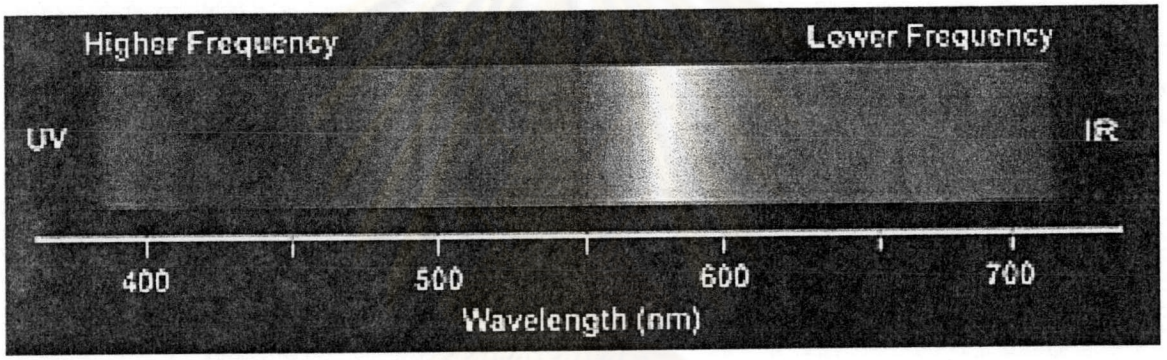
บทที่ 2

ทฤษฎี และ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 การส่องสว่างพื้นฐาน

นิยาม แสงคือพลังงานรูปแบบหนึ่ง เช่นเดียวกับพลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า แสงสามารถเคลื่อนที่ได้ในรูปของคลื่น พลังงานที่เคลื่อนที่ได้เหล่านี้จะถูกกำหนดโดยความถี่(Hz) และความยาวคลื่น (nm) เมื่อพิจารณาพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุด จนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นสูง โดยแสงเป็นแถบพลังงานแถบหนึ่ง ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380 - 760 nm พลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวช่วยให้เกิดการเห็นพลังงานอื่น



รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นต่าง ๆ เรียงลำดับความยาวคลื่น

2.2 พฤติกรรมของแสง

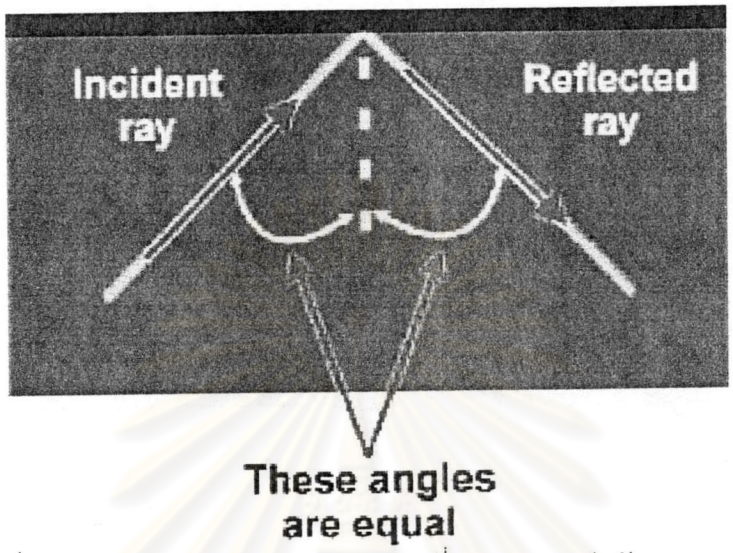
เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านตัวกลาง (medium) ชนิดต่าง ๆ เช่น อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง ฯลฯ ทางเดินหรือพฤติกรรมของแสงจะเปลี่ยนไปเมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น มีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.2.1 การดูดกลืน (absorption)

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง (medium) และเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน(heat)

2.2.2 **การสะท้อน** (reflection)

เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนไป ลักษณะของการสะท้อนสามารถพิจารณาออกได้เป็น

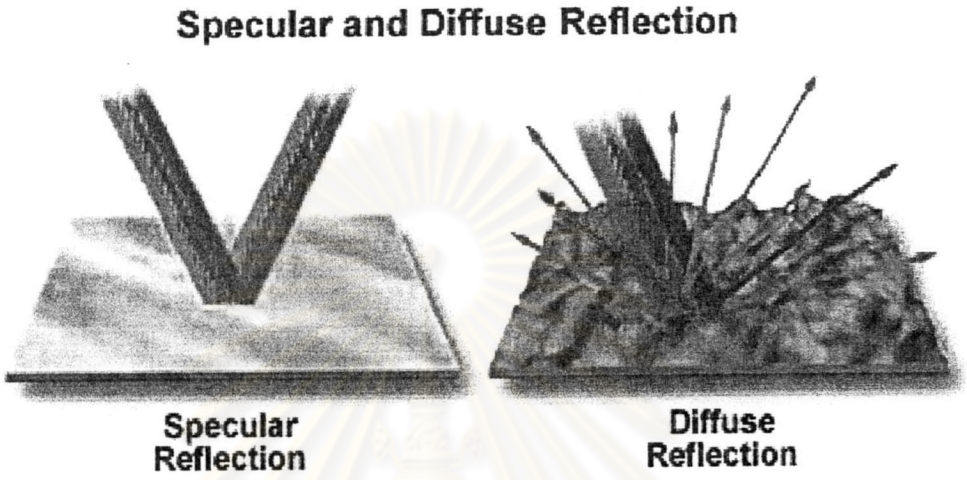


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของมุมของแสงที่ตกกระทบเท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน

- การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบลงบนตัวกลางที่เป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (polish surface) การสะท้อนจะมีลักษณะของมุมของแสงที่ตกกระทบ (angle of incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน angle of reflection)

- การสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบลงบนวัตถุที่ทึบแสงที่มีผิวหยาบไม่เรียบสม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะถูกสะท้อนออกไปในหลาย ๆ ทิศทาง ซึ่งส่วนใหญ่มุมของแสงที่สะท้อนที่กระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบ และหากผิววัตถุที่ไม่เรียบนั้นมีลักษณะไม่เรียบแบบสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (perfectly diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการกระจายแสงแบบสมบูรณ์ (perfect diffuse reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่า ๆ กันในทุกมุมสะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบ แบบไม่สม่ำเสมอ (semi diffuse surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (semi diffuse reflection)

แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection)และการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection)



รูปที่ 2.3 แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย

- สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ(reflectance,ρ) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณแสง (luminous flux)ที่สะท้อนออกจากพื้นผิวต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้นๆ หรือ ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ ต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้น ไม่มีหน่วย แต่เราสามารถเทียบได้เป็นเปอร์เซ็นต์ได้

2.2.3 **การส่องผ่าน** (transmission)

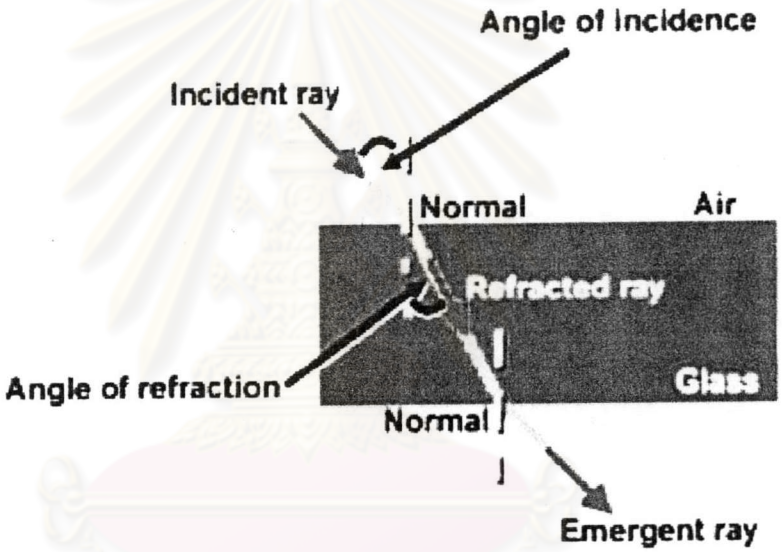
เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลาง (medium) แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติหรือลักษณะของตัวกลางที่แสงผ่านแล้ว มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่าน และแสงที่ทะลุผ่านจะมีปริมาณของแสงคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อมุมตกกระทบตัวกลางที่แสงสามารถส่องผ่านได้ใด ๆ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับและส่วนที่เหลือจะทะลุผ่านหมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับ รวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

absorbtance + reflectance + transmittance = 1

ลักษณะการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของตัวกลางดังนี้

- ตัวกลางโปร่งใส (transparent medium) การส่องผ่านลักษณะนี้แสงจะเกิดการหักเห (refracted) หรือเปลี่ยนทิศทางขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน ตัวกลางจำพวกนี้ เช่น กระจกใส เป็นต้น

- ตัวกลางโปร่งแสง (translucent medium) การส่องผ่านของแสงลักษณะนี้แสงที่ส่องผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจาย (diffuse transmission) และในกรณีนี้จะไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 2.4 แสดงการส่องผ่าน

2.3 **ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง** (Illumination)

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่ใดๆ เป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตาทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่นั้นๆ เรียกว่า **การส่องสว่าง** (illumination) ซึ่งมีนิยามที่เกี่ยวข้องกับการส่องสว่างดังนี้

2.3.1 **ปริมาณแสง** (luminous flux)

คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง (light output) ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงาน หรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสง (power of light source) ใดๆ ในรูปของเส้นแรงปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen)

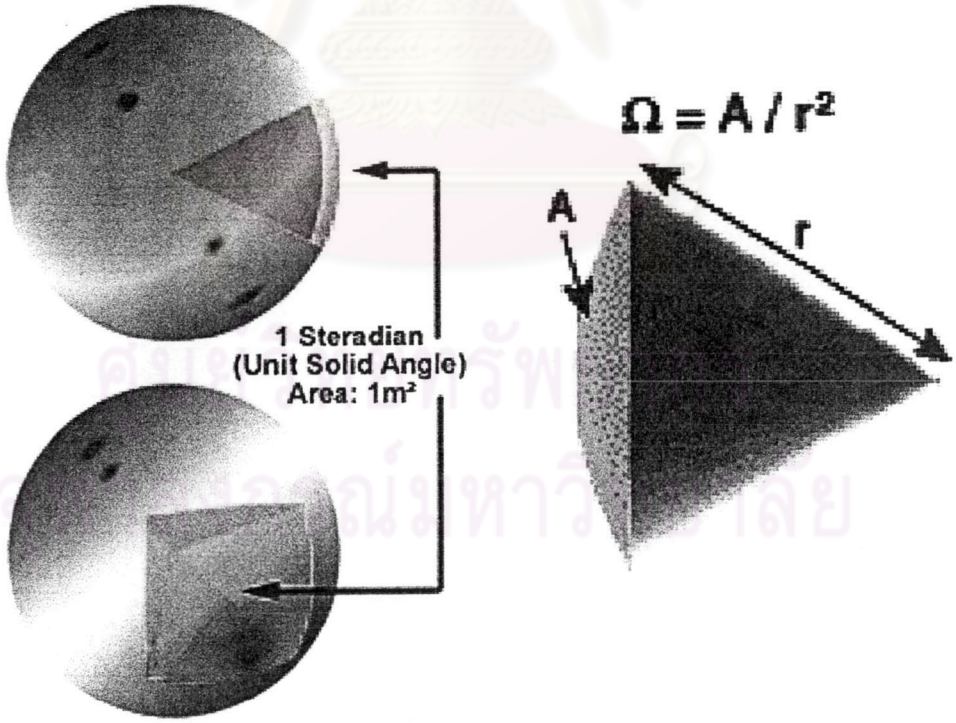
2.3.2 solid angle (ω)

