแคปซูล

ฉ.ชนิดไส้หลอด 2 ปลาย

ภาพที่ 2-4 หลอดฮาโลเจนชนิดต่าง ๆ

หลอดฮาโลเจนมีทั้งชนิดแรงดันต่ำ 12 โวลต์ จนเกือบ 300 โวลต์ มีขนาด 5 – 1,500 วัตต์ โดยทั่วไปมีประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 20-30ลูเมนต่อวัตต์ มีดัชนีความถูกต้องของสี 100มีอายุการใช้งานหลากหลายขึ้นอยู่กับรุ่นที่ผลิต ระหว่าง 1,000 – 6,000 ชั่วโมง มีอุณหภูมิสีใกล้เคียงกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ประมาณ 2,800 - 3,200 เคลวิน

2.4.2 *หลอดคายประจุความดันต่ำ*

หลอดชนิดนี้อยู่ในกลุ่มการเปล่งแสงจากการแตกตัวหรือคายประจุของก๊าซ(ionization) ผสมผสานกับการเปล่งแสงของสารเรืองแสง มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงกว่าหลอดชนิดเผาไส้เนื่องจากพลังงานส่วนที่เปลี่ยนไปเป็นความร้อนมีค่าต่ำลงมากมีดังนี้

2.4.2.1 *หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FluorescentLamp)*

เป็นหลอดที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดแม้ในปัจจุบัน ทั้งตามบ้านอยู่อาศัย สำนักงาน โรงแรม โรงงาน สถานศึกษา ดังภาพที่ 2-5 ส่วนในด้านคุณภาพ มีประสิทธิผลการส่องสว่างมากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ 4-5 เท่า รุ่นทั่วไปมีอายุการใช้งานประมาณระหว่าง 8,000-12,000 ชั่วโมง บางรุ่นอาจสูงถึง 24,000 ชั่วโมงดัชนีความถูกต้องของสีระหว่าง 65– 90 อุณหภูมิสีจะอยู่ในช่วง 3,000- 6,500 เคลวิน

ก. เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์

ข. ห้องสมุด

ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์

เมื่อสารเรืองแสงกระทบกับรังสีหลอดจะเปล่งแสงออกมาแสงสีแตกต่างกันตามฟอสเฟอร์ที่ฉาบภายในโดยหลัก การเลือกใช้ให้เหมาะสมกับค่าความส่องสว่างจะสามารถสร้างประสิทธิภาพของงาน สร้างความรู้สึกตามสภาพงาน ดังนี้

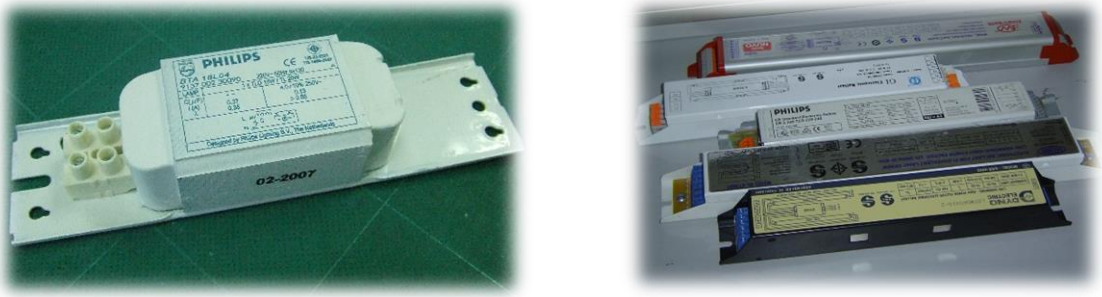
- เดย์ไลท์ (daylight) มีอุณหภูมิสีประมาณ 5,500 - 6,500 เคลวิน มีสีขาวใส เหมาะสำหรับความส่องสว่างระดับ 500-1,000ลักซ์ เช่นในสำนักงาน ห้องเขียนแบบ และห้องผ่าตัด เป็นต้น
- คูลไวท์ (cool white) มีอุณหภูมิสีประมาณ 4,000 - 4,500 เคลวิน มีสีขาวนวลกว่าชนิดแรก เหมาะสำหรับความส่องสว่างประมาณ 500 ลักซ์ เช่น งานในสำนักงาน เป็นต้น
- วอร์มไวท์ (warm white) ให้แสงโทนอบอุ่น มีอุณหภูมิสีประมาณ 3,000 – 3,500 เคลวิน เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความส่องสว่างไม่เกิน 300 ลักซ์ เช่น ไฟหลืบ เป็นต้น

บริบทของหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเด็นของการอนุรักษ์พลังงาน มีความเกี่ยวข้องกับบัลลาสต์ที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหลอด และยังมีชนิดของหลอดที่ผลิตออกมาพื่อทดแทนเพื่อการอนุรักษ์ดังกล่าว มีประเด็นที่ควรพิจารณา ดังนี้

- **ประเด็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์**

การประหยัดพลังงาน นอกจากการใช้หลอดประสิทธิภาพสูงแล้ว บัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ (electronic ballast) เป็นอุปกรณ์ประหยัดพลังงานทำให้ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำลงประมาณ 10 วัตต์เมื่อเทียบกับการใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก การใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แพร่หลายในระยะหนึ่ง ถึงแม้ปัจจุบันกระแสการใช้หลอดแอลอีดีจะแรงมากก็ตาม แต่ยังมีการใช้งานในระบบ และยังมีวางจำหน่ายตามร้านอุปกรณ์ไฟฟ้าและห้างสรรพสินค้าทั่วไป รุ่นที่ใช้งานทั่วไปมีราคาประมาณ 2 - 3 เท่าของบัลลาสต์แกนเหล็ก นอกจากประหยัดได้ 10 วัตต์ต่อหลอดแล้ว ข้อดีที่สำคัญของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คือมีความร้อนต่ำลดภาระของเครื่องปรับอากาศ มีการจุดหลอดโดยใช้ความถี่สูงประมาณ 20 - 50 kHz ลดอาการสั่นพร่าของแสง (stroboscopic effect) และถนอมสายตาผู้ใช้งาน

ในภาพที่ 2-6 แสดงรูปลักษณ์ของบัลลาสต์แกนเหล็กที่คุ้นเคย กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หลายยี่ห้อมีทั้งชนิด 32 วัตต์ที่ใช้กับหลอดวงกลม ชนิดใช้กับ 36 วัตต์ 1 หลอด (1x36W) และชนิดใช้กับ 36 วัตต์ 2 หลอด (2x36W) การใช้งานมีข้อคำนึงถึงหลัก ๆ คือเมื่อชำรุดจะเป็นหนึ่งในกลุ่มขยะอิเล็กทรอนิกส์เหมือนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่มีปัญหาเรื่องการกำจัด



ก. บัลลาสต์แกนเหล็ก ข. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ภาพที่ 2-6 บัลลาสต์แกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

- **ประเด็นหลอดซุปเปอร์**

หลอดซุปเปอร์คือฟลูออเรสเซนต์ที่ ภายในเคลือบด้วยสาร Tri phosphor 2 ชั้น (Double coat) ทำให้มีฟลักซ์ส่องสว่างสูงขึ้น มีขั้วสีเขียวเป็นสัญญลักษณ์เช่นขนาด 36 W ดังภาพที่ 2-7 มีฟลักซ์ส่องสว่าง 3,250 lm สูงขึ้นประมาณ 25 % เมื่อเทียบกับรุ่นที่ใช้กันทั่วไปซึ่งมีฟลักซ์ส่องสว่าง 2,600 lm

ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นซุปเปอร์ฟลักซ์ส่องสว่าง 3,250 ลูเมน

คำถามคือหลอดซุปเปอร์ช่วยอนุรักษ์พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานได้อย่างไร ยกตัวอย่างระบบที่ต้องการความส่องสว่าง 300 lux อาศัยฟลักซ์ส่องสว่างประมาณ 45,000 lm ต้องติดตั้งหลอดชนิด 2,600 lm 18 หลอด เมื่อใช้หลอดชนิด 3,250 lm เหลือหลอดที่จะติดตั้งเพียง 14 หลอด ประหยัดพลังงานได้ 22 %

หลอดซุปเปอร์ประหยัดเพราะว่าใช้จำนวนน้อยกว่าแต่ให้ฟลักซ์ส่องสว่างเท่ากัน

- **ประเด็นหลอด T5**

หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน (T8) ส่วนรุ่นขนาด 5 หุนจะเรียก T5 รุ่นให้แสงปกติมีขนาด 14, 21, 28 และ 35 วัตต์ รุ่นที่มีฟลักซ์ส่องสว่างสูงคือ 24, 39, 54 และ 80 วัตต์ รุ่นที่จงใจทำออกมาเพื่อใช้แทน T8 ในโคมเดิมแต่ต้องใช้ขั้วเสริม (adapter) มี 2 รุ่นดังนี้

T5 14 วัตต์ (1,200 ลูเมน) แทน T8 18 วัตต์ (1,300 ลูเมน)

T5 28 วัตต์ (2,700 ลูเมน) แทนหลอด T8 36วัตต์ (2,600 ลูเมน)

หลอด T5 ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า T8 ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- หลอด T8 ขนาด 36 W ใช้กับบัลลาสต์แกนเหล็กมีกำลังไฟฟ้ารวม 46 W เมื่อใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีกำลังไฟฟ้ารวม 36 W กำลังไฟฟ้าลดลง 22 % หากแทนด้วยหลอด T5 ขนาด 28 W จะใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 32 W กำลังไฟฟ้าลดลง 30 %
- หลอด T5 ถูกส่งเสริมในตลาดอยู่ประมาณ 3-5 ปี ส่วนใหญ่จะพบอยู่ในภาคธุรกิจ ห้างสรรพสินค้า โรงงาน แต่ไม่แพร่หลายในกลุ่มบ้านอยู่อาศัยซึ่งยังคงใช้งานหลอด T8 ปัจจุบันกระแสหลอด T5 เงียบลงไปยังคงมีใช้อยู่ในกลุ่มที่เคยติดตั้งเมื่อครั้งที่มีการสนับสนุนจากฝ่ายต่าง ๆ และคาดว่าคงไม่มีผู้ใช้รายใหม่นับจากนี้ไป เนื่องจากมีการทดแทนจากหลอด LED มากขึ้นเป็นลำดับ

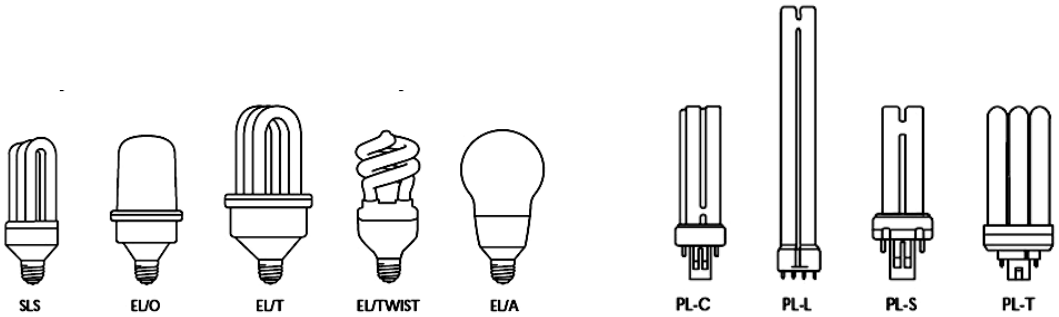
ในภาพที่ 2-8 เปรียบเทียบขนาดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 (สองหลอดด้านบน) กับ T5 ที่มีขนาดเล็กกว่าเท่าตัวเมื่อมองด้วยตาเปล่า