เป็นการวัดส่วนหนึ่งของพื้นผิวทรงกลมที่ครอบคลุมด้วยพื้นที่รูปทรงกรวยสมมติที่มีส่วนแหลมสุดของกรวยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้นๆ หรือ คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลม ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (steradian) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Solid Angle } (\omega) = A / R2 \text{ steradian}$$

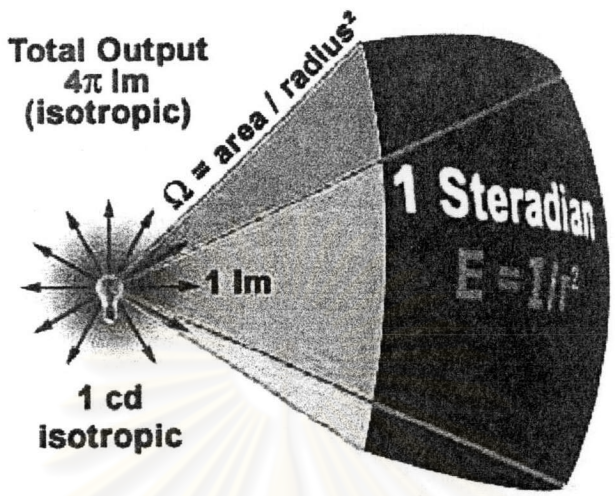
โดย A คือ พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

R คือ รัศมีของทรงกลม



รูปที่ 2.5 แสดง Solid Angle

Solid angle มีค่าเท่ากับ 1 สเตอเรเดียน และมีลักซ์ของแสงเท่ากับ 1 ลูเมนต่อสเตอเรเดียน



รูปที่ 2.6 แสดงค่ามุม 1 สเตอเรเดียน

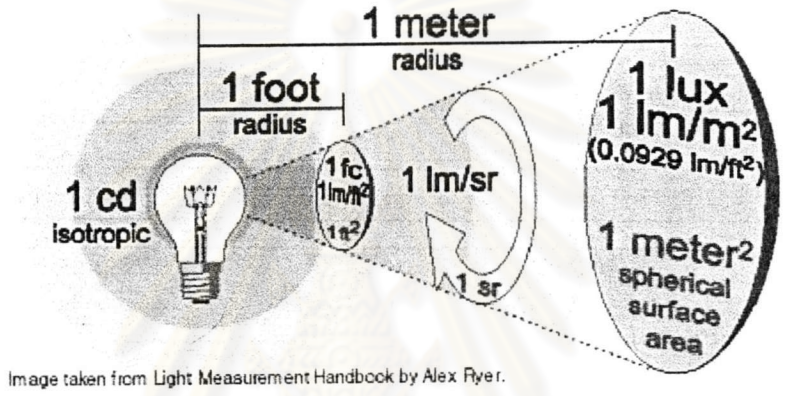
2.3.3 **ความเข้มแห่งการส่องสว่าง** (Luminous intensity)

คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงใน solid angle ใดๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เป็นการบอกค่าความมากน้อยของพลังงาน หรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง (luminous intensity) หรือบางทีเรียกว่า กำลังส่องสว่าง (candlepower) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (candela) หรือ ลูเมนต่อสเตอเรเดียน (lumen per steradian)ซึ่งในการพิจารณาลักษณะนี้ใช้สำหรับการพิจารณา แหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมากจนถือว่าแหล่งกำเนิดแสงนั้นเป็นจุด (point source)

หากพิจารณาโดยการนำแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมากจนเหมือนจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง สม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่ บนพื้นผิวของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (lumen)และเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย มีค่าเทากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลาจะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ เท่ากับ 12.57 ลูเมน

2.3.4 **ความส่องสว่าง** (Illuminance)

ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบน พื้นที่1 หน่วยใด ๆ ผลที่ได้ คือ ความส่องสว่างมีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit of area) หากพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในทรงกลม ที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งไปตกลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตาราฟุตหรือ 1 ฟุตแคนเดิล (foot-candle) ในทำนองเดียวกัน หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตรหรือ 1 ลักซ์ (lux)



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง candelas, lumens, lux and foot - candles

เมื่อกำหนดให้จุดแหล่งกำเนิดแสงที่กำลังส่องสว่างสม่ำเสมอ 1 แคนเดลา อยู่ ณ. จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 เมตร หรือ 1 ฟุต โดยถือว่าค่าการสะท้องแสงที่ผิวของทรงกลมมีค่าเป็นศูนย์

ความสว่างที่เกิดบนจุดใด ๆ ของทรงกลมมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตรและความสว่างที่เกิดบนจุดใด ๆ ของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิลหรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หากรัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 ฟุต

2.3.5 **การส่องสว่างและกฎกำลังสองผกผัน**

ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนพื้นที่ผิวใด ๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผันผกผันกับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น ลักซ์หรือ ฟุตแคนเดิล เขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$E = I / d^2$$

โดย E คือ ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็นลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างของ แหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่พุ่งไปในพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น แคนเดลา

d คือ ระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็น เมตร หรือ ฟุต

2.4 แหล่งกำเนิดแสง

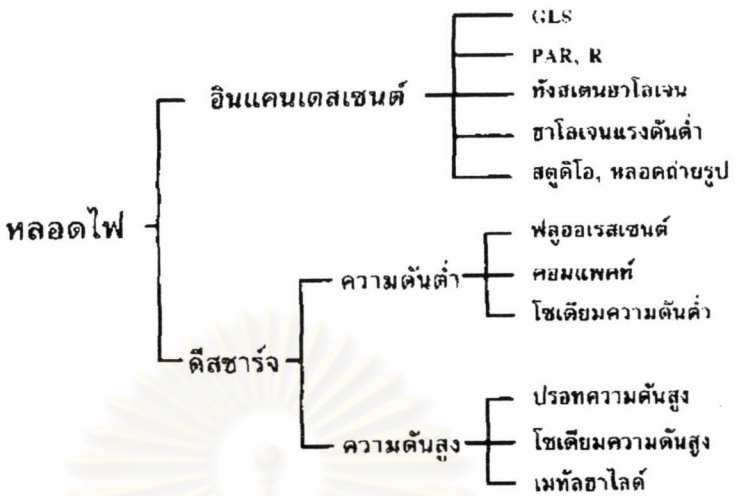
หลอดไฟฟ้า (lamps)

หลอดไฟฟ้ามีหลายประเภท ซึ่งในแต่ละประเภทต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป โดยที่การนำไปใช้งานจะเป็นตัวกำหนดชนิดของหลอดไฟ เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ เช่น ถ้าต้องการความถูกต้องของสี ก็ควรเลือกใช้หลอดประเภทหนึ่ง ถ้าต้องการอายุการใช้งานที่ยาวนานอาจจะต้องเลือกใช้หลอดอีกประเภทหนึ่ง

การแบ่งประเภทของหลอดไฟ หลอดไฟฟ้าแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆได้ดังนี้

- หลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือ หลอดมีไส้ มีอายุการใช้งานสั้น ให้แสงสีอบอุ่น

- หลอดดีสชาร์จ เป็นหลอดที่ไม่ต้องใช้ไส้หลอด หลอดในตระกูลนี้มีหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดปรอทความดันต่ำ หลอดคอมแพคท์ หลอดปรอทความดันสูง หลอดโซเดียมความดันสูงและต่ำ หลอดเมทัลฮาไลด์ มีอายุการใช้งานนาน เหมาะสำหรับการเปิดทิ้งไว้เป็นเวลานาน



รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมแสดงการแบ่งประเภทของหลอด

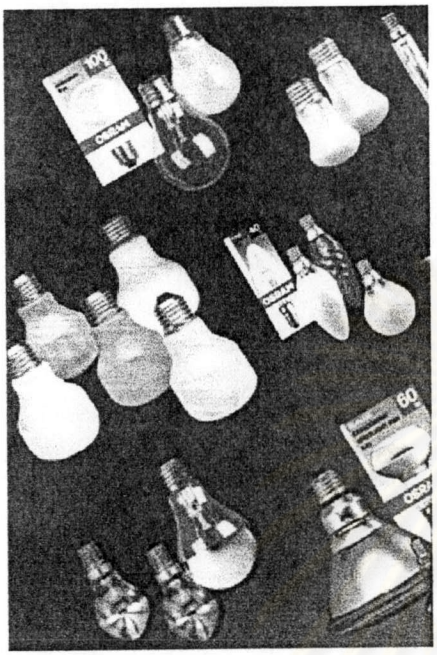
2.4.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์

หลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดมีไส้ซึ่งทำด้วยทังสเตน มีความดันไอต่ำ และมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 3655 เคลวิน แต่ในการทำงานจริงอุณหภูมิจะต่ำกว่านี้มาก เพื่อให้อายุการใช้งานนาน และเพื่อลดอัตราการระเหยของไส้จึงมีก๊าซเฉื่อยในกระเปาะแก้วทนอุณหภูมิสูง และยังทำให้ขั้วหลอดไม่ดำอีกด้วย หลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดที่มีประสิทธิผล (Efficacy)หรือ ลูเมน/วัตต์ต่ำแต่ให้แสงที่รู้สึกอบอุ่น

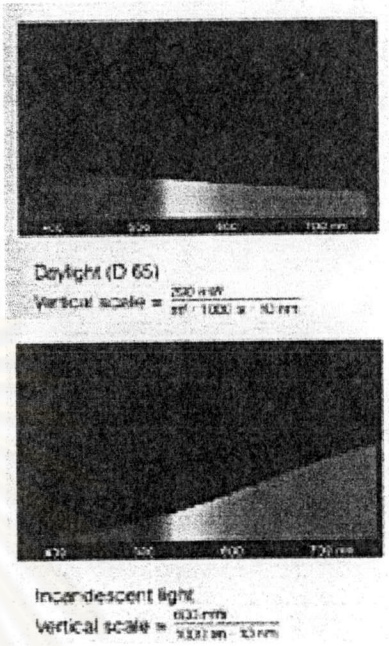
ประสิทธิผล	ประมาณ 10 – 15 ลูเมน/วัตต์
อายุการใช้งาน	ประมาณ 1000-3000 ช.ม.
อุณหภูมิสี	ประมาณ 2500-3000 องศาเคลวิน
สีของหลอด	โทนเหลืองจนถึงเหลืองออกขาว
ดัชนีความถูกต้องของสี	100%

หลอดอินแคนเดสเซนท์ เป็นหลอดที่มี อุณหภูมิสีต่ำ จึงเป็นแสงที่มีสีออกเหลือง ซึ่งจะช่วยเน้นสีบนวัตถุต่าง ๆ ที่มีสีโทนอุ่นให้ดูสดและชัดเจนขึ้น เช่น สีส้ม สีแดง และมีผลต่อสีก้ำกึ่งระหว่างโทนร้อนและโทนเย็น เช่น แดงอมม่วง เหลืองอมม่วง เหลืองน้ำเงินอมม่วง ฯลฯ ให้เด่นชัดขึ้น ในขณะเดียวกันจะทำให้สีโทนเย็นเช่นสีน้ำเงินดูหม่นลงและสีจะเพี้ยนไปบ้าง ไฟ

อินแคนเดสเซนท์บางประเภท เช่นพวกหลอดฮาโลเจนที่มีอุณหภูมิสี 3,200 K. จะให้แสงที่ขาวขึ้น ดังนั้นจึงสามารถใช้ส่องวัตถุหรืองานตกแต่งภายในที่ออกสีโทนเย็นให้งดงามได้



รูปที่ 2.9 หลอดอินแคนเดสเซนท์



รูปที่ 2.10 สเปกตรัมของหลอดอินแคนเดสเซนท์

2.4.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์

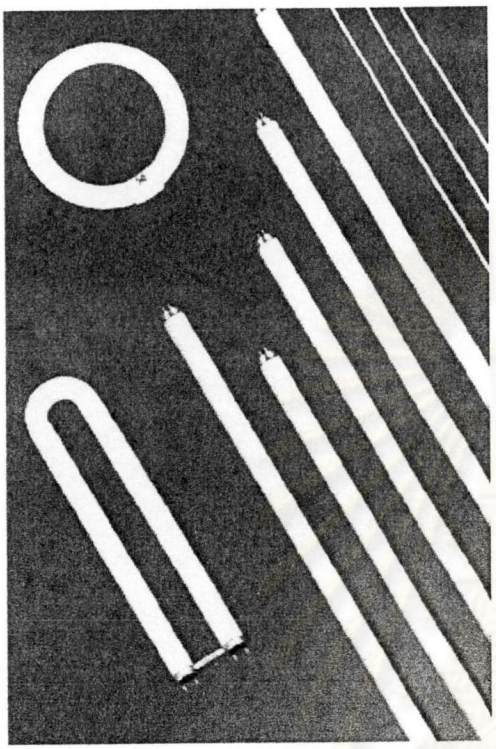
หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดดีสชาร์จความดันต่ำ โครงสร้างหลอดประกอบด้วยหลอดแก้วยาวมีขั้วไฟฟ้าที่ปลาย บรรจุไอปรอทที่ความดันต่ำ และมีก๊าซเฉื่อยเล็กน้อยเพื่อเริ่มต้นจุดไส้หลอด แสงที่ได้กำเนิดออกมาจากผงฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกพลังงานอัลตราไวโอเลตที่เกิดจากการดีสชาร์จไหลผ่านไอปรอท หลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิผลประมาณ 50 – 80 ลูเมน/วัตต์ ประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 5 – 8 เท่าของหลอดอินแคนเดสเซนท์

ประสิทธิผล ประมาณ 50 – 80 ลูเมน/วัตต์

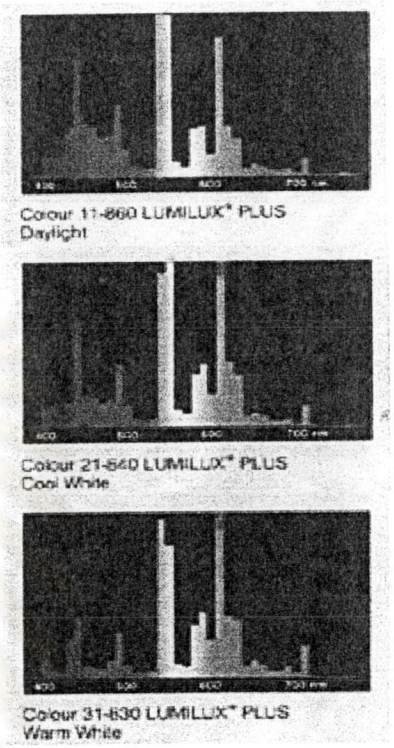
ดัชนีความถูกต้องของสี 90 – 95 %

หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไฟชนิดนี้มีอุณหภูมิสีตั้งแต่ สูง กลาง ถึงต่ำ การเลือกใช้แสงจึงสามารถพิจารณาเป็น 3 สีใหญ่ ๆ คือ สีเย็น (Daylight) สีขาว (Cool White) และสีอุ่น (Warm White)ตามลำดับ ทั้งนี้ผู้ผลิตแต่ละรายอาจใช้ชื่อเรียกที่แตกต่างกันในรายละเอียด

ออกไปอีก เช่น Warm White Deluxe, Cool White Deluxe, C50, C75 เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่บ่งชี้ให้เห็นถึงอุณหภูมิสีที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 2.11 หลอดฟลูออเรสเซนต์



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลักสำคัญในการเลือกหลอดไฟฟลูออเรสเซนท์ก็เช่นเดียวกับหลอดอินแคนเดสเซนท์ คือพิจารณาจากอุณหภูมิสีเป็นหลัก ซึ่งอาจแบ่งตามประเภทได้ดังนี้

สีเย็น (Daylight) เกิดจากหลอดไฟที่ให้แสงที่มีอุณหภูมิ 5500 - 6000 K. ขึ้นไป เหมาะกับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูง 700 – 800 ลักซ์ ให้แสงออกสีฟ้าจะส่งเสริมสีโทนเย็น

สีขาว (Cool White) เกิดจากหลอดไฟที่ให้แสงที่มีอุณหภูมิระหว่าง 4000 K. – 4500 K. เหมาะกับงานที่ต้องการความส่องสว่างประมาณ 500 ลักซ์ ให้แสงสีขาวเย็น วัตถุที่อยู่ใต้สีที่ได้จากอุณหภูมิช่วงนี้ จะไม่เน้นสีใดเป็นพิเศษ ทำให้ได้สีสันส่วนใหญ่ชัดเจนดี เหมาะกับสถานที่ซึ่งต้องใช้สายตาสูง

สีอุ่น (Warm White) เกิดจากหลอดไฟที่ให้แสงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 3,000 - 3500 K. เหมาะกับงานที่ต้องการความส่องสว่างไม่มากกว่า 300 ลักซ์ ลักษณะที่ได้ใกล้เคียงกับหลอดอินแคนเดสเซนท์ คือแสงที่ได้จะออกเหลืองซึ่งส่งเสริมสีโทนร้อน

หลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกผลิตขึ้นในปี 1939 แต่เดิม หลอดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มม. มีขนาด 20, 40และ 60 วัตต์ จนถึงปี 1978 ได้มีการผลิตหล อดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่ หลอดมีเส้นผ่าศูนย์กลางลดลงเหลือ 26 มม. เรียกว่า หลอดTLD โดยสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ของหลอดรุ่นเดิม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มม.)ประหยัดไฟได้ 5-10% ขนาด 18, 36 และ 58 วัตต์ ในปี 1995 หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่ล่าสุด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม.ประสิทธิภาพ 104 lm/w เทียบเท่า 76 lm/w ของหลอดTLD และ68 lm/w ของหลอดอ้วน 38 มม.

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างหลอดTL5 กับหลอดประสิทธิภาพสูง

	TL 5 28 W with HF-P Ballast	Super TLD 36 W with EB-P Ballast
หลอดไฟ	**TL 5 28 W**	**Super TLD 36 W**
ฟลักซ์การส่องสว่าง (ลูเมน)	2,900 lm	3,350 lm
กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ	28 W	36 W
ประสิทธิภาพ (lm/W)	2,900 / 28 = 103.57 lm / W	3,350 / 36 = 93.05 lm / W
% ของลูเมนหลัง 10,000 ช.ม.	95%	90%
ลูเมนทั้งหมดหลัง 10,000 ช.ม.	3 x 2,900 x 0.95 = 8,265 lm	3 x 3,350 x 0.90 = 9,045lm
บัลลาสต์	HF-P 236 and HF-P136	EB-P 236 and EB-P 136
ค่าสูญเสียจากบัลลาสต์ (W)	HF-P 236 = 6W, HF-P136 = 4W	EB-P 236 = 8W, EB-P 136 = 4W
THD(%)	<15%	<10%
แบบของหลอดไฟที่ใช้ในห้อง	TBN 320/328 HFP CR + M 5	TBN 320/326 HFP CR + M 5
กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟทั้งหมด	3 x 28 =84 W	3 x 36 =108 W
ค่าสูญเสียจากบัลลาสต์ทั้งหมด	6+4 = 10 W	8+4 = 12 W
ค่ากำลังไฟฟ้าทั้งหมด	84+10 = 94 W	108+12 = 120 W
ราคาที่ใช้		
ราคาค่าไฟฟ้าต่อปี (2.5บาท/หน่วย)	94x24x365x2.5/1,000=2,058.6บาท/ปี	120x24x365x2.5/1,000=2,628บาท/ปี
ค่าบำรุงรักษา		
หลอดไฟใช้จริง(คิดเป็นชั่วโมง)	16,000 ชั่วโมง	12,000 ชั่วโมง
หลอดไฟใช้จริง(คิดเป็นปี)	16,000/(24x365) = 1.826 ปี	12,000/(24x365) = 1.369 ปี
ราคาหลอดไฟ	TL 5 28 W = 120 บาท	TL 5 28 W = 60 บาท
ค่าบำรุงรักษาต่อระยะเวลา	3x120 = 360 บาท	3x60 = 180 บาท
ค่าบำรุงรักษาทั้งหมดต่อระยะเวลา	360/1.826 = 197.15 บาท/ปี	180/1.369 = 131.48 บาท/ปี
ราคาของการใช้งานทั้งหมดต่อปี	2,058.6+197.15=2,255.75บาท/ปี	2,628+131.48=2,759.48บาท/ปี

ที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ

2.5.1 ดวงโคม

หลอดไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างรอบตัว แสงสว่างที่ออกจากหลอดทั้งหมดมิได้ส่องตรงไปยังพื้นที่ใช้งาน โคมไฟฟ้าซึ่งมีหน้าที่บังคับแสงไปยังทิศทางที่ต้องการ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานโดยรวมดีขึ้นโดยทั่วไปโคมไฟฟ้ามีหลายประเภท เช่น โคมไฟส่องลง โคมไฟกิ่ง โคมไฟสาดกำแพง โคมไฟสปอร์ต โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นโคมชนิดใด การประหยัดพลังงานก็มีผลอย่างมากในเลือกโคม

โคมไฟฟ้าเพื่อการประหยัดพลังงาน หมายถึง โคมที่ใช้พลังงานน้อย โดยสามารถให้แสงสว่างเท่าเดิม ซึ่งโคมไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นโคมไฟที่มีการใช้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการประหยัดพลังงานมุ่งไปที่โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ โดยการเปลี่ยนชนิดโคม หรือการปรับปรุงโคมเดิม โดยเปลี่ยนตัวสะท้อนแสง และลดจำนวนหลอด ทำให้ปริมาณวัตต์ต่อโคมที่ใช้ลดลง

การเลือกใช้ดวงโคม ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการที่ควรพิจารณา ดังนี้

- การใช้งาน เป็นงานประเภทใด ใช้ภายนอกอาคาร หรือใช้ภายในอาคาร
- ชนิดของหลอด และจำนวนหลอด เป็นหลอดชนิดใด จำนวนหลอดที่ใช้ต่อดวงโคม
- โครงสร้าง เป็นแบบเปิดให้หลอดสัมผัสกับภายนอก หรือแบบปิด
- การติดตั้ง เป็นการติดตั้งแบบฝัง ติดตั้งลอย แขวนห้อย ฯลฯ
- คุณสมบัติทางแสง กราฟแสดงการกระจายแสงของดวงโคม (light distribution curve)
- กราฟแสดงค่าความสว่าง (luminance curve) และประสิทธิภาพของโคม
- คุณสมบัติทางไฟฟ้า ความปลอดภัยทางไฟฟ้า (electrical safet) ระดับการป้องกัน
- อันตรายทางไฟฟ้า (class of protection)การถูกรบกวนด้วยคลื่นวิทยุ (radio interferance)
- คุณสมบัติทางกล ความปลอดภัยทางกล (mechanical safety) ระดับการป้องกันฝุ่นผงและน้ำ(degree of protection) ความปลอดภัยจากการเกิดเพลิงไหม้ (fire safety) การป้องกันการกระแทก และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำดวงโคม

โคมไฟฟ้าโดยทั่วไปมีส่วนประกอบและอุปกรณ์หลัก ๆ ดังนี้

1. Housing ตัวถังโคมไฟฟ้า
2. Reflectors แผ่นบังแสง หรือแผ่นสะท้อนแสง
3. Attachment ส่วนปิดหน้าโคม เช่น ตะแกรงกรองแสง (Louver) แผ่นกรองแสง (Diffuser Sheet) หรือตัวหักเหแสง (Reflector)
4. Light Source หลอดไฟฟ้า
5. Lamp Holders ขั้วจับหลอด
6. Lead wire สายไฟ
7. Ballast & Transformers บัลลาสต์ และหม้อแปลง
8. Capacitors คาปาซิเตอร์
9. Terminal ขั้วต่อสาย