ภาพที่ 2-8 การเปรียบเทียบขนาดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5 กับ T8

2.4.2.2 *หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพค (Compact Fluorescent)*

เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดที่ทำให้มีขาดเล็กลงเพื่อใช้กับโคมขนาดเล็ก และมีเป้าหมายสำคัญเพื่อทดแทนหลอดไส้ เรียกกันติดปากว่าหลอดคอมแพค หรือ หลอดตะเกียบมีประสิทธิผลการส่องสว่าง 50 – 80 ลูเมนต่อวัตต์ ประมาณ 3 เท่าของหลอดไส้ มีอายุการใช้งาน 7,000 -12,000 ชั่วโมง ประมาณ 4 เท่าของหลอดไส้ มีทั้งชนิดใช้กับบัลลาสต์ภายนอก และชนิดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บรรจุสำเร็จอยู่ในตัวหลอด ดังภาพที่ 2-9 ตัวอย่างขนาดที่มีจำหน่ายเช่น ชนิดขั้วหลอด E27 9 11 15 20 25 และ 35 วัตต์ ขนาด 15 วัตต์สามารถใช้แทนหลอดไส้ขนาด 60 วัตต์ เป็นต้น

ปัจจุบันหลอดคอมแพคยังมีใช้งานทั่วไป พบมากในโคมแบบดาวน์ไลท์ในสำนักงาน ห้องโถง ห้องนั่งเล่น หอประชุม ร้านอาหารไฟส่องสว่างตามบ้านอยู่อาศัย ไฟห้องน้ำ ไฟโรงรถ เป็นต้น แต่เริ่มมีการทดแทนด้วยหลอด LED ตามกระแสนิยมและเนื่องจากมีสินค้ารองรับจำนวนมาก



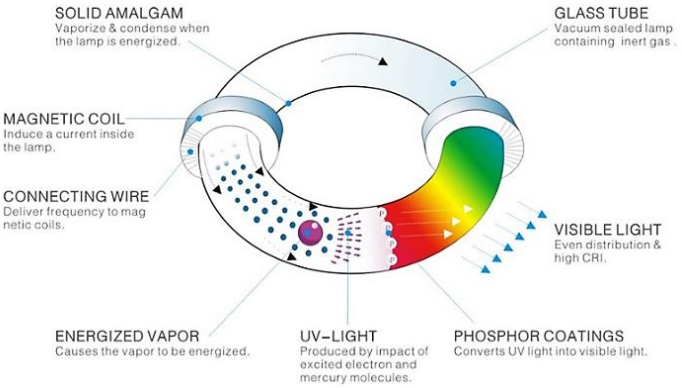
ก. ชนิดมีบัลลาสต์ภายใน ข. ชนิดใช้กับบัลลาสต์ภายนอก

ภาพที่ 2-9 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพ็ค

2.4.2.3 *หลอดเหนี่ยวนำ (Induction Lamp/Electrode-less Fluorescent Lamps)*

หลอดชนิดนี้เป็นชนิดหนึ่งของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ส่องสว่างโดยแปลงรังสียูวีเป็นแสงสว่างด้วยสารฟอสเฟอร์ แต่การทำให้ก๊าซในกระเปาะแตกตัวไม่ได้เกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านโดยตรง แต่อาศัยการเหนี่ยวนำที่เกิดจากสนามแม่เหล็กความถี่สูงโดยขดลวดที่พันอยู่ภายนอกกระเปาะแก้วซึ่งป้อนโดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นหลอดเหนี่ยวนำจึงไม่มีขั้วใด ๆ ภายในหลอด ทำให้ตัดปัญหาเรื่องหลอดอายุสั้นจากปัญหาไส้

หลอดหรือขั้วหลอดขาด ในภาพที่ 2-10 สนามแม่เหล็กจากขดลวด 2 ขด จะเหนี่ยวนำให้เกิดการแตกตัวของประจุในไอปรอทเป็นรังสียูวี และเปล่งแสงด้วยฟอสเฟอร์ที่เคลือบไว้ภายในกระเปาะ



ภาพที่ 2-10 แสดงโครงสร้างพื้นฐานและการทำงานของหลอดเหนี่ยวนำ
ที่มา : Indolighting, 2017

หลอดเหนี่ยวนำมีขนาดให้เลือกใช้อยู่ในช่วงกว้างจาก 15 – 300 W รุ่นที่ใช้บัลลาสต์ภายนอกมีอายุการใช้งานยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง (Adison tech center, 2012) ใช้ได้ยาวนานกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ถึงกว่า 5 เท่า สูงกว่าหลอด LED 2 เท่า มีประสิทธิผลการส่องสว่าง 80 - 150 lm/W กล่าวได้ว่าเป็นหลอดประหยัดพลังงานลำดับต้น ๆ คงสภาพฟลักซ์ส่องสว่างได้มากกว่า 70 % แม้ใช้งานไปแล้วมากกว่า 60,000 ชั่วโมง ต่างจากหลอดเมทัลฮาไลด์และหลอดโซเดียมความดันสูงเมื่อใช้งานไป 10,000 ชั่วโมงแสงจะลดลงถึง 50% จึงเหมาะกับงานที่มีความยุ่งยากในการซ่อมบำรุงในที่สูง แสงสว่างที่ได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ค่าความถูกต้องของสีมากกว่า 80 ที่สำคัญการจุดติดของหลอดจะสว่างทันทีไม่ต้องรอเวลาเหมือนหลอดคายประจุความดันสูง (Adison Tech Center, 2017) มีการใช้งานทั่วไปทั้งในและนอกอาคาร ในโรงงาน ไฟถนน ไฟงานสนามเป็นต้น ดังภาพที่ 2-11 ใช้กับโคมไฮเบย์ส่องสว่างในห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง

ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างการใช้งานหลอดเหนี่ยวนำในห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง

หลอดชนิดนี้ไม่ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐเท่าที่ควร ทั้งที่เป็นหลอดชนิดที่เหมาะกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้ามาก สถานประกอบการใดที่ติดตั้งใช้งานแสดงว่ามองเห็นคุณสมบัติเด่นของหลอดชนิดนี้ด้วยตนเองและจะได้รับผลดีทางเศรษฐกิจของตน

ในภาพที่ 2-12 เป็นตัวอย่างหลอดเหนี่ยวนำจากบริษัทผู้ผลิต ภาพ ก. เป็นโคมที่ไฮเบย์ใช้ในอาคาร (บริหารโครงการประหยัดพลังงาน, 2560) ส่วนภาพ ข. เป็นโคมฉายที่ใช้กับงานสนาม (ซไนเดอร์ไลท์, 2560)

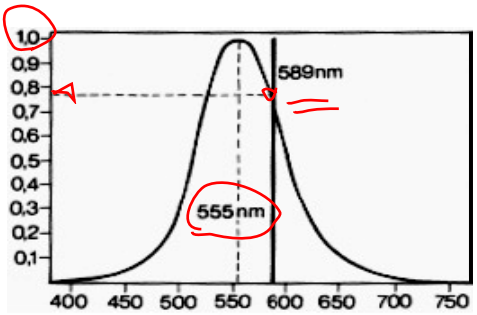
ก. ใช้กับโคมไฮเบย์

ข. ใช้กับโคมฉาย

ภาพที่ 2-12 ตัวอย่างหลอดเหนี่ยวนำใช้กับโคมไฮเบย์และโคมฉายจากบริษัทผู้ผลิต

2.4.2.4 *หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low-pressure Sodium Lamp)*

มีชื่อสั้น ๆ ว่าหลอด SOX มีหลักการทำงานคล้ายกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่หลอดโซเดียมความดันต่ำจะปล่อยคลื่นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้โดยตรงไม่ต้องอาศัยสารฟอสเฟอร์ กระจายพลังงานแสงออกมาที่ความยาวคลื่นเดียว (monochromic) ที่ 589 nm ดังภาพที่ 2-13 ที่ความยาวคลื่นนี้จะให้แสงสีเหลืองจัด

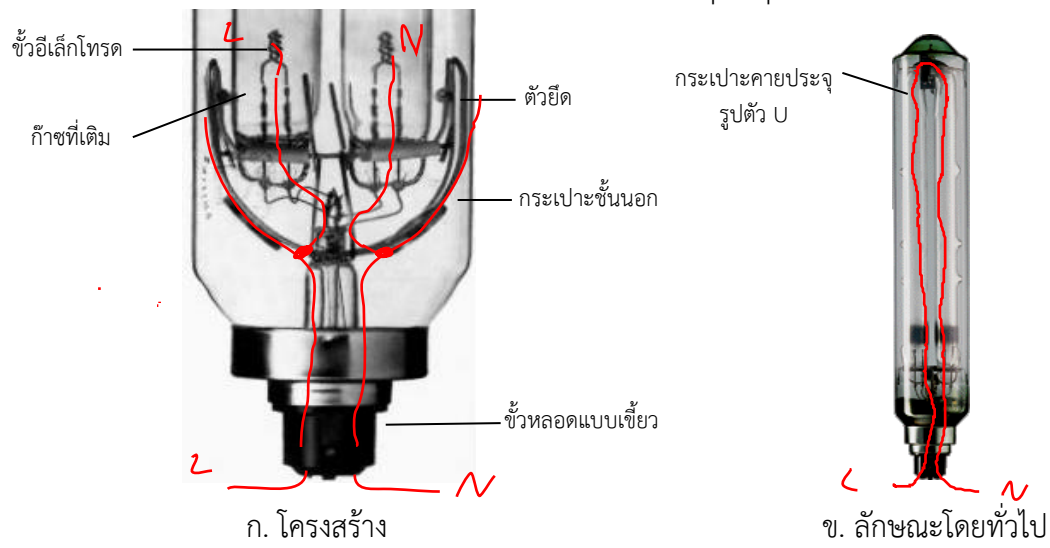


ภาพที่ 2-13 การกระจายพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นเดียวของหลอดโซเดียมความดันต่ำ
ที่มา : Lighting Design and Engineering Centre, 1984, p.13

คุณสมบัติที่ควรพิจารณาอีกประการคือ หลอดชนิดนี้มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีต่ำบางรุ่นอาจต่ำถึง 0 ซึ่งจะทำให้การแยกแยะสีของวัตถุได้ยาก จึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการการแยกแยะสี ไม่เหมาะกับที่พักอาศัยหรือในอาคาร โดยทั่วไปใช้เป็นไฟส่องสว่างเพื่อความปลอดภัยเช่นลานจอดรถ อุโมงค์ ทางด่วน บริเวณทางร่วมทางแยก เป็นต้น มีประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 150-200 lm/W สูงกว่าหลอดทุกชนิดแม้หลอดแอลอีดีที่ว่าประหยัดมากในปัจจุบันก็ตาม มีอายุการใช้งานประมาณ 20,000 - 24,000 ชั่วโมง