- **กราฟการกระจายแสงของโคมไฟฟ้า** (Lighting Distribution Curve)

กราฟการกระจายแสงของดวงโคมเป็นสิ่งที่ช่วยให้เราสามารถเลือกได้ว่า ดวงโคมชนิดนั้นเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ อย่างไร โดยลักษณะของกราฟจะขึ้นอยู่กับชนิดของดวงโคมและวัสดุสะท้อนแสง หรือส่งผ่านแสง ซึ่งมีทั้งการกระจายแสงในลักษณะกราฟสมมาตรกับแนวดิ่ง และกราฟที่ไม่สมมาตร กราฟการกระจายแสงของโคมไฟฟ้า เป็นการแสดงความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity, I) ของโคมไฟฟ้าในมุมต่าง ๆ ของการกระจายแสง มีหน่วยเป็นแคนเดลา (Candela, cd) หรือแคนเดลาต่อกิโลลูเมน(cd/Klm) อาจแสดงในรูปแบบของแผนภาพ หรือ กราฟ Polar Curve

กราฟการกระจายแสงของดวงโคม ทำหน้าที่บอกความเข้มของแสงในทิศทางต่างๆ จากแนวดิ่ง(มุม0) ขึ้นไปจนถึงแนวขั้วหลอด (มุม 90) โดยทั่วไปมักบอกค่าในหน่วย แคนเดลาต่อกิโลลูเมน (cd/klm) ส่วนกราฟการกระจายแสงของดวงโคมที่ใช้ส่องเน้น (spot light) มักบอกค่าในหน่วย แคนเดลา

การบอกค่าความเข้มแสงอาจบอกด้วยค่า 2 ค่า คือ ค่าความเข้มแสงที่มุม 0 และความกว้างมุมลำแสง(beam angle) ที่ดวงโคมให้ได้ เป็นความเข้ม 10% หรือ 50% ของความเข้มแสงสูงสุด ซึ่งวิธีนี้มักใช้กับดวงโคมส่องเน้น ส่วนใหญ่แล้วดวงโคมที่ผลิตในสหรัฐอเมริกามักจะให้ค่ามุมลำแสงไว้ที่ความเข้ม 10% ของความเข้มสูงสุดโดยเรียกว่า beam spread ส่วนทางยุโรปหรือญี่ปุ่นมักจะให้ค่ามุมลำแสงไว้ที่ความเข้ม 50% ของความเข้มสูงสุด

โดยเรียกว่า half beam angle แต่ทั้งนี้ในแต่ละแคตตาล็อคจะมีการอธิบายการใช้งานกราฟแสดงการกระจายแสงของดวงโคม และมุมลำแสงไว้ด้วย เพื่อให้ผู้เลือกใช้ดวงโคมเข้าใจได้

ดังนั้นในการพิจารณากราฟการกระจายแสงจึงต้องสังเกตว่า ในกราฟนั้นผู้ผลิตได้ระบุให้มาเป็นหน่วยแบบใด cd หรือ cd/Klm ซึ่งจะต้องรู้ว่าโคมที่ผลิตมานั้นใช้กับหลอดอะไร มีฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux) กี่ลูเมน เพราะถ้าเราเลือกใช้หลอดที่มีลูเมนต่างจากที่ผู้ผลิตใช้ในการทดสอบก็ได้ ฉะนั้นค่าแคนเดลาจะเปลี่ยนไปถ้าค่าลูเมนของหลอดที่ใช้ต่างกัน แต่รูปทรงของกราฟจะไม่เปลี่ยนเนื่องจากรูปทรงของกราฟจะเปลี่ยนเมื่อโคมเปลี่ยนรูปแบบเท่านั้น

- **กราฟความสว่าง หรือแสงบาดตา** (luminance curve)

การพิจารณาการส่องสว่างควรคำนึงถึงความสบายของสายตาในการมองด้วย ดังนั้นการเลือกใช้ดวงโคมจึงต้องพิจารณาเรื่องของความสว่าง(luminance)และแสงบาดตา(glare)

สำหรับการพิจารณาเรื่องของแสงบาดตามีอยู่หลายมาตรฐาน ซึ่งแต่ละอย่างก็มีวิธีพิจารณาแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น กราฟความสว่างที่ใช้กันทางยุโรป หรือการใช้มุมแสงบาดตาของ CIE ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของดวงโคม หรือลักษณะการให้แสงออกจากดวงโคม

- **อัตราส่วนแสงจากดวงโคม** (light output ratio)

อัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมต่อปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอดไฟ ถ้าอัตราส่วนแสงจากดวงโคมมีค่ามาก ดวงโคมนั้นย่อมมีประสิทธิภาพดี แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าคุณภาพของแสงจะดีเสมอไป เพราะอาจเป็นดวงโคมที่มีแสงบาดตาก็ได้ ดังนั้นจึงต้องแยกการให้ปริมาณแสงมากกับคุณภาพแสงที่ดีออกจากกัน

- **แผ่นสะท้อนแสง** (Reflectors & Attachments)

วัตถุดิบที่นิยมมาผลิต Reflectors และ Attachment นั้นจะใช้พลาสติก, แผ่นเหล็กเคลือบสี, แผ่นอะลูมิเนียมผ่านกรรมวิธี

1. Plastic Reflectors & Louvers

คือการนำพลาสติกมาทำการขึ้นรูป โดยกรรมวิธี injection Mold ให้ได้รูปแบบตามที่ต้องการ แล้วนำไปผ่านกรรมวิธี Metallizing หรือ Vapourize Sputtering เพื่อให้เกิดผิวสะท้อนแสง หรือ High Reflectance ซึ่งในปัจจุบันสามารถทำให้การสะท้อนแสงรวมได้สูงถึง

95% แต่ Plastic Reflectors & Louvers มีข้อจำกัด คือ ความร้อน จึงสามารถนำมาใช้ได้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์อย่างไม่มีปัญหาเท่านั้นในปัจจุบัน Plastic Attachment อีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้คือ แผ่นกรองแสง (Diffuser) ได้แก่ แผ่น Opal, Prismatic diffuser ซึ่งมี Transmittance อยู่ระหว่าง 40-60% ขึ้นอยู่กับสี และลายขอบแผ่นกรองแสงชนิดที่ใช้

2. Steel Reflectors & Louvers

โดยทั่วไปแล้วจะเป็นแผ่นเหล็กเคลือบสี ซึ่งมีการสะท้อนแสงรวมต่ำอยู่ประมาณ 56-60% ขึ้นอยู่กับสีที่ใช้ว่ามีการเคลือบเงา (gloss) ขนาดไหน แต่เหล็กแผ่นเคลือบสีมีข้อดี คือ มี Diffusing Reflectance ค่อนข้างสูงประมาณ 70%

กรรมวิธีในการทำผิวของ Aluminum for Reflectors & Louvers ในปัจจุบันที่ใช้กันอยู่มี

- Anodizing
- Metallinzing Film Laminated on Aluminum
- Metallinzing On Aluminum Sheet

Anodizing เป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ที่นำมาใช้เพื่อป้องกันผิวของอะลูมิเนียม โดยปฏิกิริยาทางเคมีและไฟฟ้าของ Electro Chemical forming Aluminum Oxide เพื่อป้องกันผิวของอะลูมิเนียมที่ได้ผ่านการทำผิวเงามาก ๆ โดยกรรมวิธี Chemical Brighten มาก่อน เพื่อไม่ให้ผิวที่เงาแปรสภาพตามสภาวะแวดล้อม โดยปกติความหนาของ Aluminum Oxide จะอยู่ระหว่าง 5-10 ไมโครเมตร

Chemical Brighten เป็นกรรมวิธีทางเคมีที่ทำให้ผิวของอะลูมิเนียมเกิดความเงา โดยปฏิกิริยาทางเคมี

Diffusing Process เป็นกรรมวิธีทางเคมี Chemical Etching Process ที่ทำหลังจาก Chemical Brighten เพื่อให้ผิวของอะลูมิเนียมเกิดเป็น Crystal เล็กเท่า หรือเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง (ซึ่งทำได้ยากมาก) เพื่อให้ Crystal เหล่านี้สะท้อนแสงได้ทุกมุม ฉะนั้นผิวของอะลูมิเนียมจะหยาบโดยทั่ว แล้วจึงนำไป Anodized

ผิวของอะลูมิเนียมควรจะเป็นผิวของอะลูมิเนียมที่บริสุทธิ์ 100% ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก ฉะนั้นจึงต้องใช้เทคโนโลยีของ Clad Aluminum มาใช้ คือ ผิวด้านหน้าจะมีความบริสุทธิ์เกือบ 100% ส่วนด้านหลังมีความบริสุทธิ์ต่ำเพื่อให้เกิดความแข็งมา Clad ให้ติดกัน

เพื่อให้เกิดทั้งความบริสุทธิ์ และความแข็งในเวลาเดียวกัน ซึ่งทำให้สามารถผลิต pre-anodizing lighting sheet ที่มีการสะท้อนแสงรวมสูงได้ถึง 95% และอาจมากขึ้นตามเทคโนโลยี

ลักษณะทั่วไปของแผ่นสะท้อนแสง

การออกแบบแผ่นสะท้อนแสงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่

1. อุณหภูมิสีและสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง
2. ลักษณะการกระจายความเข้มแสงของแหล่งกำเนิด
3. คุณสมบัติของแผ่นสะท้อนแสงที่นำมาใช้
4. ความสัมพันธ์ของตำแหน่งติดตั้งระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับแผ่นสะท้อนแสง
5. ลักษณะของงานที่ต้องการให้แสงสว่าง

แสงที่ออกมาจากโคมไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ลำแสงโดยตรงที่ออกจากตัวหลอด (direct beam) และลำแสงสะท้อน (reflected beam) ดังนั้นแผ่นสะท้อนแสงมิได้ถูกออกแบบมาเพื่อบังคับทิศทางของแสงทั้งหมด ดังนั้นพื้นฐานของแผ่นสะท้อนแสงแบบเงา คือการบังคับแสงให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงในทิศทางที่กำหนด แต่ความสว่างของภาพที่เห็น กับความสว่างของแหล่งกำเนิดจริงเท่ากัน (ถ้าไม่คิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อน)

- **วัสดุสะท้อนแสง**

การออกแบบตัวสะท้อนแสงให้ประสบความสำเร็จ ผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้ด้านคุณสมบัติทางแสงของวัสดุอย่างเพียงพอ และสิ่งจำเป็นอันดับแรกคือความสามารถทางคณิตศาสตร์เรื่องเรขาคณิต อันดับต่อมาต้องมีความเข้าใจถึงวัสดุสะท้อนซึ่งจะนำมาบังคับแสงให้เพื่อได้แสงตามต้องการ แบ่งเป็น

1. การสะท้อนแสงแบบเงา
   - แบบเรียบ (ลักษณะคล้ายกระจก)
   - แบบกระเจิง (ลักษณะตามรูปแบบพื้นผิว)
2. การสะท้อนแสงแบบกระจายแสง หรือแบบด้าน

วัสดุที่มีการดูดกลืนมากกว่า 50% ของพลังงานแสงตกกระทบ จัดเป็นประเภทดูดกลืน (absorber) และวัสดุที่มีการสะท้อนออกมากกว่า 50% ของพลังงานแสงตกกระทบ จัดเป็นประเภทสะท้อนแสง (reflector) ทั้ง ๆ ที่ในความเป็นจริงมีการนำวัสดุดูดกลืนแสงมาเป็นตัวสะท้อนแสง