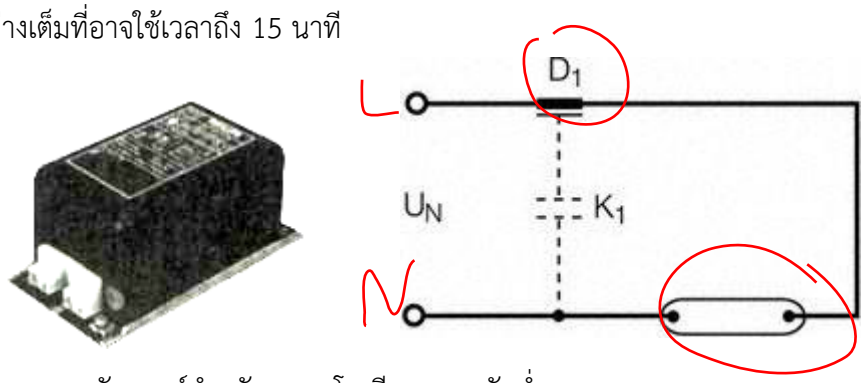
หลอดโซเดียมความดันต่ำประกอบด้วยโครงสร้างหลัก คือกระเปาะคายประจุและตัวยึด (discharge tube and supports) กระเปาะคายประจุมีชนิดหลอดตรงที่พัฒนาขึ้นในยุคแรก และชนิดรูปตัว U การทำเป็นตัว U ก็เพราะต้องการเพิ่มความยาวให้เหมาะสมกับกำลังวัตต์ของหลอดที่เพิ่มขึ้น ส่วนก๊าซที่เติม (filling) เป็นนีออน

หรืออาร์กอนประมาณ1 เปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่คือโซเดียมซึ่งอุณหภูมิปกติจะเป็นของแข็ง ขั้วอิเล็กโทรด (electrode) กระเปาะแก้วชั้นนอก (outer bulb) ขั้วหลอด (lamp cap) ดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันต่ำและรูปลักษณ์โดยทั่วไป
ที่มา : Lighting Design and Engineering Centre, 1984

หลอดชนิดนี้จะขับดันด้วยบัลลาสต์ ดังในภาพที่ 2-15 เมื่อเริ่มทำงานบัลลาสต์จะจ่ายแรงดันสูงให้กับหลอดประมาณ 500 โวลต์ก๊าซนีออนหรืออาร์กอนจะเริ่มแตกตัวก่อนและจะให้แสงสีแดงออกมา ต่อมาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารโซเดียมจะเริ่มแตกตัวและให้แสงสีเหลืองออกมาจนกระทั่งสว่างเต็มที่จะเป็นแสงสีเหลืองจัดการจุดหลอดจนสว่างเต็มที่อาจใช้เวลาถึง 15 นาที



ภาพที่ 2-15 วงจรและบัลลาสต์สำหรับหลอดโซเดียมความดันต่ำ
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560

2.4.3 *หลอดคายประจุความดันสูง*

หลอดตระกูลนี้จะเปล่งแสงโดยอาศัยการแตกตัวของก๊าซภายในกระเปาะแก้วชั้นในที่เรียกว่าหลอดอาร์ค (arc tube) และมีการปรับปรุงแสงสีด้วยวิธีการปรุงแต่งก๊าซที่เติม บางชนิดจะใช้ฟอสเฟอร์เคลือบที่ด้านในของกระเปาะแก้วชั้นนอก

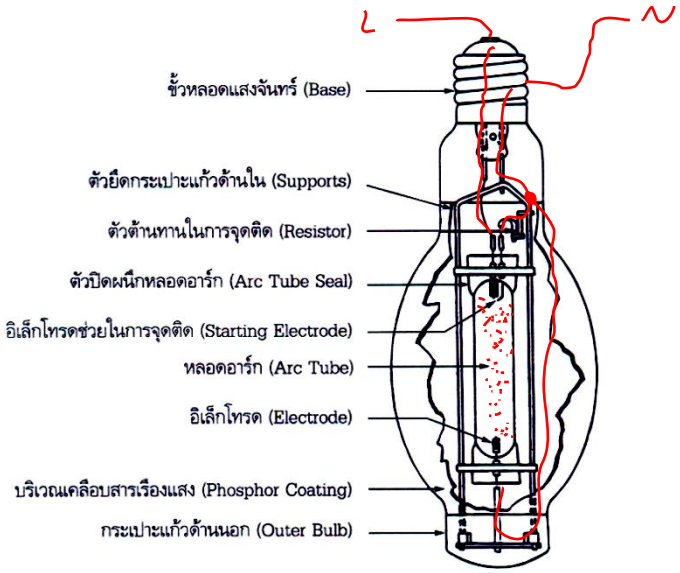
High Pressure Mercury Lamp

2.4.3.1.*หลอดไอปรอท (Mercury Vapor Lamp)*

หลอดชนิดรู้จักกันทั่วไปนาม “หลอดแสงจันทร์” เนื่องจากให้แสงสีขาวนวลอมเขียวเล็กน้อยคล้ายแสงจันทร์ แรกเริ่มหลอดชนิดนี้ผลิตมาเพื่อใช้งานกลางแจ้งแทนหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีประสิทธิผลการส่อง

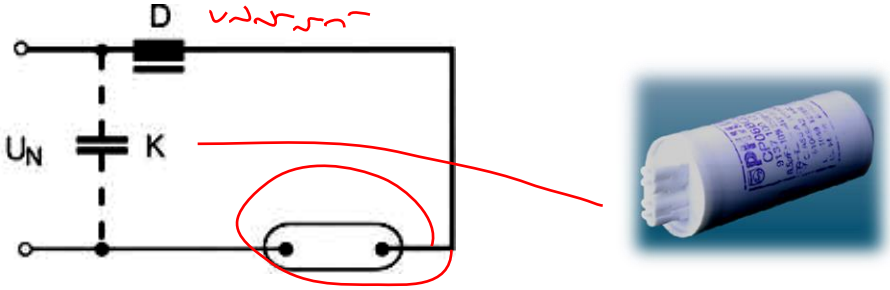
สว่างประมาณ 25-55 lm/W ซึ่งต่ำสุดในบรรดาหลอดคายประจุความดันสูงทั้งหมด ใช้งานโดยทั่วไปทั้งในอาคารและนอกอาคารเช่น ซูเปอร์มาร์เก็ต โรงงานอุตสาหกรรมลานจอดรถ ไฟถนน เป็นต้น มีขนาดตั้งแต่ 40-1,000 วัตต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 16,000-24,000 ชั่วโมงหลอดไอปรอทมีทั้งชนิดที่ใช้และไม่ใช้บัลลาสต์ โดยชนิดที่ไม่ใช้บัลลาสต์จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า ทางการค้าหลอดจะมีรหัสที่สังเกตได้เช่น ML HPL หรือ HQL เป็นต้น

ขั้วหลอดเป็นขั้วชนิดเกลียว (screw base) แบบ E27 หรือ E40 เหมือนกับหลอดทั่ว ๆ ไปดังภาพที่ 2-16 ขั้วอิเล็กโทรดหลัก (main electrode) มี 2 ขั้วอยู่ด้านบนและด้านล่าง ทำด้วยขดลอดทังสเตนเคลือบด้วยแบเรียมออกไซด์ขั้วอิเล็กโทรดจุดชนวน (starting electrode) ช่วยจุดชนวนช่วงเริ่มต้นตัวยึดกระเปาะแก้วด้านใน (supports) จะช่วยยึดกระเปาะแก้วด้านในและเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้ากระเปาะอาร์ค (arc tube) เป็นหลอดแก้วทำด้วยแร่ควอช (quartz) บรรจุก๊าซอาร์กอนผสมไอปรอทตัวต้านทานจุดชนวน (starting resistor) จะช่วยจำกัดกระแสขณะจุดชนวนอาร์คตอนเริ่มต้น กระเปาะแก้วด้านนอก (outer bulb) จะบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อยเพื่อป้องกันกระเปาะอาร์คจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และถ้าเป็นชนิดฉาบสารเรืองแสงจะช่วยกรองรังสีที่เกิดจากการอาร์คเอาไว้



ภาพที่ 2-16 โครงสร้างและลักษณะโดยทั่วไปของหลอดไอปรอท
ที่มา : ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2550, หน้า 84

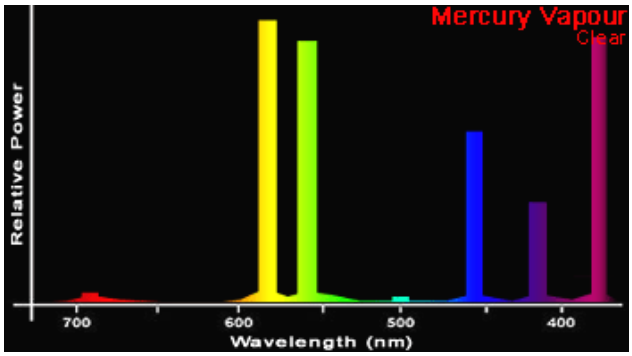
วงจรในภาพที่ 2-17 หลอดจะอาศัยบัลลาสต์จะจ่ายแรงดันให้กับกระเปาะอาร์คทำให้มีแรงดันตกคร่อมระหว่างอิเล็กโทรดหลักทั้งสอง การจุดชนวนจะใช้เวลาประมาณ 2-4 นาทีจึงจะสว่างเต็มที่เมื่อดับไฟและต้องการเปิดใหม่อีกครั้งจะไม่สามารถติดได้ทันที ต้องใช้เวลา 3-5 นาทีเพื่อให้ก๊าซเย็นตัวก่อนจึงจะเริ่มทำงานได้ใหม่อีกครั้ง



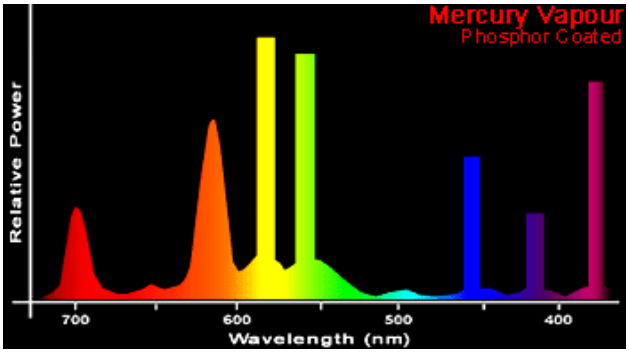
ก. วงจรหลอดไอปรอท ข. ตัวอย่างคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในวงจร

ภาพที่ 2-17 วงจรหลอดไอปรอทและตัวอย่างคาปาซิเตอร์ที่ใช้
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560

หลอดชนิดนี้มีการปรับปรุงคุณภาพของแสงสีโดยเคลือบฟอสเฟอร์ซึ่งทำให้หลอดกระจายแสงออกมาได้หลายช่วงความยาวคลื่นมากขึ้นดังสเปกตรัมในภาพที่ 2-18 ทำให้ประสิทธิผลการส่องสว่างและดัชนีความถูกต้องของสีดีขึ้น



ก. สเปกตรัมของหลอดไอปรอทชนิดกระเปาะแก้วใส



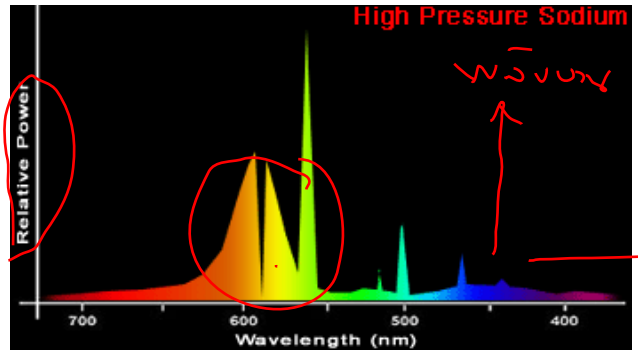
ข. สเปกตรัมของหลอดไอปรอทชนิดกระเปาะเคลือบสารฟอสเฟอร์

ภาพที่ 2-18 สเปกตรัมของหลอดไอปรอท
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560

2.4.3.2 *หลอดโซเดียมความดันสูง (High-pressure Sodium Lamp)*

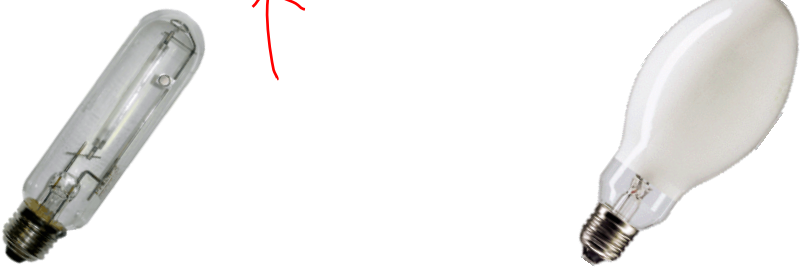
หลอดโซเดียมความดันสูงมีลักษณะคล้ายกับหลอดโซเดียมความดันต่ำแต่กระเปาะอาร์คมีขนาดเล็กกว่าจึงไม่ต้องมีอีเล็กโทรดสำหรับการจุดชนวน มีอายุการใช้งานประมาณ 18,000-24,000 ชั่วโมง(ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560)มีประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 70 - 130 ลูเมนต่อวัตต์ (สูงกว่าหลอดคายประจุความดันสูงทุกชนิด) แต่มีดัชนีความถูกต้องของสีเพียง 30– 50

หลอดชนิดนี้กระจายพลังงานส่วนใหญ่อยู่ในย่านสีเหลืองส้ม ดังสเปกตรัมที่แสดงในภาพที่ 2-19 (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560) พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณความยาวคลื่น 550 - 650 nm ทำให้มองเห็นวัตถุสีส้มกลายเป็นสีแดงวัตถุสีน้ำเงินและสีเขียวกลายเป็นสีดำ เนื่องจากเป็นหลอดชนิดที่มีค่าความถูกต้องของแสงสีต่ำ ไม่เหมาะนำมาใช้กับการส่องสว่างในอาคาร แต่เนื่องมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงจึงมักถูกใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยเช่น ไฟส่องสว่างในที่สาธารณะไฟถนน เป็นต้น



ภาพที่ 2-19 การกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของหลอดโซเดียมความดันสูง
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560

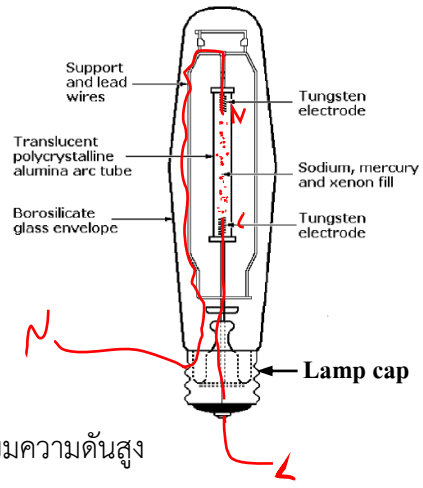
ในภาพที่ 2-20 ภาพ ก. เป็นตัวอย่างของหลอดโซเดียมความดันสูงชนิดเปาะแก้วใส รูปทรงแบบทิวบูลาร์ (tubular) ส่วนในภาพ ข. เป็นชนิดเคลือบสารเรืองแสงเพื่อปรับปรุงคุณภาพแสงสี มีรูปทรงเป็นแบบบัลจ์ (bulge) ในทางการค้าจะมีรหัสหลอดที่สังเกตได้เช่น SON หรือ NAV



ก. ชนิดกระเปาะแก้วใส ข. ชนิดเคลือบสารเรืองแสง

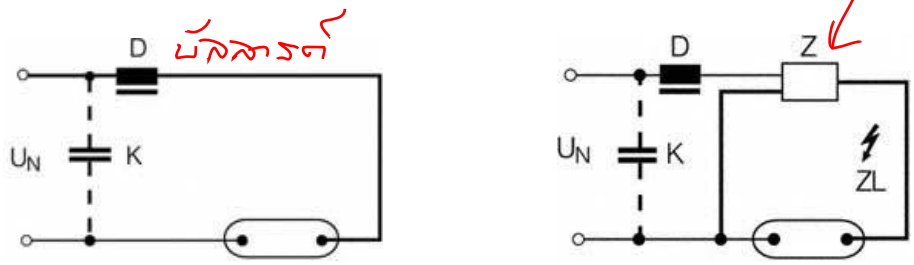
ภาพที่ 2-20 ตัวอย่างหลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูงชนิดที่ใช้งานทั่วไป ประกอบด้วยโครงสร้างหลัก คือ กระเปาะอาร์ค (arc tube) ที่บรรจุสารโซเดียมและสารเติมอื่น ๆ ที่หัวท้าย 2 ข้างของกระเปาะอาร์คจะประกอบด้วยอิเล็กโทรดที่ทำจากทังสเตน และถูกยึดไว้ด้วยแท่งโลหะจับยึด (support and lead wire) ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าด้วย โดยโครงสร้างภายในทั้งหมดจะถูกครอบไว้ด้วยกระเปาะแก้วชั้นนอก (glass envelope) และขั้วหลอด (lamp cap) ที่อยู่ด้านล่างสุดดังภาพที่ 2-21



ภาพที่ 2-21 โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง
ที่มา : Sclater and Traister, 2003

หลอดโซเดียมความดันสูงต่อวงจรคล้ายกับหลอดไอปรอท ดังภาพที่ 2-22 โดยใช้อิกนิเตอร์ (ignitor) ช่วยจุดหลอดร่วมกับบัลลาสต์เพื่อจ่ายแรงดันสูงประมาณ 2,500-5,000 โวลต์ทำให้ก๊าซแตกตัวและสามารถจุดหลอดให้ติดได้ เริ่มจากการเปล่งแสงสีขาวอมฟ้า ฟ้า เหลือง และสีเหลืองทองในที่สุด ใช้เวลาประมาณ 3 - 5 นาที ส่วนการจุดชนวนรอบใหม่จะใช้เวลาเย็นตัวประมาณ 1 นาที (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560)



ก. วงจรที่ไม่ต้องใช้อิกนิเตอร์ ข.วงจรที่ต้องใช้อิกนิเตอร์

ภาพที่ 2-22 วงจรของหลอดโซเดียมความดันสูง
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560

ในภาพที่ 2-23 เป็นตัวอย่างบัลลาสต์และอิกนิเตอร์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย เป็นรุ่นที่นอกจากใช้กับหลอดโซเดียมความดันสูงแล้ว ยังสามารถใช้ได้กับหลอดเมทัลฮาไลด์

ก.บัลลาสต์ ข.อิกนิเตอร์

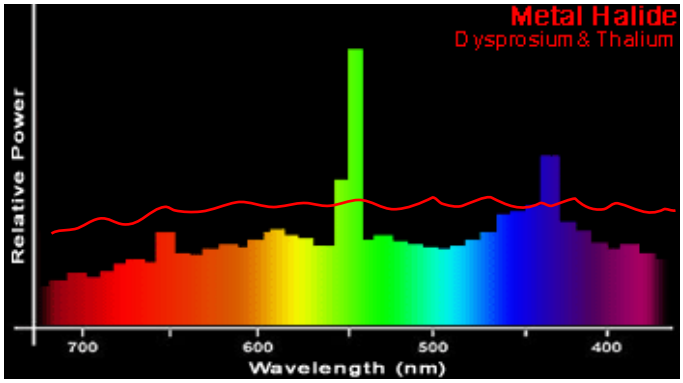
ภาพที่ 2-23 ตัวอย่างของบัลลาสต์และอิกนิเตอร์ของหลอดโซเดียมความดันสูง

2.4.3.3 *หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)*

หลอดชนิดนี้พัฒนามาจากหลอดไอปรอท ที่ตัวหลอดจะมีรหัสหลอดที่สังเกตได้ เช่น MH MHN MHW HPI HQI HCI HWL เป็นต้น มีขนาดตั้งแต่ 175 - 1,500 วัตต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 10,000 - 20,000 ชั่วโมง มีประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 1.5-2 เท่าของหลอดไอปรอท มีโครงสร้างคล้ายกันแต่แตกต่างกันด้วยการเติมสารฮาไลด์ (halide) ในกระเปาะอาร์คเพื่อปรับคุณภาพของแสงสี มีอุณหภูมิสีช่วงค่อนข้างกว้างประมาณ 3,000 – 6,000 เคลวิน แต่ที่ใช้โดยทั่วไปจะมีแสงสีขาวใส (white light) คล้ายกับแสงสีเดย์ไลท์ของฟลูออเรสเซนต์ กล่าวได้ว่ามีคุณภาพของแสงสีดีที่สุดในบรรดาหลอดคายประจุความดันสูงทั้งหมด การใช้งานต้องใช้คู่กับบัลลาสต์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ (Lighting Systems, 2007)

ในภาพที่ 2-24 สเปกตรัมของหลอดกระจายพลังงานออกมาทุกช่วงความยาวคลื่นอย่างสมดุล ทำให้หลอดมีดัชนีความถูกต้องของสีดี จาก 65–90 การใช้งานจะเน้นงานที่ต้องการคุณภาพของแสงสี เช่น สนามกีฬาที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์ อุตสาหกรรมทอผ้า งานพ่นสีรถ ห้างสรรพสินค้า ศูนย์ประชุม เป็นต้น ส่วนข้อด้อยของ

หลอดชนิดนี้คือมีอายุการใช้งานค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดคายประจุความดันสูงชนิดอื่น ๆ ผนวกกับราคาสูงกว่าที่ขนาดวัตต์เท่ากัน