ตารางที่ 2.2 การสะท้อนและการดูดกลืน

Complete reflector

Polished surfaces, any color (black to white) at grazing incidence-100% refl. Quality mirror, any incidence angle Polished iron	Polished aluminum (may be peened) REFLECTORS >50% reflectance Aluminum paint	White MgO, any incidence White gloss paint, normal incidence only Flat gray paint
normal incidence Polished black glass, normal incidence	normal incidence <50% reflectance ABSORBERS Black semi gloss paint, normal Incidence	Black velvet Carbon black (light sink)

Perfect specularity

Complete diffusion

Complete absorption

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **พฤติกรรมของแสงต่อแผ่นสะท้อนแสง** (Reflector)

1. Specular Surface

พื้นผิวแบบเงามีลักษณะเรียบเหมือนกระจก ไม่มีการแพร่กระจาย (diffusion) ที่สังเกตได้ เช่น โลหะขัดเงาหรือหลอมเหลว และโดยเฉพา vacuum-deposited metalsบนพื้นผิวที่เรียบจริง ๆ สำหรับพื้นผิวแบบเงา มุมระหว่างรังสีสะท้อน (reflected ray) กับพื้นผิวสะท้อน (reflecting surface) จะเท่ากัน และจะตรงกันข้ามกับมุมของรังสีตกกระทบ (incidented ray)

2. Diffuse Surface

พื้นผิวแบบกระจายแสง จะแพร่กระจายหรือกระจายแสงจากทิศทางต่างๆ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Lambert'Law วัตถุที่กระจายแสงอย่างสมบูรณ์ตามทฤษฎีจะให้ความสว่างเท่ากันทุกมุมมองไม่ว่าแสงตกกระทบมาในทิศทางใด พื้นผิวแบบกระจายแสง ไม่สามารถควบคุมทิศทางการสะท้อนแสงได้ แต่สำคัญสำหรับการกระจายแสงทั่วพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง รูปร่างลักษณะของพื้นผิวแบบกระจายแสงจะถูกกำหนดโดยรูปแบบและต้นทุน ร่วมกับข้อเท็จจริงที่ว่า ความสว่างของผิวในทิศทางใดเป็นส่วนกลับกับกำลังสองของระยะทางจากจุดกำเนิดแสงไปยังพื้นผิวที่จุดใด ๆ

3. Spreading Surface

พื้นผิวแบบกระเจิงแสง จะแตกลำแสงตกกระทบให้สะท้อนในมุมที่จำกัด การสะท้อนแบบกระเจิงแสงจะเกิดขึ้นและถูกควบคุมโดย รูปแบบ ขนาดรูปร่าง ความนูน ความเป็นร่องหรือสัน ของแผ่นสะท้อน

4. Absorption and Regradation

Absorption คือกระบวนการที่พลังงานของการแพร่รังสี ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การแพร่ของรังสีที่มองเห็นจะถูกดูดกลืนในทุกพื้นผิวการสะท้อน พื้นผิวแบบด้าน (matte black surface) ดูดกลืนรังสีตกกระทบในช่วงที่มองเห็น มักจะใช้สำหรับ Light Sink

Regradationคือกระบวนการที่การแพร่พลังงานที่ความยาวคลื่นหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นการแพร่พลังงานด้วยความยาวคลื่นอีกคลื่นหนึ่ง (มักมีความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น) ตาม Stoke's Law Regradation มีความสำคัญในเรื่องของสีการสะท้อน

5. Selective Reflection-Dichroics and Transflectiors

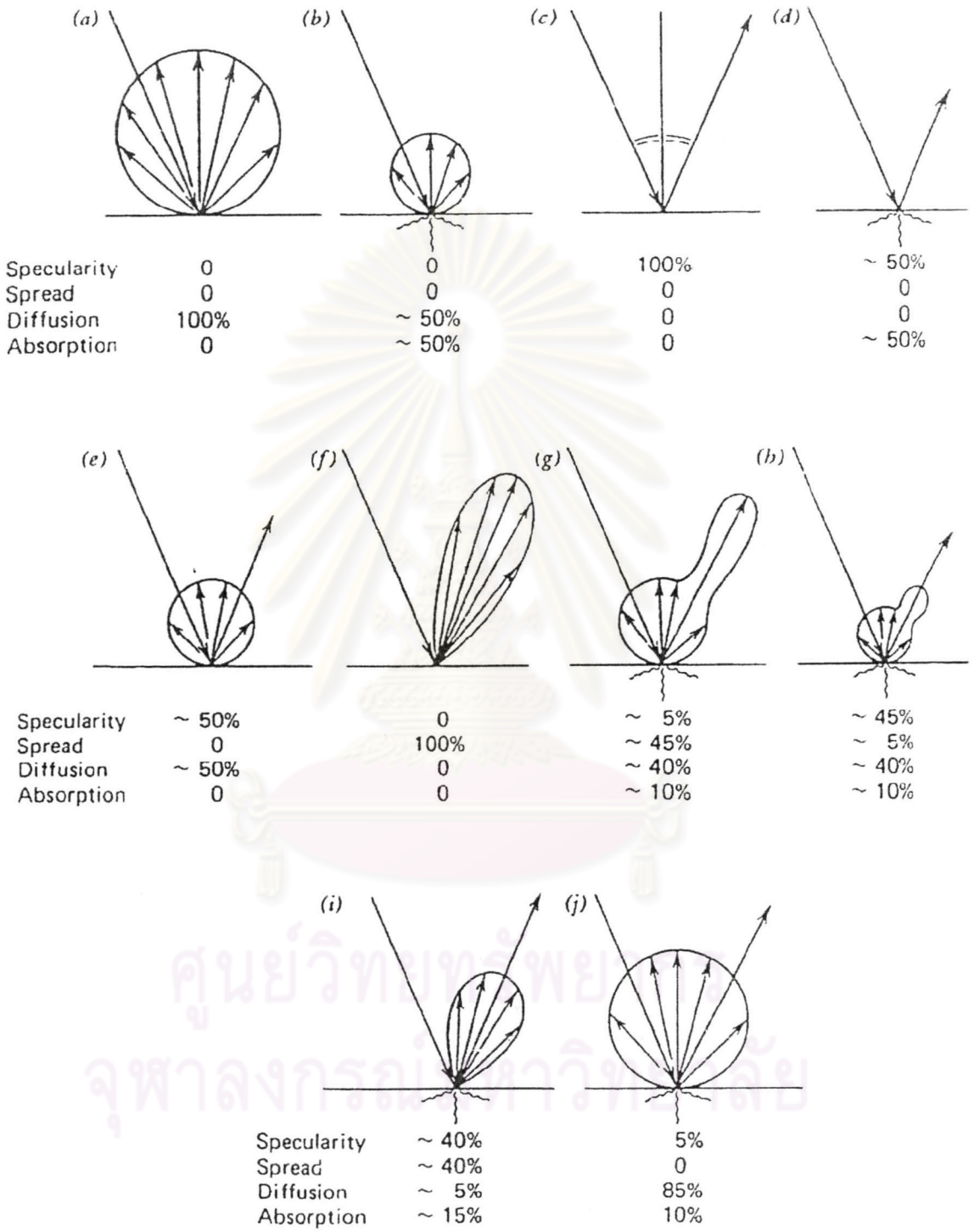
Dichroic coating บนแก้วมีการใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการใช้งานแบบต่าง ๆ การเคลือบไดโครอิกที่ใช้กัน

- **การสะท้อนและกระจายแสงของแผ่นสะท้อนแสง (reflector)**

ตามหลักการทฤษฎีแสง ในเรื่องการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่เป็นวัตถุทึบแสง (Opaque Material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (Polish Surface) การสะท้อนจะมีลักษณะของมุมแสงตกระทบ (Angle of Incident) เท่ากับมุมแสงสะท้อน (Angle of Reflection) แต่ถ้าผิววัสดุมีลักษณะหยาบมากขึ้นแสงที่ได้จะมีลักษณะเป็นแสงกระจาย ซึ่งมุมการสะท้อนกลับจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับผิวของวัสดุนั้น

การนำหลักการสะท้อนแสงมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนและกระจายแสงของแผ่นสะท้อนแสง (reflector) นั้น สามารถทำได้โดยการคำนวณมุมของแสงที่ตกกระทบ (Angle of Incident) ให้อยู่ระหว่าง 15 - 45 องศา เนื่องจากช่วงของมุมดังกล่าวแผ่นสะท้อนแสง (reflector) จะให้การสะท้อนแสงค่อนข้างคงที่ (สมยศ วงศ์สุข, 2536) และมีค่าการสะท้อนแสงลดลงที่มุม 50 – 80 องศา ส่วนค่าการกระจายแสงที่มุม 0 องศา จะมีความเข้มแสงน้อย และความเข้มแสงจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงมุม 50 องศา ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการสะท้อนและกระจายแสงจะดีเพียงใด ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุสะท้อนแสง และคุณภาพแสงที่ตกกกระทบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 การสะท้อน และมุมลำแสงของวัสดุสะท้อนแสง

- **ชนิดของดวงโคม**

ดวงโคมสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆตามลักษณะการกระจายแสงได้ดังนี้ (พิบูลย์ ดิษฐอุดม , 2521)

- ดวงโคมชนิดกระจายแสงลง (direct luminaire) แสงส่วนใหญ่จากดวงโคมประเภทนี้ประมาณ 90-100 เปอร์เซ็นต์ จะกระจายลงสู่เบื้องล่าง ข้อดีของลักษณะดวงโคมประเภทนี้คือสามารถที่จะควบคุมทิศทางของแสงให้ไปตกบนพื้นที่ที่ต้องการได้โดยง่าย
- ดวงโคมชนิดกึ่งกระจายแสงลง (semi-direct luminaire) ดวงโคมประเภทนี้จะกระจายแสงลงสู่เพดานประมาณ 10-40 เปอร์เซ็นต์ ข้อเสียของดวงโคมประเภทนี้และดวงโคมชนิดกระจายแสงลงก็คือ อาจจะเกิดเงาขึ้นบนพื้นงานได้ง่าย ถ้าระยะห่างระหว่างดวงโคมอยู่ห่างกันมากเกินไป
- ดวงโคมชนิดกระจายแสงรอบด้านหรือกระจายแสงแบบขึ้น - ลง (general diffuse or direct-indirect luminaire) ลักษณะของดวงโคมประเภทนี้จะกระจายแสงลงสู่พื้นและกระจายแสงพุ่งขึ้นสู่เพดานพอๆ กัน ข้อแตกต่างของลักษณะการกระจายแสงแบบรอบด้านและการกระจายแสงแบบขึ้น-ลงก็คือ การะกระจายแสงแบบรอบด้านจะมีแสงบางส่วนพุ่งออกมาในแนวระดับด้วย การควบคุมการกระจายแสงของดวงโคมประเภทนี้ให้ไปตกบนพื้นที่ที่เราต้องการทำได้ยากกล่าวคือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (coefficient of utilization) ของดวงโคมประเภทนี้จะมีค่าต่ำกว่าดวงโคมสองประเภทแรกแต่ดวงโคมประเภทนี้จะให้ค่าความจ้าทั้งพื้นผิวห้องดูสม่ำเสมอและสบายตา
- ดวงโคมชนิดกึ่งกระจายแสงขึ้น (semi-direct luminaire) ปริมาณแสงส่วนใหญ่ประมาณ 60-90 เปอร์เซ็นต์จากดวงโคมชนิดนี้ จะกระจายขึ้นสู่เพดาน และปล่อยให้แสงส่วนที่เหลือกระจายลงสู่พื้น เพดานจึงทำหน้าที่คล้ายแหล่งกำเนิดแสงแผ่นใหญ่แผ่นหนึ่ง ซึ่งจะสะท้อนแสงลงสู่เบื้องล่าง ฉะนั้นความสามารถในการสะท้อนแสงของเพดานจะต้องสูงมาก ลักษณะการกระจายแสงเช่นนี้
- ดวงโคมชนิดกระจายแสงขึ้น (indirect luminaire) ป ริมาณแสงจากดวงโคมเกือบทั้งหมดประมาณ 90-100 เปอร์เซ็นต์จะกระจายขึ้นสู่เพดานและส่วนบนของผนังแล้วจึงสะท้อนสู่พื้นงาน ข้อเสียของดวงโคมประเภทนี้ก็คือ มันจะมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้ระโยชน์ต่ำสุด