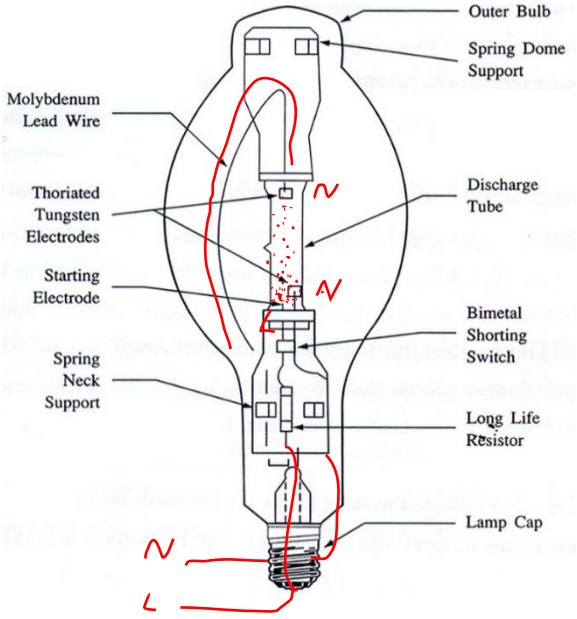


ภาพที่ 2-24 ตัวอย่างการกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของหลอดเมทัลฮาไลด์
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560

รูปลักษณ์โดยทั่วไปของหลอดเมทัลฮาไลด์คล้ายกับหลอดไอปรอท มีทั้งชนิดกระเปาะแก้วใสและแบบเคลือบสารเรืองแสง ดังภาพที่ 2-25

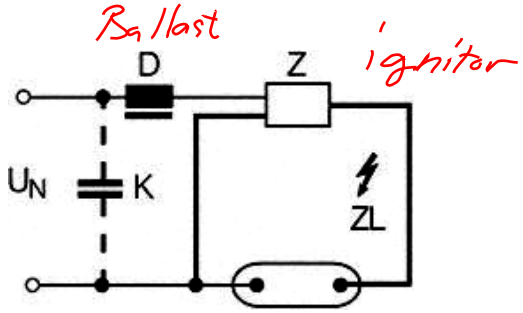
ภาพที่ 2-25 ตัวอย่างหลอดเมทัลฮาไลด์แบบกระเปาะใสและแบบเคลือบสารเรืองแสง
ที่มา : บริษัทฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย), 2560

เนื่องจากเป็นหลอดที่พัฒนามาจากหลอดไอปรอทความดันสูง จึงทำให้หลอดเมทัลฮาไลด์มีโครงสร้างคล้ายกับหลอดไอปรอทความดันสูงมากคือมีกระเปาะอาร์คที่ทำจากแร่ควอทซ์บรรจุสารที่ทำให้เกิดการแตกตัวและเกิดแสงสว่าง มีอิเล็กโทรดหลักที่ทำจากโลหะทังสเตน มีตัวต้านทานและอิเล็กโทรดจุดชนวนซึ่งห่อหุ้มด้วยกระเปาะแก้วด้านนอกและขั้วหลอด ดังภาพที่ 2-26



ภาพที่ 2-26 โครงสร้างของหลอดเมทัลฮาไลด์
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 2543

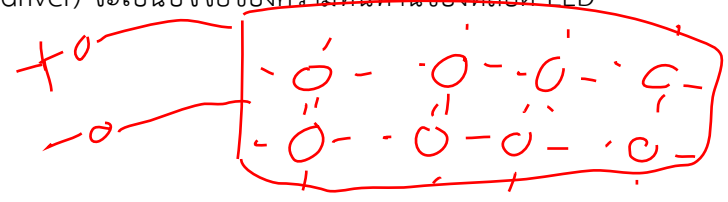
หลอดเมทัลฮาไลด์อาศัยบัลลาสต์และอิกนิเตอร์ช่วยจุดหลอด(ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ,2560) ดังภาพที่ 2-27 โดยไปกระตุ้นให้สารไอโอไดด์ (iodide) กลายเป็นไอและเปล่งแสงออกมาได้หลายช่วงความยาวคลื่นระยะเวลาที่ใช้ในการจุดหลอดประมาณ4-6นาทีจนได้แสงสว่างเต็มที่ หลังดับไฟแล้วจะใช้เวลาในการเย็นตัวประมาณ 10 - 15 นาทีเพื่อให้พร้อมในการทำงานครั้งใหม่



ภาพที่ 2-27 วงจรของหลอดเมทัลฮาไลด์
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2560

2.4.4 *หลอดแอลอีดี*

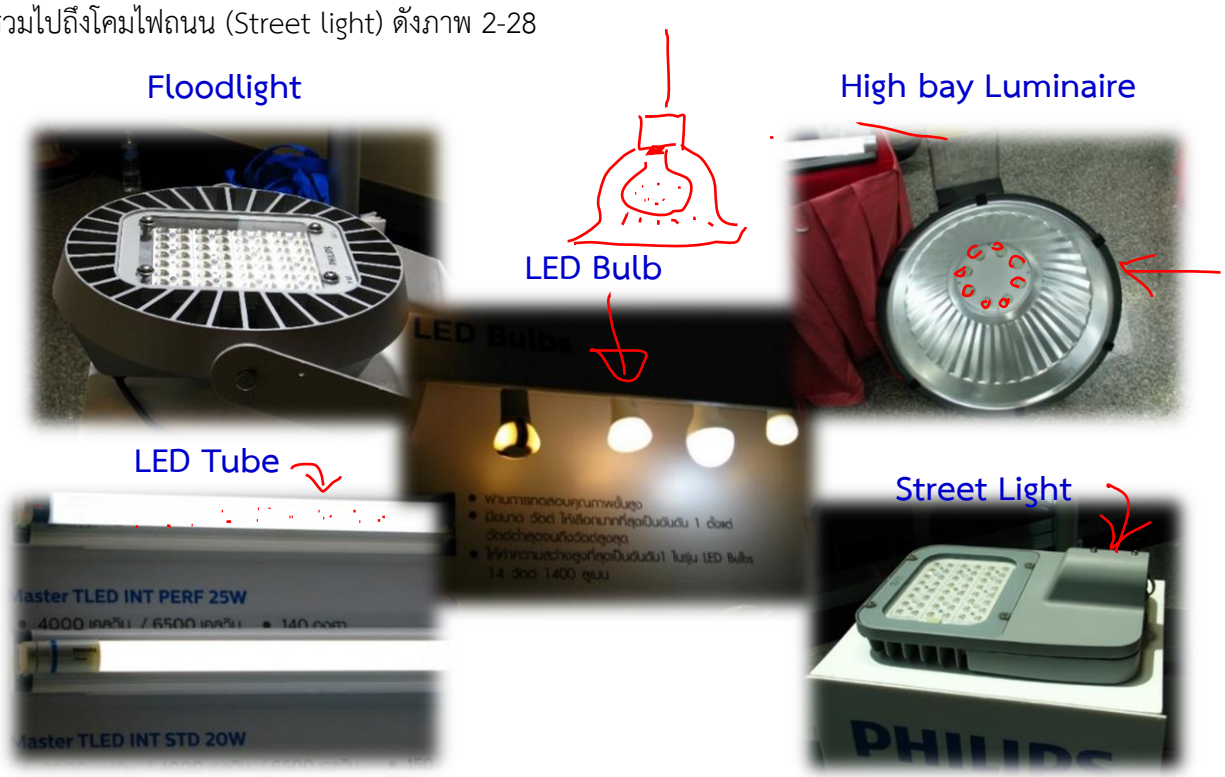
หลอดแอลอีดี (LEDlamp) เป็นหลอดไฟฟ้าที่ประกอบขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แอลอีดี (LED, Light Emitting Diode) หรือไดโอดเปล่งแสง โครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P (Positively changed material) และชนิด N (Negatively changed material) โดยมีรอยต่อ (junction) คั่นกลาง เมื่อประจุบวกและประจุลบมาออกันที่รอยต่อจนเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของความร้อนและแสงสว่าง ซึ่งเรียกว่าอิเล็กโตรลูมิเนสเซนต์ (Electroluminescence) แสงสว่างที่บริเวณที่บริเวณรอยต่อจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านอย่างพอเหมาะ หากมากเกินไปจะเกิดความร้อนสูงใช้กำลังมากขึ้น ประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำลง การระบายความร้อนให้กับตัวแอลอีดีและวงจรขับ (driver) จะเป็นปัจจัยของความทนทานของหลอด LED



หลอดแอลอีดีมีข้อดีด้านการใช้พลังงานต่ำและไม่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เป็นอันตราย จุดติดเร็ว ไม่มีประกายไฟ มีอายุการใช้งานเฉลี่ยสูงถึง 50,000 ชั่วโมง (ประมาณ 4 - 5 เท่าของหลอดฟลูออเรสเซนต์) ปัจจุบันหลอด LED ที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงระดับ 100lm/W มีใช้งานโดยทั่วไป

2.4.4.1 *สถานการณ์การใช้งานหลอดแอลอีดี*

กระแสการอนุรักษ์พลังงานทำให้หลอดแอลอีดีที่เป็นนวัตกรรมแสงสว่างล่าสุดและมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูง สามารถผลิตขึ้นมาทดแทน หลอดที่มีใช้อยู่เดิมได้ทุกประเภทแล้ว ซึ่งมีทั้งโคมสาด (flood light) สำหรับไฟส่องอาคาร ไฟสนามกีฬา ไฟงานสนาม เป็นต้น โคมไฮเบย์ (high bay) ที่ใช้กับโรงงานหรืออาคารหลังคาสูง หลอดแอลอีดี T8 ที่ใช้ทดแทนฟลูออเรสเซนต์ T8 หลอดแอลอีดี Bulb ที่ใช้ทดแทนหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ รวมไปถึงโคมไฟถนน (Street light) ดังภาพ 2-28



ภาพที่ 2-28 รูปแบบของโคมและหลอดแอลอีดี

หลอดแอลอีดีได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ ประกอบกับบริษัทผู้ผลิตออกผลิตภัณฑ์มารองรับให้เลือกใช้ได้แทบทุกประเภท แต่อาจยังมีประเด็นที่ยังต้องคิดคำนึงตามประสาชาวบ้านคือเรื่องราคาที่ยังสูง กับความสว่างที่จะได้เมื่อเปรียบเทียบกับของเดิม ซึ่งก็คือประเด็นความคุ้มค่าที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้นั่นเอง แต่โดยภาพรวม หลอดแอลอีดีได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ พบเห็นการใช้งานทั่วไปทั้งไฟส่องสว่างภายในอาคาร ไฟสัญญาณจราจร ไฟส่องสว่างถนน ไฟส่องสว่างบริเวณ ไฟส่องสว่างเพื่อความสวยงาม ส่องอาคาร สะพาน ดูเหมือนจะทดแทนได้ทุกประเภทงาน ดังภาพที่ 2-29 เป็นไฟส่องสว่างจากผลิตภัณฑ์แอลอีดีที่เราพบเห็นได้โดยทั่วไป

Traffic lights

Indoor Lighting

Street Lighting

Area Lighting

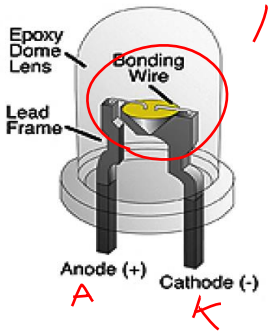
ภาพที่ 2-29 ตัวอย่างการใช้งานหลอดแอลอีดีในงานต่าง ๆ

สถานการณ์ของหลอดแอลอีดี ระยะเริ่มต้นนี้อยู่ในช่วงของการพัฒนาให้สามารถทดแทนหลอดและโคมเดิม การพัฒนาให้ได้มาตรฐานที่กำลังจะประกาศใช้ในอนาคตอันใกล้ หลังจากนั้นจะเป็นยุคการแข่งขันเรื่องราคา เนื่องจากมีผู้ผลิตมากขึ้นและเข้าสู่ยุคของการควบคุม เช่นการปรับหรี่แสง การควบคุมระยะไกลด้วยอุปกรณ์อัจฉริยะเช่นโทรศัพท์มือถือ จนกระทั่งถึงยุคแอลอีดีแบบชีวภาพ (Organic LED) เป็นวิวัฒนาการล่าสุดของการให้แสงสว่างด้วยแอลอีดีคือ OLEDs เป็นแอลอีดีที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารชีวภาพ (Organic Semiconductor) นวัตกรรมใหม่นี้มีลักษณะเป็นแผ่นสามารถโค้งงอได้ จึงโดดเด่นในแง่ของแสงสว่างเพื่อการตกแต่ง การนำเสนอข้อมูล และการให้แสงสำหรับปฏิบัติงาน ประสิทธิผลการส่องสว่างที่ทำได้ตอนนี้คือ 45 LPW ที่ 200 lumen เช่น Lumiblade ผลิตภัณฑ์ของฟิลิปส์ (ฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์, 2557) เป็นต้น

กฟผ. ได้จัดทำโครงการฉลากเบอร์ 5 สำหรับหลอดแอลอีดี ได้ออกฉลากเบอร์ 5 ให้กับหลอดประเภท MR16 PAR30/38 ขั้วเกลียว E27 และหลอด Tube T8 ผู้ผลิตหรือนำเข้าต้องส่งผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการใช้งานตาม IES LM 80-08 ผ่าน มอก.1955-2551 และผ่านเกณฑ์สมรรถนะตามที่กำหนด นอกจากเป็นการส่งเสริมการใช้งาน ยังผลักดันให้หลอดแอลอีดีได้มาตรฐานมากขึ้น

2.4.4.2 *โครงสร้างและขนาดกำลังวัตต์*

หลอดแอลอีดีมีโครงสร้างอย่างง่าย ๆ คือ ส่วนหลักคือเม็ดหรือชิพแอลอีดี (LED Chip) มีการต่อขาตัวนำให้แอลอีดีเพื่อป้อนแรงดันไบอัสเพื่อให้นำกระแสและเปล่งแสงได้ ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ เช่นเลนส์ เป็นต้นไม่มีผลต่อการทำงานแต่ช่วยเรื่องกระจายและปรับปรุงคุณภาพแสง ส่วนวงจรขับ (Driver) แจะแปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรงแรงดัน 2.5-3V ป้อนให้เม็ดแอลอีดีและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านประมาณ 20-25 mA ดังภาพที่ 2-30 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของหลอดแอลอีดี



ภาพที่ 2-30 โครงสร้างพื้นฐานของหลอดแอลอีดี

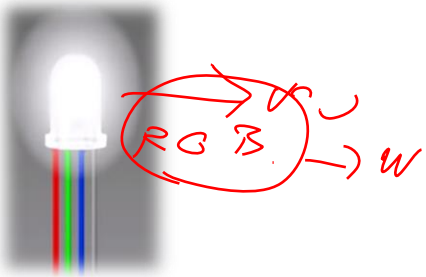
เม็ดหรือชิพแอลอีดีที่จะนำมาผลิตเป็นหลอดแอลอีดี มีขนาดกำลังต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยกำหนดค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่จะได้ เม็ดแอลอีดีจะมีขนาดกำลังวัตต์ 3 ระดับดังนี้

1. ขนาดกำลังวัตต์ต่ำ (Low Power LED) ใช้กำลังไฟฟ้า 0.3 วัตต์ ผลิตฟลักซ์ส่องสว่างได้ 1-3 ลูเมน
2. ขนาดกำลังวัตต์ปานกลาง (Medium Power LED) ใช้กำลังไฟฟ้า 0.5 วัตต์ ผลิตฟลักซ์ส่องสว่างได้ 0.1-12 ลูเมน
3. ขนาดกำลังวัตต์สูง (High Power LED) ใช้กำลังไฟฟ้า 0.5 วัตต์ ผลิตฟลักซ์ส่องสว่างได้สูงกว่า 80 ลูเมน

เม็ดแอลอีดีขนาดกำลังวัตต์ปานกลางและขนาดกำลังวัตต์สูงที่เหมาะกับการผลิตหลอดแอลอีดีที่ใช้ในการส่องสว่างแทนหลอดไฟฟ้าแบบดั้งเดิม (SolakitSettachatanan, 2014)

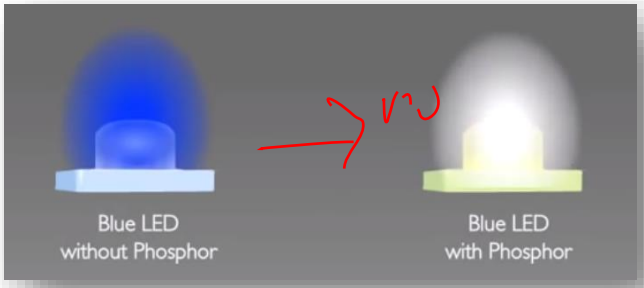
2.4.4.3 *การผสมสีของหลอดแอลอีดี*

แสงสีขาวของหลอดแอลอีดีเกิดจากการผสมสีของเม็ดแอลอีดีสีแดง เขียว และ น้ำเงิน ด้วยการผนึกลงในโมดูลเดียวกัน หรือผนึกรวมกันเป็นแอลอีดีเดี่ยวเรียกว่าอาร์จีบีแอลอีดี (RGB LED) เพื่อให้แสงสีขาวชนิดนี้มีขาแคโถดร่วมและ 3 ขาที่เหลือเป็นของแอลอีดีแต่ละสี ดังภาพที่ 2-31



ภาพที่ 2-31 โครงสร้างพื้นฐานของหลอดแอลอีดีแสงสีขาวที่ใช้แอลอีดีแบบอาร์จีบี
ที่มา : บริษัทฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย), 2558

การผลิตแสงสีขาวที่ดีจะใช้อีกวิธีคือใช้เม็ดแอลอีดีสีน้ำเงิน และใช้สารฟอสเฟอร์สีเหลืองแปลงแสงสีน้ำเงินให้เป็นสีขาว แอลอีดีแบบนี้เรียกว่าแอลอีดีฟอสเฟอร์สีขาว (White Phosphor LED) ดังภาพที่ 2-32



ภาพที่ 2-32 หลอดแอลอีดีแสงสีขาวที่ใช้แอลอีดีสีน้ำเงินและมีเลนส์เคลือบฟอสเฟอร์
ที่มา : บริษัทฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย), 2558

2.4.4.3 *โคมแอลอีดี*

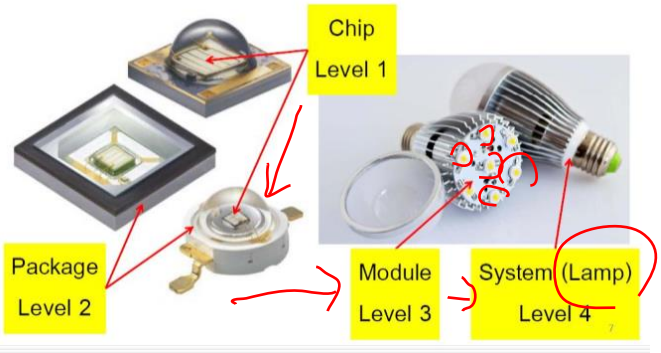
โคมแอลอีดี เป็นการเรียกโดยรวมทั้งผลิตภัณฑ์แอลอีดีที่มีลักษณะเป็นหลอดหรือเป็นโคมสำเร็จรูป เช่น หลอดชนิดกระเปาะ (bulb) หรือแบบท่อตรง (tube) และหลอดแอลอีดีที่มีลักษณะเป็นโคม (ไม่ได้ผลิตเป็นหลอดแล้วใส่ไปในโคมเช่นหลอดแบบดั้งเดิม) เช่น โคมไฟถนน โคมฉาย โคมไฮเบย์ เป็นต้น ในภาพที่ 2-33โคมแอลอีดีประกอบขึ้นโดยเริ่มจากโครงสร้าง 4 ระดับ ดังนี้

1. ชิพแอลอีดี (LED Chip) หรือเม็ดแอลอีดี คือแอลอีดีที่ติดตั้งลงบนแผ่นปรินท์ด้วยเทคโนโลยีติดตั้งบนพื้นผิว (Surface Mounted Technology) จำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแบบหรือหลอดที่จะนำไปใช้งาน

2. แพ็กเกจแอลอีดี (LED Package) คือการประกอบชิพเข้ากับเลนส์เพื่อกระจายแสงและทำจุดต่อเข้ากับวงจรขับ (driver)

3. โมดูลแอลอีดี (LED Module) คือการติดตั้งแพ็กเกจแอลอีดีกระจายบนระนาบการกระจายแสงของหลอด

4. หลอดแอลอีดี (LED Lamp or System) คือหลอดหรือโคมทั้งหมด ประกอบกันขึ้นด้วยส่วนโมดูล แหล่งจ่าย ฝาครอบภายนอก ตัวถังและขั้วหลอด จนเป็นหลอดหรือโคมแอลอีดีที่เราใช้งานได้เช่นหลอดหรือโคมไฟฟ้าทั่วไป



ภาพที่ 2-33 โครงสร้าง 4 ระดับของหลอดแอลอีดี
ที่มา : สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2558

2.4.4.4 *การจัดแบ่งประเภทของหลอดแอลอีดี*

เพื่อประโยชน์ในการแยกแยะ ในระยะเริ่มต้นนี้หลอดแอลอีดีถูกจัดแบ่งประเภทเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 2-34 ดังนี้

1. หลอดแอลอีดีรูปทรงมาตรฐาน แบบไม่บังคับทิศทางแสง (Non-directional light) เป็นกลุ่มที่สร้างมาทดแทนหลอดไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพค มีรูปทรงแบบกระเปาะ (bulb) (ภาพ ก)
2. หลอดแอลอีดีรูปทรงมาตรฐาน แบบบังคับทิศทางแสง (Directional light) เป็นโคมจำพวกไฮเบย์ หลอดพาร์ หลอดเอ็มอาร์ (ภาพ ข)
3. หลอดแอลอีดีท่อตรง (Tube) เป็นหลอดที่จะนำมาใช้แทนฟลูออเรสเซนต์ (ภาพ ค)
4. หลอดแอลอีดีรูปทรงไม่มาตรฐานมีรูปร่างไม่เหมือนหลอดรูปทรงมาตรฐานที่ใช้แพร่หลายทั่วไป (ภาพ ง)