2.5.2 บัลลาสต์

- **หลักการทำงานของบัลลาสต์** (Operating Principal of Ballast)

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์จำเป็นที่ต้องใช้ ต้องมีอยู่ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้หลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์ และประเภทหลอดคายประจุความดันสูง โดยมีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปที่หลอดไฟให้มีความเหมาะสม สม่ำเสมอตามแต่ละประเภทหลอดแต่ละชนิดแต่ละรุ่น แต่ละขนาด โดยขณะที่หลอดไฟผ่านขบวนการจุดติดเป็นที่เรียบร้อยนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) หรือค่าความต้านทานการไหลของไฟฟ้าของหลอดนั้นจะมีค่าติดลบนั้นหมายถึงกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวหลอดในปริมาณที่มากเพราะไม่มีตัวต้านทานไว้ ซึ่งผลที่จะเกิดขึ้นคือกำลังงานที่หลอดไฟจะได้รับจะมีมากเกินกว่าที่ออกแบบไว้ (Overload) ไส้หลอดก็จะเสียหายและขาดในที่สุด ดังนั้นจึงทำให้ต้องนำบัลลาสต์มาต่ออนุกรมในวงจร และบัลลาสต์นี้เองที่จะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า ในวงจรแทนหลอดไฟ

1. **บัลลาสต์แกนเหล็ก** (Magnatic Ballast) เป็นบัลลาสต์ชนิดที่มีขึ้นมานานพอ ๆ กับการมีหลอดไฟฟ้าประเภทฟลูออเรสเซนต์ใช้กัน ประกอบด้วยวัสดุหลักๆ คือ แกนเหล็กที่ประกอบขึ้นมาจากแผ่นเหล็กนำมาเรียงกันและพันโดยรอบด้วยขดลวดทองแดงเพื่อทำหน้าที่
   - จ่ายแรงดันที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการวิ่งของอิเลคตรอนจากขั้งหนึ่งไปยั้งอีกขั้วหนึ่งของหลอดไฟ
   - จำกัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ ภายหลังการจุดติดเป็นที่เรียบร้อยแล้วให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
   - ควบคุมการไหลของกระแสให้มีค่าที่สม่ำเสมอ เพื่อให้หลอดไฟมีการเปล่งแสงที่สม่ำเสมอ
   - รักษาเสถียรภาพของแรงดันที่ตกคร่อมหลอด ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟมีค่าแรงดันป้อนเข้าเปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ตาม บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดนี้จะมีการสูญเสียพลังงานในตัวมันเองสูงถึงประมาณ 20% เมื่อเทียบกับพลังงานที่จ่ายให้กับระบบแสงสว่าง และพลังงานที่สูญเสียนี้ก็จะเปลี่ยนแปลงและปรากฏออกมาเป็นรูปของความร้อน โดยปกติบัลลาสต์แกนเหล็กจะมีการสูญเสียพลังงานอยู่ในช่วง 9 – 13 วัตต์แล้วแต่คุณภาพของวัสดุแกนเหล็ก ขดลวดที่นำมาใช้

และขนาดกำลังวัตต์ของบัลลาสต์ ซึ่งจะทำให้บัลลาสต์มีอุณหภูมิขณะใช้งานในช่วงระยะเวลา 55 – 70 C

2. **บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง** (Low-lost Ballast) หรือบัลลาสต์ประหยัดไฟ เป็นบัลลาสต์แกนเหล็กเช่นเดียวกันกับประเภทแรก แต่ได้รับการผลิตโดยเลือกวัสดุแกนเหล็กและขดลวดที่มีคุณภาพดีขึ้น มีผลทำให้จำนวนรอบของขอลวดที่พันมีน้อยลง โดยไม่ทำให้ความสามารถในการใช้งานลดลงแต่ประการใด บัลลาสต์ชนิดนี้จะมีค่าพลังงานที่สูญเสียในตัวประมาณ 6 –8.5 วัตต์ แล้วแต่คุณภาพและขนาดกำลังวัตต์ของบัลลาสต์ ส่วนอุณหภูมิขณะใช้งานจะอยู่ในช่วง 35 – 50 C

บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กธรรมดาและชนิดประสิทธิภาพสูงจากที่ได้กล่าวมามีโครงสร้างและหลักการเดียวกัน นอกจากเรื่องพลังงานแล้ว จุดอ่อนอีกประการหนึ่งที่พบได้แก่ การที่มีค่าประกอบกำลัง (Power Factor หรือ PF) ที่ต่ำเนื่องจากเป็นธรรมชาติของบัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำนี้ ดังนั้นข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แกนเหล็กเราสามารถกล่าวสรุปโดยรวมได้ดั้งนี้

ข้อดี

- มีราคาต่ำในการลงทุนติดตั้งตอนแรก
- มีความคงทนสูงต่อสภาพแวดล้อมในการใช้งาน เช่น อุณหภูมิสูง แรงดันที่ไม่สม่ำเสมอ
- ของแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ความชื้น เป็นต้น
- หาซื้อได้ง่ายตามร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป
- ช่างไฟฟ้าคุ้ยเคยกับการใช้งาน การติดตั้ง

ข้อเสีย

- มีการสูญเสียพลังงานในตัวสูง (ธรรมดา 9 – 13 วัตต์ / ประสิทธิภาพสูง 6 – 8.5 วัตต์)
- ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน และก่อให้เกิดภาระงานที่เพิ่มขึ้นต่อระบบปรับอากาศ
- โดยปกติจะมีค่าประกอบกำลัง (ธรรมดา 0.27 - 0.52 /ประสิทธิภาพสูง 0.52)
- มีเสียงฮัมในขณะทำงาน

- ในวงจรไฟฟ้าที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก จะทำให้การจุดติดหลอดต้องใช้เวลา 1 – 3 วินาทีและมีการกระพริบของหลอดไฟ ซึ่งมีผลต่อการมองเห็นของสายตาและอาจจะเป็นตัวสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หลอดไฟเสียเร็วกว่าปกติ หากมีการเปิด-ปิดไฟบ่อย
- หากหลอดไฟฟ้า บัลลาสต์ หรือสตาร์ทเตอร์ ในวงจรเสื่อมจะมีการกระพริบของหลอดเกิดขึ้นโดยหลอดไม่สามารถจุดติดได้อย่างสมบรูณ์ และเป็นการเปลืองไฟโดยเปล่าประโยชน์นอกเหนือจากความเสี่ยงของการจุดติดไฟ หรือไฟไหม้ได้

3. **บัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์** (Electronic Ballast) หน้าที่หลักของบัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์จไม่แตกต่างกับบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก แต่แทนที่จะใช้แผ่นแกนเหล็กพัดขดลวดเพื่อก่อให้เกิดผลทางไฟฟ้า ก็เปลี่ยนมาใช้วงจรทางอิเลคทรอนิกส์ ดั้งนั้นภายในตัวบัลลาสต์จึงบรรจุไว้โดยชิ้นส่วนทางอิเลคทรอนิกส์เป็นหลัก

ข้อดี

- ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าไฟฟ้าลงจากเดิม 20 – 30 %
- ได้ระบบไฟฟ้าและแสงสว่างที่มีคุณภาพดีขึ้น เนื่องจากไม่มีการกระพริบ และได้แสงที่มีความสว่างสม่ำเสมอซึ่งจะมีผลดีต่อสายตาในระยะยาว
- ได้รับความปลอดภัยในการใช้งานมากขึ้น
- สะดวกต่อการออกแบบ ติดตั้ง ใช้งานและดูแลรักษามากขึ้น
- สำหรับผลตอบแทนจากการประหยัดไฟฟ้าภายหลังการผ่านช่วงระยะเวลาการคืนทุนไปแล้ว จะช้าหรือเร็วก็ขึ้นอยู่กับความมาก-น้อยในการเปิดใช้งาน

ข้อเสีย

- มีต้นทุนในการลงทุนเบื้องต้นสูง
- ต้องระมัดระวังในการเลือกซื้อ และการเลือกใช้บัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์ให้เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน และต้องมีคุณภาพดีในการออกแบบวงจร การเลือกใช้วัสดุชิ้นส่วนอิเลคทรอนิกส์ รวมไปถึงมาตราฐานการผลิต มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบเพิ่มเติมในระบบไฟฟ้า หรือระบบคลื่นความถี่แทรกซ้อนได้หรืออาจจะทำให้บัลลาสต์มีอายุการใช้งานที่สั้น ไม่ทนทานต่อการใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- มีข้อจำกัดในการใช้งานในสถานที่ หรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง มีละอองไอน้ำ ไอน้ำมัน หรือฝุ่นผงสูงเป็นพิเศษ มักจะทำให้บัลลาสต์มีอายุการใช้งานที่สั้นลง

ในทางปฏิบัติบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กยังได้รับความนิยมยางแพร่หลายอยู่ ถึงแม้ว่าบัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์กำลังเริ่มเป็นที่รู้จักมากยิ่งขึ้นแล้วก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าติดตั้งอุปกรณ์แสงสว่างกันอย่างจริงจัง การเลือกซื้อบัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความสำคัญ ถึงแม้ว่าบัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์นั้นจะมีราคาค่อนข้างสูง แต่การนำบัลลาสต์ชนิดนี้มาใช้ จึงไม่ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายเพียงอย่างเดียว ควรคิดว่าบัลลาสต์ชนิดนี้มีอายุการใช้งาน และผลดีด้านอื่นๆ ที่ประกอบกันคือต้นทุนที่สูงกว่าของบัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์จะถูกชดเชยในเรื่องค่าไฟฟ้าที่ลดลงและระบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพในระยะยาว

2.6 **ประสิทธิภาพของหลอดไฟ** (Light Source Efficacy)

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงสว่างที่หลอดไฟหลอดนั้นเปล่งได้ กับปริมาณไฟฟ้าที่เราให้แก่มันและมีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (lumen/watt)

2.6.1 **อายุการใช้งานของหลอดไฟ** (Lamp Mortality)

หลอดไฟแต่ละชนิดจะมีอายุการใช้งานไม่เท่ากัน หลอดไฟบางชนิดจะมีอายุการใช้งานเพียงเสี้ยววินาทีเดียว เช่นหลอดที่ใช้ในการถ่ายภาพ หลอดบางชนิดจะมีการใช้งาน 500 ถึง 1000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอดบางชนิดมีอายุการใช้งานมากเป็นจำนวนกว่า 10,000 ชั่วโมง เป็นต้น โรงงานผู้ผลิตจะจัดทำตารางข้อมูลบอกให้เรารู้ถึงอายุการใช้งานของหลอดแต่ละประเภทที่ผลิตขึ้น อย่างไรก็ตามอายุการใช้งานมิได้หมายถึงระยะเวลาที่นับตั้งแต่หลอดเริ่มถูกใช้จนกระทั่งดับสนิท แต่หมายถึงอายุการใช้งานเฉลี่ยเมื่อนำหลอดชนิดดังกล่าวจำนวนมากมาทำการทดลอง โดยเปิดและปิดทุกๆ 10 ชั่วโมง (หรือทุกๆ 5 ชั่วโมงหรืออื่นๆแล้วแต่จะกำหนด) อายุการใช้งานของหลอดก็คือ จำนวนชั่วโมงที่หลอดจำนวนครึ่งหนึ่งของหลอดกลุ่มนั้นยังคงทำงานอยู่และอีกครึ่งหนึ่งดับสนิท

2.6.2 **ปัจจัยการสูญเสียของแสง** (Light Loss Factor ; LLF)

ในการออกแบบระบบส่องสว่าง นอกจากจะคำนึงถึงการเลือกใช้หลอดให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่แล้ว ปัจจัยการสูญเสียของแสงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบ เพื่อให้

ได้ค่าความสว่างที่เหมาะสมอย่างแท้จริง ถึงแม้จะใช้งานไปได้ระยะหนึ่งแล้ว ปัจจัยการสูญเสียของแสง (Light Loss Factor ; LLF) แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ แฟกเตอร์การสูญเสียของแสงแบบฟื้นได้ และแฟกเตอร์การสูญเสียของแสงแบบฟื้นไม่ได้

- **แฟกเตอร์การสูญเสียของแสงแบบฟื้นได้** (Recoverable Light Loss Factor)

  แฟกเตอร์การสูญเสียของแสงแบบฟื้นได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

  1. หลอดไฟเสีย
  2. การเสื่อมลูเมนต์ของหลอดไฟ
  3. การเสื่อมแสงอันเนื่องมาจากลูเมนต์สกปรก
  4. การเสื่อมแสงอันเนื่องมาจากพื้นผิวห้องสกปรก

1. **หลอดไฟเสีย** (Lamp Burnouts ; LBO)

ถ้าหลอดไฟเสียและไม่ได้เปลี่ยนในทันที จะทำให้ระดับความเข้มแสงเฉลี่ยลดลง แฟกเตอร์ LBO เป็นอัตราส่วนของจำนวนหลอดไฟที่ยังให้แสงสว่างต่อจำนวนหลอดไฟทั้งหมด

$$LBO = \frac{\text{จำนวนหลอดไฟที่ยังให้แสงสว่าง}}{\text{จำนวนหลอดไฟทั้งหมด}}$$

2. **การเสื่อมลูเมนต์ของหลอดไฟ**(Lamp Lumen Depreciation ; LLD)

ลูเมนต์เอาต์พุตของหลอดไฟจะลดลงตามเวลาหรืออายุการใช้งานของหลอดไฟ โดยทั่วไป จะหาแฟกเตอร์ LLD ของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดประจุความเข้มสูงที่อายุการใช้งาน 70 % เช่น หลอด F40CW มีลูเมนต์เริ่มต้น 3150 lm และมีลูเมนต์ที่อายุการใช้งาน 70 % เป็น 2650 lm จะได้

$$LLD = 2650 / 3150 = 0.84$$

เหตุผลที่ใช้ค่าที่อายุการใช้งาน 70% เพราะระดับความเข้มแสงที่พิจารณาขณะนี้เป็นระดับความเข้มแสงที่ต้องคงค่าไว้ ดังนั้น จึงควรเป็นความเข้มแสงต่ำสุดที่ให้แก่วัตถุที่เวลา

ใดๆ ซึ่งก็คือค่าที่อายุการใช้งาน 70 % เพื่อให้มั่นใจว่าระดับความเข้มแสงจะไม่ลดต่ำกว่าระดับความเข้มแสงที่ต้องคงค่าไว้ที่เวลาใดๆ

3. **การเสื่อมแสงอันเนื่องมาจากดวงโคมสกปรก** (Luminaire Dirt Depreciation ; LDD)

สิ่งสกปรกที่สะสมบนดวงโคม จะทำให้ความสะท้นอบนพื้นผิวของดวงโคมและการส่งผ่านของตัวแพร่แสงของดวงโคมลดลงมีการแบ่งระดับความสกปรกของดวงโคมไว้ 5 ระดับ คือ สะอาดมาก, สะอาด, ปานกลาง, สกปรกและสกปรกมาก

4. **การเสื่อมแสงอันเนื่องมาจากพื้นผิวห้องสกปรก** (Room Surface Dirt Depreciation ; RSDD)

แฟกเตอร์ RSDD เป็นฟังก์ชั่นสกปรกตามสภาพแวดล้อม, วาระการทำความสะอาด, การกระจายฟลักซ์ความส่องสว่างของดวงโคมและขนาดห้อง ดังนั้นจึงหาค่า RSDD ได้จากการนำค่าเปอร์เซนต์การเสื่อมแสง(% Dirt Depreciation), RCR และประเภทการกระจายฟลักซ์การส่องสว่างมาร่วมพิจารณา

- **แฟกเตอร์การสูญเสียของแสงแบบฟื้นไม่ได้** (Unrecoverable Light Loss Factor)

แฟกเตอร์ของการสูญเสียของแสงแบบฟื้นไม่ได้ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิรอบดวงโคม
2. แรงดันไฟฟ้าที่ดวงโคม
3. การเสื่อมของพื้นผิวของดวงโคม
4. แฟกเตอร์ของบัลลาสต์

1. **อุณหภูมิรอบดวงโคม** (Luminaire Ambient Temperature ; LAT)

ปกติค่าลูเมนต์เอาต์พุตของดวงโคมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ ในสภาวะอากาศที่สงบนิ่งที่อุณหภูมิ 250

ในทางปฏิบัติอุณหภูมิการทำงานของดวงโคมอาจแตกต่างจากสภาวะการทดสอบ การทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าการทดสอบจะทำให้ลูเมนต์เอาต์พุตลดลงประมาณ 1.5% ต่อ 1 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ล้อมรอบดวงโคมจะไม่ส่งผลต่อหลอดอินแคนเดสเซนต์และหลอด HID

2. **แรงดันไฟฟ้าที่ดวงโคม** (Voltage at the Luminaire ; VT)

ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับดวงโคมแตกต่างกับค่าแรงดันที่พิกัด อาจส่งผลกระทบลต่อลูเมนต์เอาต์พุตของหลอดไฟทุกประเภท การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า 1% จะทำให้ลูเมนต์เอาต์พุตของหลอดอินแคนเดสเซตและหลอดแสงจันทร์ที่มีบัลลาสต์แบบรีแอกเตอร์เปลี่ยนแปลง 3% นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า 1% จะทำให้ลูเมนต์เอาต์พุตของหลอดฟลูออเรสเซนต์เปลี่ยนแปลง 0.4%

3. **การเสื่อมของพื้นผิวดวงโคม** (Luminaire Surface Depreciation ; LSD)

เมื่อพลาสติกที่ทำดวงโคมเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองตามอายุหรือมีรอยโหว่ หรือวัสดุที่เคลือบดวงโคมเปลี่ยนสี อาจทำให้แสงที่สะท้อนภายในดวงโคมน้อยลง ซึ่งเป็นการสูญเสียของแสงแบบฟื้นไม่ได้

4. **แฟคเตอร์ของบัลลาสต์** (Ballast Factor ; B)

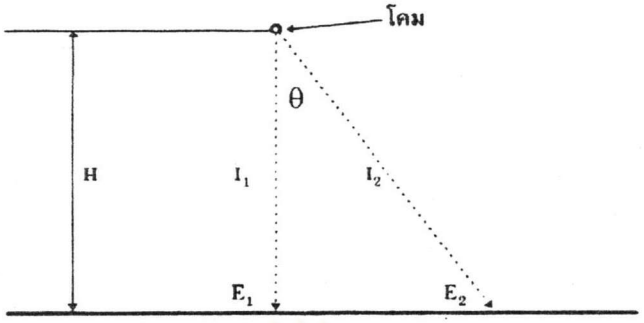
แฟคเตอร์ของบัลลาสต์ เป็นอัตราส่วนของลูเมนต์ของหลอดไฟขณะทำงานร่วมกับบัลลาสต์ต่อลูเมนต์ที่พิกัดของหลอดไฟ ซึ่งเป็นค้าที่คำนวณจากการทดสอบกับหลอดไฟและบัลลาสต์มาตราฐาน แต่บางกรณีบัลลาสต์ขนาดเล็กที่มีขายตามท้องตลาดอาจมีแฟคเตอร์ของบัลลาสต์ต่ำกว่าบัลลาสต์ที่ใช้ทดสอบ ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียของแสงแบบฟื้นไม่ได้

2.7 การคำนวณระดับการส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร

2.7.1 Point by Point Method

การคำนวณแบบจุดต่อจุด คือการคำนวณหาความส่องสว่างทีละจุดที่จุดที่ต้องการ การคำนวณแบบนี้จำเป็นต้องทราบกราฟกระจายแสงของโคม มักจะใช้คำนวณหาค่าระดับความส่องสว่างในบริเวณเล็กๆ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือจุดใดจุดหนึ่งบนพื้นงาน เช่น การคำนวณความส่องสว่างเนื่องจากโคมไฟส่องสว่างแบบสปอต เพื่อใช้กับรูปปั้นหรือรูปภาพ เป็นการคำนวณที่อาศัยกฎกำลังสองผกผัน หาค่าระดับความส่องสว่างในจุดที่พิจารณา

I20197494



รูปที่ 2.14 รูปประกอบการคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุด

สูตรสำหรับการคำนวณการส่องสว่างแบบจุดใต้โคมสามารถหาได้จากสมการ

$$E1 = I / H2$$

โดย E1 คือ ความส่องสว่างในแนวตั้งฉากกับแสง (ลักซ์)

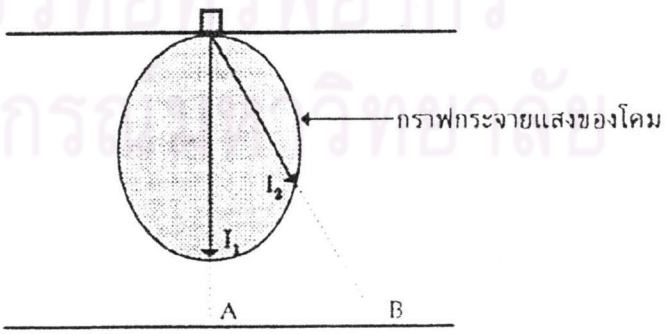
I คือ ความเข้มแสง (แคนเดลา)

H คือ ระยะจากโคมไปยังจุดที่ต้องการ (เมตร)

ความส่องสว่างที่จุดห่างจากดวงโคมออกไปมีสมการดังนี้

$$E2 = I2x\cos3\theta / H2$$

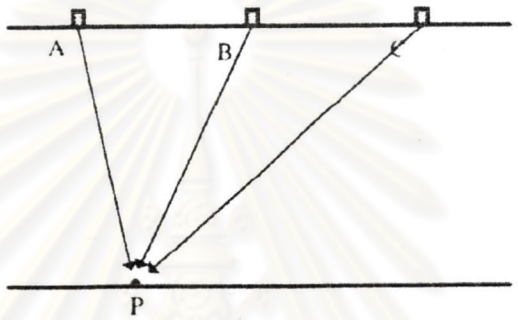
การคำนวณการส่องสว่างแบบจุดต่อจุด นอกจากต้องการคำนวณความส่องสว่างแล้ว ก็ควรคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของวงแสงด้วย โดยทั่วไปความส่องสว่างที่ใช้เพื่อคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของ วงแสง คือ 100 ลักซ์ เพราะที่ความส่องสว่างประมาณ 100 ลักซ์ จะเห็นเป็นวงแสงที่ค่อนข้างชัด



รูปที่ 2.15 การคำนวณจุดต่อจุดจากโคม

เมื่อต้องการคำนวณความส่องสว่างที่จุด A หรือ B ก็ต้องหาความเข้มแสง (แคนเดลา) จากกราฟการกระจายแสงของโคมในทิศทางที่ส่องไปที่ A และ B ก่อนที่จะใช้สูตรในสมการข้างต้น