ก ข ค ง

ภาพที่ 2-34 การจัดแบ่งประเภทของหลอดแอลอีดี
ที่มา : สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2557

สำหรับหลอดแอลอีดีท่อตรง (LED Tube) ในที่นี้จะเรียกหลอดแอลอีดี T8 เป็นหลอดแอลอีดีที่ผลิตขึ้นมาเพื่อทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ประกอบขึ้นด้วยชิพแอลอีดีเรียงกันเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้ฟลักซ์ส่องสว่างที่ต้องการ เช่น ขนาด 18 W มีจำนวนแอลอีดีจำนวน 270 ตัว แต่ละตัวมีฟลักซ์ส่องสว่าง 6 - 7 lm จะได้ฟลักซ์ส่องสว่างประมาณ 1,600 - 1,900 lm เป็นต้น

หลอดแอลอีดี T8 มีอายุการใช้งานสูงถึง 50,000 ชั่วโมง ยังต่ำกว่าเฉพาะหลอดเหนี่ยวนำซึ่งมีอายุการใช้งานหลักแสนชั่วโมง อุณหภูมิใช้งาน -20 ° C ถึง 60 ° C มีจุดเด่นคือจุดติดทันที ไม่กระพริบ ไม่มีสารโลหะหนัก

โดยข้อจำกัดทางกายภาพเนื่องจากแสงจากแอลอีดีชิพกระจายออกมาได้เฉพาะด้านหน้า ทำให้แสงจากหลอดแอลอีดีมีลักษณะพุ่งออกในทิศทางเดียว ไม่สามารถใช้แผ่นสะท้อนแสงด้านหลังช่วยกระจายแสงได้ เช่น หลอดแอลอีดี T8 ที่ จะนำมาแทนฟลูออเรสเซนต์ T8 เป็นต้น จึงเป็นความท้าทายที่ผู้ผลิตจะสามารถทำให้แสงกระจายได้กว้างและมีฟลักซ์ส่องสว่างเพียงพอกับโครงสร้างของหลอด T8 พร้อมทั้งคำถามอื่น ๆ เช่นความถูกต้องของสี การป้องกันอันตรายจากแสงสีฟ้า (Blue Light Hazard) เป็นต้น

หลอดแอลอีดีในปัจจุบันสามารถสร้างให้มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างสูงขึ้นเป็นลำดับ กระทั่งสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ดั้งเดิม ดังภาพ 2-35 หลอดแอลอีดี T8 18 วัตต์ 1,800 lm มีประสิทธิผลการส่องสว่าง 100 lm/W ขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 36 วัตต์ (ขั้วเขียว) 3,250 lm ซึ่งเป็นรุ่นที่มีฟลักซ์ส่องสว่างสูงสุด มีประสิทธิผลการส่องสว่าง 90lm/W

ภาพที่ 2-35 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 และ หลอดแอลอีดี T8

ข้อคิดคำนึง

แม้ว่าหลอดแอลอีดี T8 18 วัตต์ จะมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 36 วัตต์ แต่หลอดแอลอีดี T8 มีฟลักซ์ส่องสว่างต่อหลอดเพียง 1,800 lm คิดเป็น 55.4 % ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ที่มีฟลักซ์ส่องสว่าง 3,250 lm การใช้หลอดแอลอีดีทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์จะต้องทำด้วยความระมัดระวังและพิจารณาองค์ประกอบอื่น เช่น ความส่องสว่างที่จะได้ใหม่เป็นต้น

ตัวอย่างหลอดแอลอีดีแบบกระเปาะ ขั้ว E27 ขนาด 5 วัตต์ 500 lm มีประสิทธิผลการส่องสว่าง 100 lm/W ในขณะที่หลอดคอมแพคขั้วชนิดเดียวกัน ขนาด 8 วัตต์ 475 lm มีประสิทธิผลการส่องสว่างเพียง 59 lm/W ในภาพที่ 2-36 เป็นตัวอย่างหลอดทั้งสองชนิดที่มีวางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า

ภาพที่ 2-36 ตัวอย่างหลอดคอมแพคขั้ว E27 และ หลอดแอลอีดีแบบกระเปาะขั้วชนิดเดียวกัน

2.4.4.5 *มาตรฐานสำหรับหลอดแอลอีดี*

ในขณะที่ประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับผลิตภัณฑ์แอลอีดีโดยตรง หลอดแอลอีดีที่จำหน่ายและควรพิจารณานำมาใช้นั้น ควรได้มาตรฐานอื่นที่ที่เป็นที่ยอมรับ เพื่อรับประกันด้านคุณสมบัติสมรรถนะ ความปลอดภัย และ ด้านการป้องกันสัญญาณรบกวนดังตารางที่ดังนี้

ตารางที่ มาตรฐานที่ควรมีของผลิตภัณฑ์แอลอีดี

คุณสมบัติมาตรฐาน	ตัวอย่างมาตรฐาน	รายละเอียด
ด้านสมรรถนะ	IEC 62612	สำหรับหลอดแอลอีดีชนิดมีบัลลาสต์ในตัวแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 50 โวลต์
	IEC/PAS 62722-2-1 (Pre-standard)	สำหรับโคมไฟแอลอีดี
	IES LM 79-08	กำหนดวิธีการวัดคุณสมบัติด้านไฟฟ้าและด้านแสง

		สำหรับโคมไฟแอลอีดีหรือผลิตภัณฑ์แอลอีดีทั้งระบบ
	IES LM 80-08	กำหนดวิธีการวัดการคงความสว่างของเม็ดแอลอีดี (อายุการใช้งาน)
ด้านความปลอดภัย	IEC 62560	สำหรับหลอดแอลอีดีชนิดมีบัลลาสต์ในตัว แรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 50 โวลต์
	ANSI/UL1993-2009	สำหรับแอลอีดีที่มีบัลลาสต์ในตัว แรงดันไฟฟ้า 120 ถึง 347 โวลต์
มาตรฐานด้านสัญญาณรบกวน	FCC 47 CFR part 15	ขีดจำกัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (อเมริกา)
	TIS.1955-2551	ขีดจำกัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (มาตรฐานอุตสาหกรรมของไทย)
	IEC CISPR15	ขีดจำกัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (มาตรฐานนานาชาติ)

จากตาราง มาตรฐานที่ควรมีเพื่อรับรองคุณภาพเรื่องกำลังไฟฟ้าที่ใช้และฟลักซ์ส่องสว่างที่จะได้รับ ความปลอดภัยสำหรับการใช้งาน และการป้องกันสัญญาณรบกวน อย่างน้อยด้านละมาตรฐานที่ทดแทนกันได้ คือ

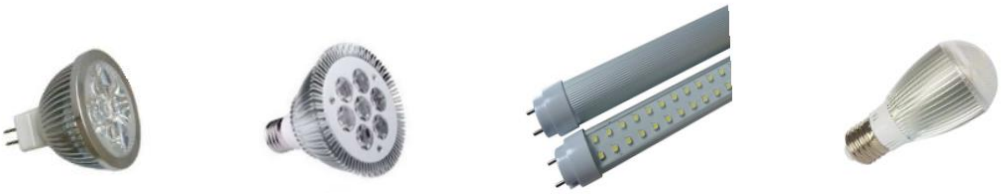
- IES LM 79-08 เพื่อรับรองคุณสมบัติด้านไฟฟ้า ฟลักซ์ส่องสว่างที่จะได้รับ รวมทั้งมาตรฐานของตัวผลิตภัณฑ์แอลอีดีทั้งระบบ
- IES LM 80-08 เพื่อรับรองอายุการใช้งานที่เสนอขาย เพื่อความคุ้มค่าของการใช้งาน
- IEC 62560 เพื่อรับรองความปลอดภัยในการใช้งาน
- TIS.1955-2551 เป็นมาตรฐานของไทยด้านการป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในปัจจุบัน (ปี 2560) มีแล้วเป็นพื้นฐาน ส่วนมาตรฐานข้างต้นอีก 3 มาตรฐานยังไม่มีข้อมูลว่ามีรายใดที่ได้

2.4.5.5.1 โครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5

เพื่อใช้ทดแทนมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ยังไม่มี เพื่อกระตุ้นให้มีปริมาณการใช้งานให้มากขึ้นและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของประเทศ จึงมีโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 สำหรับผลิตภัณฑ์แอลอีดีของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ผลิตภัณฑ์ที่จะได้ฉลากจะต้องผ่านเกณฑ์และมาตรฐาน IES LM 80-08 และ มอก. 1955 – 2551 ในเบื้องต้นและจะต้องผ่านการทดสอบด้วยมาตรฐาน IES LM 79-08 และ IEC/PAS 62612:2009 ของโครงการ หากผลิตภัณฑ์ใดได้ฉลากนี้ ในประเด็นการอนุรักษ์พลังงานนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดี หากมีมาตรฐานด้านความปลอดภัยรองรับอีกหนึ่งมาตรฐาน จะเป็นผลิตภัณฑ์แอลอีดีที่มีคุณสมบัติที่ดีมาก ผู้ใช้สามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์

ที่ได้ฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 จากเว็บไซต์ของ กฟผ. ที่ http://labelno5.egat.co.th/new58/?p=1442 ซึ่งนับได้ล่าสุด 344 รายการ (นับจากรุ่นที่ทดสอบ)

ชนิดของหลอดที่ได้จัดทำโครงการฉลากเบอร์ 5 มี 4 ชนิดคือ MR16 PAR30/PAR38 Bulb E27 และ Tube T8



MR16 PAR30/PAR38 Tube T8 Bulb E27

ภาพที่ 2-37 ประเภทของหลอดแอลอีดีที่มีฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5

2.4.5.5.2 ข้อคำนึงก่อนใช้งานหลอดแอลอีดี

ในยุคเริ่มต้นของการใช้งานหลอดแอลอีดี และในขณะที่ยังไม่มีมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ประกาศใช้นี้ การใช้หลอดแอลอีดีทดแทนหลอดเดิม ๆ มีข้อควรพิจารณา ใน 5 ประเด็นเป็นพื้นฐาน ดังนี้

- คุณภาพของการส่องสว่างก่อนและหลังการปรับปรุง
- ฟลักซ์ส่องสว่างที่พอเพียงของหลอดที่จะเปลี่ยนใส่
- การปรับปรุงแก้ไขวงจร
- ศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงาน
- มาตรฐานที่รองรับหลอดแอลอีดี

1. คุณภาพของการส่องสว่างก่อนและหลังการปรับปรุง

มาตรการอนุรักษ์พลังงานจะต้องได้มาตรฐานด้านแสงสว่างเพื่อให้เกิดประสิทธิผลของงาน ความปลอดภัย และความสะดวกสบายเช่นเดิม ทั้งความส่องสว่าง สีของแสง (อุณหภูมิสี) ความถูกต้องของสี ความสม่ำเสมอของแสง ความสบายตา (แสงบาดตา) เป็นต้น โดยเฉพาะประเด็นความส่องสว่างสำหรับการปฏิบัติงาน เช่นการเรียนการสอน อุตสาหกรรมการผลิต งานสำนักงาน เป็นต้น ความส่องสว่างจะต้องได้มาตรฐานหรือจะต้องไม่ต่ำกว่าเดิม อาจมีบางกรณีหลังการปรับปรุงระบบ หากความส่องสว่างลดลงจากเดิมไม่มากนักและยังได้มาตรฐานถือเป็นกรณีที่ยอมรับได้

2. ฟลักซ์ส่องสว่างที่พอเพียงของหลอดที่จะเปลี่ยนใส่

ประสิทธิผลการส่องสว่างที่สูงกว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของหลอดที่จะติดตั้งทดแทนหลอดเดิมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน แต่หากใช้หลอดที่มีฟลักซ์ส่องสว่างต่ำกว่าหลอดเดิมอาจทำให้ความส่องสว่างไม่ได้มาตรฐาน เช่นกรณีหลอดแอลอีดี Tube T8 ขนาด 18 วัตต์ 1,800 lm มีประสิทธิผลการส่องสว่าง 100 LPW เมื่อเปลี่ยนแทนฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ 2,600 lm 56.5 LPW (ใช้กับบัลลาสต์แกนเหล็ก) มีแนวโน้มจะได้ความส่องสว่างเพียง 69 % ของระบบเดิม เพราะฟลักซ์ส่องสว่างที่ได้ใหม่มีค่าเพียง 69 % ของหลอดเดิมนั่นเอง ข้อคำนึงนี้ยังรวมไปถึงกรณีไฟส่องสว่างเพื่อการปฏิบัติงานอื่น ๆ ที่ต้องการความส่องสว่างตามมาตรฐาน ยกเว้นกรณีไฟส่องสว่างบริเวณ หรือไฟส่องสว่างเพื่อความปลอดภัยที่ไม่มีผู้ปฏิบัติงาน เช่น ไฟซุ้มประตู รอบกำแพง ทางเดิน ความส่องสว่างอยู่ระกว่าง 50 – 100 ลักซ์ เมื่อให้ความสำคัญด้านการอนุรักษ์พลังงาน การถอดเปลี่ยนอาจใช้เกณฑ์อย่างง่าย จากเอกสารแนะนำสินค้าโดยผู้ผลิต เช่น หลอดไส้ขนาด 35 วัตต์ ใช้หลอดคอมแพคขนาด 7 วัตต์ หลอดแอลอีดีแบบกระเปาะ ขนาด 3 วัตต์ ทดแทน เป็นต้น ดังตาราง 2-1

ตารางที่ 2-1 ขนาดของหลอดขั้ว E27 ที่สามารถทดแทนกันได้

ชนิดหลอดไฟ	ขนาดที่ทดแทนกันได้ (วัตต์)					
หลอดไส้	35	50	70	90	120	150
หลอดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์	7	11	15	19	25	31
หลอดแอลอีดีแบบกระเปาะ	3	5	7	9	12	15

ที่มา : เอกสารแนะนำสินค้าโดยผู้ผลิต, 2559

3. การปรับปรุงแก้ไขวงจร

กรณีเปลี่ยนเฉพาะหลอดแต่ยังใช้โคมเดิมของระบบจะไม่สามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่มีการปรับปรุงวงจรใด ๆ การแก้ไขวงจรมีความจำเป็น เช่นกรณีใช้หลอดแอลอีดี Tube T8 แทนฟลูออเรสเซนต์ T8 จะต้องถอดสตาร์ทเตอร์ออกและควรถอดหรือลัดวงจรที่ขั้วบัลลาสต์ทั้งบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดการสูญเสียที่ไม่จำเป็นและเพื่อการทำงานที่ถูกต้องของวงจร การดำเนินการนี้จำเป็นต้องอาศัยช่างเทคนิคซึ่งอาจมีต้นทุนการดำเนินการเพิ่มขึ้น ส่วนโคมไฟถนนนั้นไม่มีปัญหานี้เนื่องจากถอดเปลี่ยนทั้งโคม

สำหรับหลอดคอมแพคหรือหลอดไส้ที่ใช้ขั้ว E27 สามารถใช้หลอดแอลอีดีแบบกระเปาะ ขั้ว E27 แทนได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนวงจรใด ๆ เนื่องจากวงจรขับของหลอดเดิมและหลอดที่จะเปลี่ยนใส่ติดตั้งภายในหลอด (built in) ทั้งสองชนิด

4. ศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงาน

ค่าพลังงานส่วนต่างที่จะลดลงเป็นประเด็นสำคัญที่จะแสดงถึงความคุ้มค่าของการลงทุน หากระบบเดิมติดตั้งด้วยอุปกรณ์ที่ให้ประสิทธิภาพพลังงานต่ำ การปรับปรุงระบบจะทำให้มีส่วนต่างของพลังงานมาก แสดงว่าระบบมีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานสูง การวิเคราะห์ก่อนดำเนินการโดยทั่วไปจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน (payback period) หากมีระยะเวลาคืนทุนไม่นานนักโดยทั่วไปไม่ควรเกิน 3 ปี แต่หากมีข้อสัญญาหรือการรับประกันสินค้าตลอดช่วงระยะเวลาคืนทุน ก็นับเป็นข้อเสนอที่ดี

ควรพิจารณาอย่างรอบคอบหากบริษัทผู้ผลิตแสดงข้อมูลการอนุรักษ์ด้วยค่ากำลังหรือพลังงานส่วนต่างที่สูงและระยะเวลาคืนทุนที่สั้น ด้วยการคิดจากฐานของอุปกรณ์เดิมที่ประสิทธิภาพพลังงานต่ำเช่น จากชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์กับบัลลาสต์แกนเหล็ก หรือเทียบกับหลอดไส้ เป็นต้น แต่ความจริงระบบเดิมมีอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูงอยู่แล้วเช่น ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 อยู่แล้วเป็นต้น ค่าพลังงานส่วนต่างอาจไม่มากนัก ระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้อาจสูงจนขาดแรงจูงใจ นั่นหมายถึงระบบมีศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานต่ำ หมายความว่าระบบมีประสิทธิภาพพลังงานสูงอยู่แล้วอาจไม่ต้องปรับปรุงใด ๆ อีก

5. มาตรฐานที่รองรับหลอดแอลอีดี

มาตรฐานที่ใช้กับหลอดแอลอีดีที่จำหน่ายในประเทศไทยยังอยู่ระหว่างดำเนินการ โดยสำนักมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ขณะนี้มีเฉพาะโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 ของ กฟผ. ซึ่งได้เป็นบางรุ่น บางยี่ห้อ ส่วนมาตรฐาน 1955-2551 ที่ติดบนผลิตภัณฑ์หลอดแอลอีดีในขณะนี้ เป็นมาตรฐานด้านขีดจำกัดการแพร่สัญญาณออกมารบกวนคลื่นวิทยุ ไม่เกี่ยวข้องกับคุณภาพหลักของหลอดแอลอีดี เช่น อายุการใช้งาน (lifetime) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของกระแส (Total Harmonic Current Distortion, THDi) การป้องกันไฟเกินชั่วขณะ (Surge Protection) ฟลักซ์ส่องสว่าง มุมกระจายแสง อุณหภูมิสี ความถูกต้องของสี ความปลอดภัยจากการสัมผัสไฟฟ้า อันตรายจากแสงสีฟ้า (blue light

hazard) ที่มีผลต่อความเสื่อมของจอประสาทตา เป็นต้น ยกเว้นกรณีที่บริษัทผู้ผลิตได้อ้างมาตรฐานของต่างประเทศที่สามารถเทียบเคียงได้ทั้งด้านความปลอดภัยและสมรรถนะของหลอดให้พิจารณา

สรุป

ประเด็นการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน คุณสมบัติที่สำคัญลำดับต้น ๆ คือประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดและอายุการใช้งาน และหากพิจารณาทั้งสองประเด็นรวมกันจะเป็นข้อมูลที่ชี้ชัดได้ว่าหลอดใดมีความคุ้มค่ามากกว่า ในตารางที่ 2-2 เป็นข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิผลการส่องสว่างและอายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาเลือกซื้อและนำไปใช้งาน เป็นค่าที่ระบุโดยประมาณซึ่งอาจแตกต่างกันได้ในแต่ละยี่ห้อ รุ่นและขนาด ค่าที่แท้จริงควรพิจารณาจากข้อมูลหลอดโดยตรง

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบอายุการใช้งานและประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

อายุการใช้งาน (Hr)	2,500	5,000	7,500	10,000	12,500	15,000	17,500	20,000	22,500	25,000
ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
ชนิดหลอด										
หลอดอินแคนเดสเซนต์										
หลอดฮาโลเจน										
หลอดฟลูออเรสเซนต์										
หลอดโซเดียมความดันต่ำ										
หลอดไอปรอท										
หลอดเมทัลฮาไลด์										
หลอดโซเดียมความดันสูง										
หลอดแอลอีดี										
หลอดเหนี่ยวนำ										

หมายเหตุ :หลอดแอลอีดีมีและหลอดเหนี่ยวนำมีอายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง และ 100,000 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากตารางที่ 2-2 จะพบว่าหลอดที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงสุดคือหลอดโซเดียมความดันต่ำ รองลงมาคือหลอดเหนี่ยวนำ หลอดโซเดียมความดันสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดแอลอีดี หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไอปรอท หลอดฮาโลเจน และหลอดอินแคนเดสเซนต์ซึ่งมีค่าต่ำสุด ด้านอายุการใช้งานหากไม่นับหลอดเหนี่ยวนำชนิด

100,000 ชั่วโมง หลอดที่มีอายุการใช้งานนานที่สุดคือหลอดแอลอีดี รองลงมาเป็นหลอดตระกูลโซเดียมทั้งสองชนิด หลอดไอปรอท หลอดเมทัลฮาไลด์และฟลูออเรสเซนต์ หลอดฮาโลเจน และต่ำที่สุดก็คือหลอดอินแคนเดสเซนต์

เอกสารอ้างอิง

[1] บริหารโครงการประหยัดพลังงาน จำกัด.บริษัท. (2560). [Online], AvailableHTTP:http://www.thaitechno.net/t1/productdetails.php?id=60618&uid=38417

[2] ชไนเดอร์ไลท์ จำกัด. บริษัท. (2560). [Online], AvailableHTTP:http://www.schneider-light.com/th/index.php?mode=Comparison

[3] ฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย).บริษัท. (2557). **สไลด์ประกอบการบรรยาย : LED for lighting application 2014**. โดยSolakitSettachatanan

[4] ฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย). บริษัท. (2557). **วีดีทัศน์เรื่อง Light Emitting Diod (LED).**[Online], AvailableHTTP:www.lightingphilips.co.th

[5] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. (2558).**สไลด์เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องมาตรฐานการทดสอบแอลอีดี**โดยนายพงศ์พัฒน์พันฐ์เพียรผู้จัดการกลุ่มทดสอบด้านแสงเสียงและงานสอบเทียบ.

[6] Edison Ttech Center. (2017). **Induction Lamps**. [Online], AvailableHTTP:http://www.edisontechcenter.org/InductionLamps.html

[7] NDO Lighting LTD. Company. (2517) [Online], AvailableHTTP:http://indolighting.com/induction-lighting-an-overview/