ในกรณีที่มีโคมหลายโคมสามารถหาความส่องสว่างที่จุดใดๆ เนื่องจากโคมแต่ละโคมแล้วนำมารวมกัน เมื่อต้องการหาความส่องสว่างที่จุด P ดังในรูป ต้องหาความส่องสว่างเนื่องจากโคมไฟ A B และ C ที่จุด P แล้วนำมารวมกันแบบพีชคณิต



รูปที่ 2.16 แสดงการหาคาความสองสวางจากหลายๆดวงโคม

2.7.2 Zonal Cavity Method

เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยทั้งห้องที่พิจารณา จากนิยามของความส่องสว่าง

$$E = L / A = \frac{\textbf{ปริมาณแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากดวงโคม (ลูเมน)}}{\textbf{พื้นที่ที่ต้องการพิจารณาระดับการส่องสว่าง (ตารางเมตร หรือ ตารางฟุต)}}$$

เนื่องจากเป็นการพิจารณาค่าเฉลี่ยของแสงที่เปล่งออกมาจากดวงโคมที่กระจายอยู่ทั่วห้อง บางส่วนจะถูกดูดกลืน และบางส่วนจะถูกสะท้อนโดยฝ้าเพดาน ผนัง พื้น และวัสดุภายในห้อง ดังนั้นปริมาณแสงที่พิจารณาจะต้องพิจารณาร่วมกับ 2 องค์ประกอบหลัก คือ องค์ประกอบที่มีผลทำให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากค่าการดูดกลืนและการสะท้อนของวัตถุรอบๆ พื้นที่ที่พิจารณา (coefficient of utilization)

2.7.3 **องค์ประกอบที่มีผลให้ปริมาณแสงลดลงของดวงโคม** (LLF)

มีข้อพิจารณาดังนี้

1. ฝุ่นหรือความสกปรก
    - ความสกปรกของห้อง (room surface dirt depreciation) **หรือ** RSDD
    - ความสกปรกของหลอด (luminaire dirt depreciation) **หรือ** LDD
    - ความสกปรกของโคม (luminaire surface depreciation) **หรือ** LSD
    - อายุการใช้งานของหลอดไฟ (lamp lumen depreciation) **หรือ** LLD
2. บัลลาสต์ (luminaire ballast factor) **หรือ** IBF
3. อุณหภูมิโดยรอบหลอด (luminaire ambient temperature factor) **หรือ** LAT
4. ระดับแรงดันกำลังไฟฟ้าของหลอด (voltage to luminaire factor) **หรือ** VLF
5. การจุดติดของหลอด (lamp burnout factor) **หรือ** LBO

LLF = RSDD * LDD * LSD * LLD * LBF * LAT * VLF * LBO

โดยทั่วไป (ชำนาญ ห่อเกียรติ , 2540)

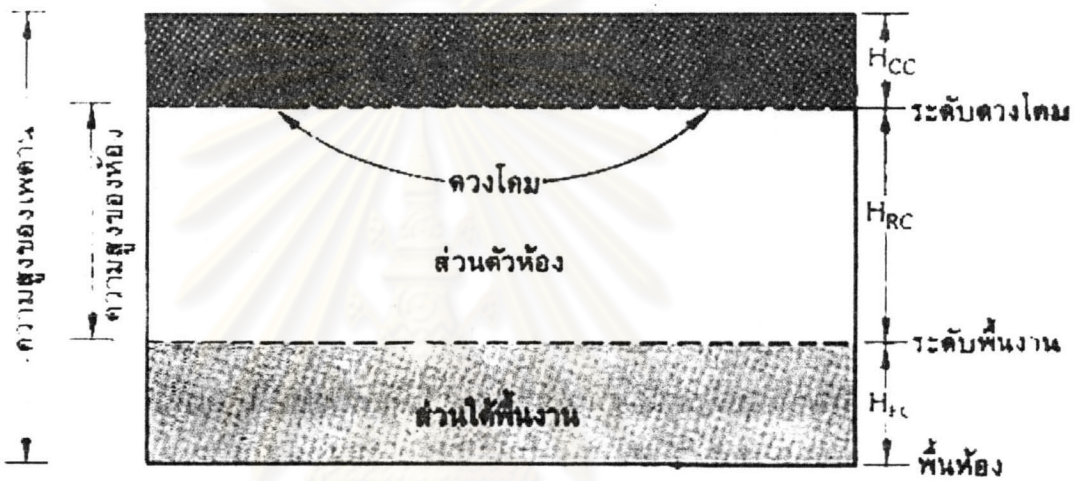
- อาคารสะอาด มีการทำความสะอาดบ่อยครั้ง ค่า LLF จะสูง ประมาณ 0.90 **เช่น** ห้องเด็กอ่อนในโรงพยาบาล
- อาคารที่มีการทำความสะอาดเป็นครั้งคราว ค่า LLF จะสูง ประมาณ 0.75-0.80 เช่น อาคารสำนักงานที่มีการทำความสะอาดเป็นครั้งคราว
- อาคารที่มีการทำความสะอาดน้อยค่า LLF จะสูงประมาณ 0.50 เช่น ห้องเก็บของ

ดังนั้นสมการจะเป็น E = L / A * LLF

2.7.4 **องค์ประกอบมีมีผลให้ค่าระดับความส่องสว่างเปลี่ยนไป** (CU)

เป็นค่าที่แสดงการนำแสงสว่างมาใช้งานจริง ซึ่งขึ้นอยู่กับความกว้าง ยาว สูงและคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง พื้น เป็นค่าที่หาได้จากการเปิดตารางการหาค่า CU พิจารณาโดยแบ่งห้องที่ต้องการหาค่าระดับความส่องสว่างออกเป็น 3 ส่วน(zonal cavity) คือ

- ส่วนโพรงเพดาน (ceiling cavity) คือส่วนตั้งแต่เพดานจนถึงระดับดวงโคม หรือระดับความต่ำของดวงโคม
- ส่วนตัวห้อง (room cavity) คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับดวงโคมลงมาถึงระดับพื้นที่ใช้งานหรือ Working Plane
- ส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (floor cavity) คือส่วนที่อยู่ต่ำจากระดับพื้นที่ใช้งานลงมาถึงพื้นห้อง



รูปที่ 2.17 การแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้องตามวิธี zonal cavity method

พิจารณาทั้งสามส่วนเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ในแนวดิ่งต่อพื้นที่ในแนวตั้ง หรืออัตราส่วนโพรง (cavity ration) ทั้งสามส่วน

- อัตราส่วนโพรงเพดาน (ceiling cavity ratio หรือ CCR)
- อัตราส่วนตัวห้อง (room cavity ratio หรือ RCR)
- อัตราส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (floor cavity ratio หรือ FCR)

โดยที่อัตราส่วนโพรงแต่ละค่าคำนวณได้จากความสูงของแต่ละส่วนที่สัมพันธ์กับความกว้าง (W) ยาว (L) ของห้อง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

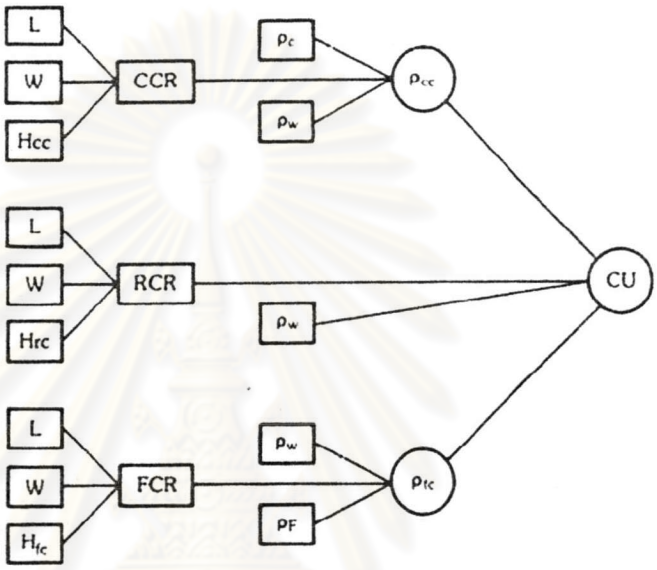
$$CCR = 5\ hcc\ (W + L) / W * L$$

$$RCR = 5\ hrc\ (W + L) / W * L$$

$$FCR = 5\ hfc\ (W + L) / W * L$$

การคำนวณค่า CU มีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่า CCR , RCR และ FCR
2. หาค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน (ρcc) ผนัง (ρw) และพื้น (ρfc)
3. หาค่า CU จากการเปิดตารางตามภาคผนวก หากค่าไม่ต้องใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อปรับค่า CU



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการหาค่า coefficient of utilization จากแสงประดิษฐ์ตามวิธี zonal cavity method

ดังนั้นสมการจะกลายเป็น $E = L / A * LLF * CU$

2.7.5 ปริมาณความสว่างของแสงบนพื้นที่ทำงาน

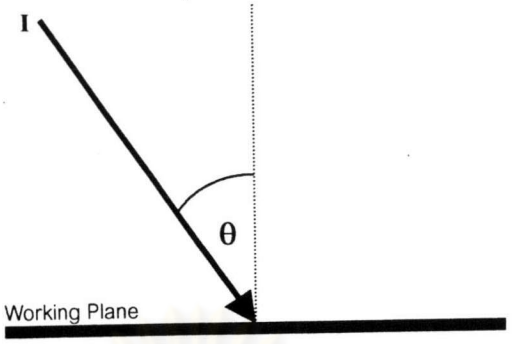
ขึ้นกับ มุมตกกระทบของแสงบนระนาบ ที่ทำกับเส้นตั้งฉากกับระนาบ มุมดังกล่าว จะแปรผกผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ

$$Fc = I \cos \theta$$

โดยที่ Fc = ค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบใช้งาน(Illumination) (Foot-candle)

I = ปริมาณแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นที่ใช้งาน(Candella)

θ = มุมตกกระทบของแสง (Angle of Incident)



รูปที่ 2.19 การคำนวณความเข้มแสงบนระนาบ

2.7.6 ระดับความจ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Line Souce

การหาค่ามุมมอง เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ โดยความจ้าของดวงโคมคำนวณได้จาก

$$fc = (fL \times W) / 2D$$

โดยที่ fc = ความสว่างที่ระยะ D (ฟุตแคนเดิล)

fL = ความจ้าของดวงโคม (ฟุตแลมเบิร์ต)

W = ความยาวของดวงโคม (ฟุต)

D = ระยะจากดวงโคมถึงจุดสังเกต (ฟุต)

2.8 การศึกษาในด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

วิธีการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเพื่อศึกษาความคุ้มทุนของการลงทุนใดๆ ได้แก่การศึกษาระยะเวลาคืนทุน(Discount Payback Period) และการพิจารณามูลค่าสะสมของอาคาร

- **ระยะเวลาคืนทุน**(Discount Payback Period)

เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าลงทุน เพื่อทำการปรับปรุงใดๆ เปรียบเทียบกับผลค่าใช้จ่ายรายปี เพื่อให้ทราบว่าจะสามารถคุ้มค่าการลงทุนปีที่เท่าไร หลังจากลงทุนในปีแรก โดยจะพิจารณาถึงค่าอัตราดอกเบี้ย และอัตราเงินเฟ้อที่คาดว่าจะเกิดในปีต่อไป มีสมการคำนวณ คือ

$$\text{Discount Payback Period (year)} = \frac{\ln \left\{ \frac{(r-d) \times c}{A} + 1 \right\}}{\ln \left(\frac{1+r}{1+d} \right)}$$

โดยที่ A คือ ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี

c คือ ค่าเงินที่ลงทุน

d คือ อัตราดอกเบี้ยที่ใช้พิจารณา

r คือ อัตราเงินเฟ้อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย